



Universidad
de La Laguna

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA, MÁQUINAS Y
RADIOELECTRÓNICA NAVAL

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**APLICACIONES MECÁNICAS Y DIAGNOSIS DE
EQUIPOS AUXILIARES ACCIONADOS POR VAPOR A
BORDO DE UN BUQUE METANERO:
TURBO BOMBAS DE ALIMENTACIÓN**

Clara Carrascosa Gómez

Septiembre 2017

APLICACIONES MECÁNICAS Y DIAGNOSIS DE EQUIPOS AUXILIARES ACCIONADOS POR VAPOR A BORDO DE UN BUQUE METANERO: TURBO BOMBAS DE ALIMENTACIÓN



Nombre: Clara Carrascosa Gómez
Grado en Tecnologías Marinas
Septiembre 2017

Directores:
Dr. D. Federico Padrón Martín
D. Agustín González Almeida

Dr. D. Federico Padrón Martín, Profesor Ayudante-Doctor del Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación, pertenece a la Unidad Departamental de Ingeniería Marítima de la Universidad de La Laguna.

Certifica que:

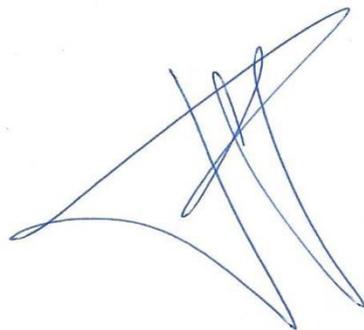
Dña. Clara Carrascosa Gómez, con DNI. 79080875-K ,ha realizado el trabajo de fin de grado bajo mi dirección con el título:

“Aplicaciones mecánicas y diagnosis de equipos auxiliares accionados por vapor a bordo de un buque metanero: turbo bombas de alimentación “

Revisado dicho trabajo, estimo que 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 certificado.

En Santa Cruz de Tenerife a 21 de septiembre de 2017



Fdo. Federico Padrón Martín

Director del TFG

D. Agustín González Almeida, profesor Asociado del Área de Construcciones Navales, pertenece a la Unidad Departamental de Ingeniería Marítima de la Universidad de La Laguna.

Certifica que:

Dña. Clara Carrascosa Gómez, con DNI. 79080875-K, ha realizado el trabajo de fin de grado bajo mi dirección con el título:

“Aplicaciones mecánicas y diagnosis de equipos auxiliares accionados por vapor a bordo de un buque metanero: turbo bombas de alimentación “

Revisado dicho trabajo, estimo que 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 certificado.

En Santa Cruz de Tenerife a de Junio de 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Agustín Almeida', with a horizontal line underneath it.

D. Agustín González Almeida

Director del TFG

Agradecimientos

Quiero agradecer y dedicar este trabajo de fin de grado a mis compañeros del buque GALICIA SPIRIT, de la compañía TEEKAY GAS II, ESPAÑA, donde realicé mi primera campaña como alumna de máquinas, por su apoyo siempre incondicional, toda la ayuda que me han prestado todo este tiempo y todo el cariño y empeño que pusieron en enseñarme.

También a TEEKAY por brindarme esta maravillosa oportunidad, la he aprovechado al máximo, y ha sido motivadora y determinante, la cual me ha hecho amar esta profesión y descubrir sus grandezas.

A María Lourdes Hernández Alonso por haber sido la matriz de este proyecto, un gran ejemplo y una fuente de inspiración, por su apoyo y ese gran empujón que me dio para llegar aquí.

Por supuesto, a mis padres, ellos son el génesis de todo, siempre detrás de mí, dando el todo por el todo para que saliese adelante. Desde el principio con su incondicional apoyo, a lo largo de todas las etapas de este proyecto. Y a toda mi familia en general, que han estado a mi lado durante esta gran aventura.

También agradécele a mi padre en especial, el consejo que me dio el verano de 2012, sugiriéndome entrar en esta carrera, que fue de los mejores consejos que me dio.

Así mismo, a mis profesores de la escuela de Náutica de la ULL, sin ellos este trabajo no sería posible.

Mención especial a mis tutores de Trabajo de Fin de Grado el Dr. D. Federico Padrón Martín y D. Agustín González Almeida, que han venido acompañándome desde hace ya dos años, apostando por mi desde el principio.

Muchas gracias a todos por ser esa gran motivación día a día.

Índice

Agradecimientos	9
Índice de imágenes.....	12
Introducción	17
Abstract	19
OBJETIVOS.....	23
Revisión y antecedentes.....	27
La carga	27
Composición de la carga	27
Origen del gas natural	27
Reservas de gas natural.....	31
Procesamiento del gas natural y su licuación	31
Principales productores	34
Distribuidores.....	34
Historia de los buques LNG	35
Tipos de buques LNG.....	39
Sistema de tanques independientes.....	40
Sistema de tanques de membrana	43
Propulsión en los buques LNG	48
Motores Diésel	48
Turbinas de vapor.....	50
LNG/C Galicia Spirit	51
Descripción técnica del buque “Ship particulars”	54
Puestos de control.....	55
Sala de máquinas.....	57
Metodología.....	61
Documentación bibliográfica	61
Metodología de trabajo de campo.....	61
Marco referencial.....	61
Resultados.....	65
Turbo Bombas Coffin.....	65
La planta	65
Presentación de la máquina por el fabricante	65
Funcionamiento y operación	68

Funcionamiento	68
Control de la turbo bomba.....	69
La bomba.....	70
Operación.....	70
La avería	74
Conclusiones	99
Bibliografía	103
Webgrafía.....	103
Publicaciones y libros	105
Imágenes	106
Anexos.....	109

Índice de imágenes

Ilustración 1 Yacimiento de gas natural. Fuente [1]	28
Ilustración 2 Diagrama de formación de gas. Fuente [2]	29
Ilustración 3.- Methane Pioneer. Fuente [3]	36
Ilustración 4.- Methane princess y Methane Progress. Fuente [4].....	37
Ilustración 5.- Laietà. Fuente [5]	38
Ilustración 6.- Norman Lady. Fuente [6].....	38
Ilustración 7.- Tanque tipo A. Fuente [7]	41
Ilustración 8.-Tanque tipo B, Kvaerner Moss. Fuente [8]	42
Ilustración 9.- Tanque tipo B, IHI SPB. Fuente [9]	42
Ilustración 10.-Tanque tipo C, semi-presurizado bilobular. Fuente [10]	43
Ilustración 11.- Interior de un tanque de carga Gaz Transport. Fuente [11]	44
Ilustración 12.- Estructura de un tanque Gaz Transport. Fuente [12]	45
Ilustración 13.- Interior de un tanque Technigaz. Fuente [13]	46
Ilustración 14.- Estructura membrana Technigaz Mark III. Fuente [14]	46
Ilustración 15.- Interior de un tanque GTT, como se puede apreciar a primera vista no hay diferencias con Gaz Transport no96. Fuente [15]	47
Ilustración 16.- Estructura de una membrana GTT CS1. Fuente [16].....	48
Ilustración 17.- LNG/C Galicia Spirit. Fuente , elaboración propia.....	53
Ilustración 18.-LNG/C Galicia Spirit. Fuente , elaboración propia.....	53
Ilustración 19.- Main Swichboard nº2 . Fuente , Elaboración propia.	57
Ilustración 20.- IAS, control de calderas, control de máquinas. Fuente, Elaboración propia....	57
Ilustración 21.- Visión general de la planta propulsora. Fuente, Elaboración propia.....	58
Ilustración 22.- Conjunto turbo-bomba con líneas. Fuente, Elaboración propia.....	66
Ilustración 23.- Bomba eléctrica de emergencia Shinko. Fuente, Elaboración propia.	67
Ilustración 24.- Detalle a popa bomba. Fuente, Elaboración propia.	67
Ilustración 25.- Turbo bomba. Fuente, Elaboración propia modificada de manual.	68

Ilustración 26.- Detalle regulador de entrada de vapor y actuador. Fuente, Elaboración propia.	75
Ilustración 27.- Tapa de la turbina desforrada. Fuente, Elaboración propia.	77
Ilustración 28.- Desmontaje del circuito de aceite de la turbo-bomba. Fuente, Elaboración propia.	77
Ilustración 29.- Bomba, se observa corrosión. Fuente, Elaboración propia.	78
Ilustración 30.- Lado de vapor, corrosión en la exahustación. Fuente, Elaboración propia.	79
Ilustración 31.- Lado de vapor, corrosión en la exahustación. Fuente, Elaboración propia.	80
Ilustración 32.- Puntos de corrosión localizada en el lado de la bomba. Fuente, Elaboración propia.	81
Ilustración 33.- Daños en el lado de vapor. Fuente, Elaboración propia.	82
Ilustración 34.- Residuos lado de vapor. Fuente, Elaboración propia.	82
Ilustración 35.-Detalle sello abierto, muelles elongados, en el cuerpo del fondo muelles salidos o ausentes.	84
Ilustración 36.- Detalle del interior del sello. Fuente, Elaboración propia.	85
Ilustración 37.- Detalle del eje arañado. Fuente, Elaboración propia.	85
Ilustración 38.- Desgaste extremo de eje lado de agua. Fuente, Elaboración propia.	86
Ilustración 39.- Detalle, corrosión, debido a la humedad que entró por el fallo de los sellos. Fuente, Elaboración propia.	86
Ilustración 40.- Detalle eje con cojinetes nuevos ya montados. Fuente, Elaboración propia. ..	87
Ilustración 41.- Impeler nº1. Fuente, Elaboración propia.	88
Ilustración 42.- Detalle cavitación impeler. Fuente, Elaboración propia.	88
Ilustración 43.- Desgaste y corrosión en la cara de ajuste. Fuente, Elaboración propia.	89
Ilustración 44.- Detalle deterioro seal cover. Fuente, Elaboración propia.	90
Ilustración 45.- Despiece regularor de presión constante, actuador, y cover oil relay	90
Ilustración 46.- Relé de aceite. Fuente, Elaboración propia.	91
Ilustración 47.- Detalle desgaste manguito, Elaboración propia.	91
Ilustración 48.- Detalle corrosión cojinete de apriete seal cover. Fuente, Elaboración propia.	92
Ilustración 49.- Montaje del eje en su posición. Fuente, Elaboración propia.	93
Ilustración 50.-Colocación del eje en posición, Elaboración propia.	93
Ilustración 51.-Montaje impeler bomba. Fuente, Elaboración propia.	93
Ilustración 52.- Montaje de bucket row, etapa de expansión. Fuente, Elaboración propia.	93

I. INTRODUCCIÓN

Introducción

Este trabajo nace de mi experiencia a bordo del Buque gasero LNG/C GALICIA SPIRIT de la compañía TEEKAY GAS II, ESPAÑA durante el período de 199 días. Durante los cuales tuve el privilegio de asistir a la reparación, despiece y mantenimiento de las turbo bombas de alimentación del mismo. Trabajo, en el caso del “overhaul” que es tarea de astillero, denotándose así un gran privilegio el haber podido verlo fuera de tal, y suscitando en mí una gran fascinación e interés.

El presente manuscrito, será tratado como un pequeño manual, sobre una avería sufrida a bordo durante mi periodo de embarque en buque LNG/C Galicia Spirit, exponiendo las causas y las medidas tomadas en el momento de reparación, concluyendo en cómo podría haberse evitado el fallo y los consejos dados por el técnico, para evitar futuros incidentes similares. El texto se llevará como una transición empezando por el mundo del gas natural, nombrando principales productores, que es y cómo se convierte en LNG, para luego continuar con los buques LNG, sus tipos, sus plantas propulsoras, hasta llegar a la parte principal y más importante de todo el estudio, el mantenimiento y la reparación de una turbo bomba de alimentación a una caldera de alta presión.

En el capítulo de Objetivos me planteo los objetivos que me llevaron a decantarme por el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado.

En el capítulo de Revisión y Antecedentes, desarrollo una línea de transición desde las rutas del GALICIA SPIRIT hasta la máquina objetivo de este trabajo, realizando una descriptiva del buque y las instalaciones de la sala de máquinas del mismo.

En el capítulo de Metodología se incluyen tres apartados, documentación bibliográfica, metodología de trabajo de campo y el marco referencial.

En el capítulo **Resultados** se lleva a cabo una descriptiva de la operación y puesta en marcha de una turbo bomba de alimentación Coffin, así como el análisis y la descriptiva de un proceso de un proceso de reparación realizado a bordo, guiado por el informe del técnico de la empresa del fabricante. En el mismo se aportan fotografías propias para facilitar la observación de las fallas y la comprensión del caso propuesto.

En el sexto y penúltimo capítulo de este trabajo se incluyen las Conclusiones, se plasma las conclusiones que se han obtenido de la experiencia tanto profesional como académica en el desarrollo de este TFG.

En el capítulo **Bibliografía** se aportan manuales, documentación web (webgrafía) y referencias documentales.

Abstract

This work is a of my experience on board the gas tanker LNG / C GALICIA SPIRIT of the COMPANY TEEKAY GAS II SPAIN during the period of 199 days. During which I had the privilege of attending the repair, disassembling and maintenance of the turbo pumps. In the case of overhaul that is a job which is supposed to be done at shipyard, remark that is a great privilege to have been able to see it, and arousing in me a great fascination and interest.

The present manuscript will be treated as a small manual, on a fault suffered on board during the shipment period on LNG / C Galicia Spirit, explaining the causes and measures taken at the time of repair, concluding on how it could have been avoided, the fault and the advice given by the technician, to avoid future incidents. The text is carried out as a transition that begins with the world of natural gas, naming major producers, what is NG and how it becomes LNG, and then continue with the LNG ships, their types, their propulsive plants, until the main and most important part of the whole study, maintenance and repair of a turbine feeding a high pressure boiler.

In the chapter Objectives, I set out the objectives that led me to opt for the development of this End-of-Grade Work.

In the chapter Review and Background, I developed a transition line of the routes of the SPIRIT GALICIA to the objective machine of this work, making a description of the ship and the facilities of the engine room of the same.

In the chapter of Methodology , three sections are presented, bibliographical documentation, fieldwork methodology and the reference framework.

In the Results chapter, a description is given of the operation and commissioning of a Coffin copper feed pump, as well as the analysis and description of a process of a repair process carried out on a map, guided by the report of the

manufacturer's company technician. In the same one the own photographs are contributed to facilitate the observation of the failures and the understanding of the proposed case.

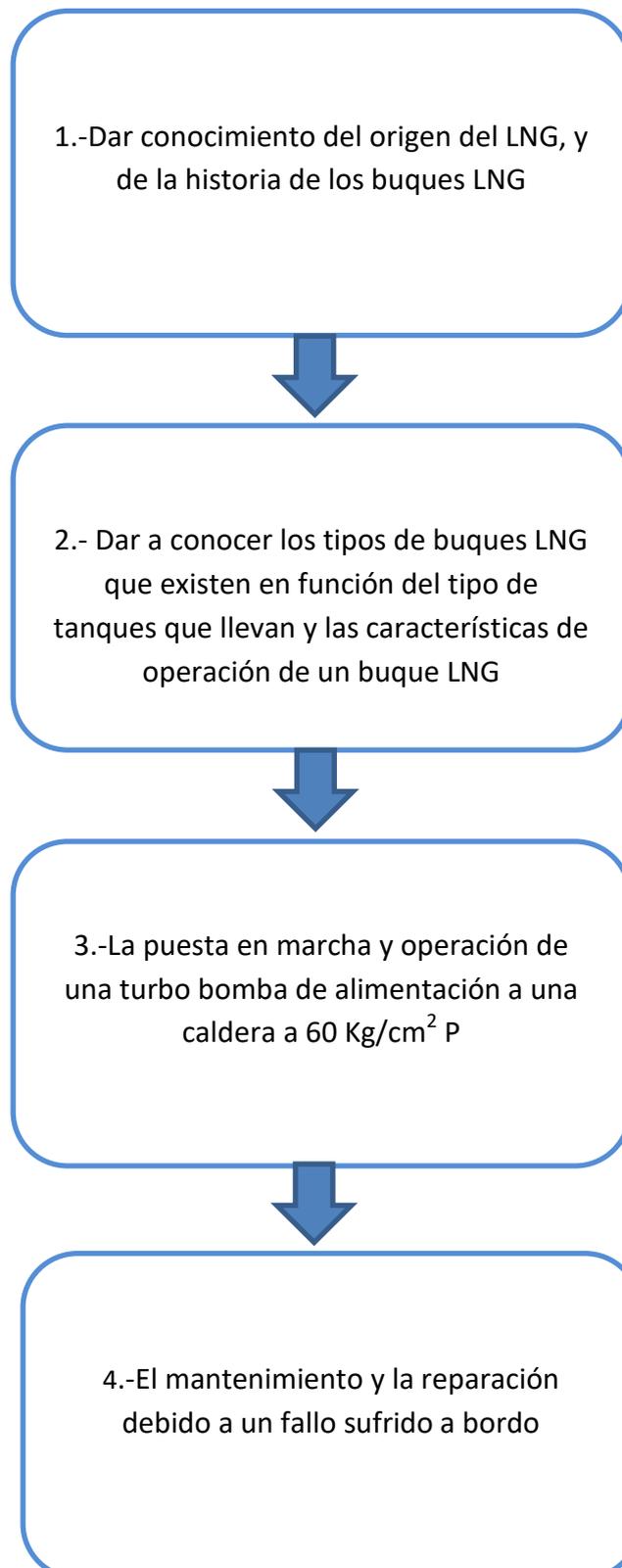
The sixth and penultimate chapter of this paper includes the conclusions, the conclusions that have been obtained from both professional and academic experience in the development of this FCW.

In the chapter Bibliography on manuals, web documentation and references.

II. Objetivos

OBJETIVOS

Los objetivos que se pretenden alcanzar son :



III. Revisión y antecedentes

Revisión y antecedentes

La carga

GNL es el gas natural que ha sido licuado para la facilidad y la seguridad del almacenamiento o transporte. Requiere alrededor de 1/600 el volumen de gas natural en estado gaseoso (en condiciones estándar para temperatura y presión). Es inodoro, incoloro, no tóxico y no corrosivo. Los peligros incluyen inflamabilidad después de la vaporización en estado gaseoso, congelación y asfixia. El proceso de licuefacción implica la eliminación de ciertos componentes, tales como polvo, gases ácidos, helio, agua e hidrocarburos pesados. El gas natural se condensa en un líquido a presión cercana a la atmosférica enfriándolo a aproximadamente -162°C (-260°F).

Composición de la carga

El gas natural es el resultado de una mezcla de gases ligeros resultado de la descomposición de la materia orgánica. Su componente mayoritario es el metano cuya composición volumétrica varía entre un 79 % y un 97 % ,como el del yacimiento de West Sole en el mar del Norte, el resto de componentes son el etano en un 11.61 % , el propano en un 1.92 % , el I-Butano en un 0.23 % , el N-Butano en un 0.22 % y el nitrógeno en un 0.90 % (fuente Gas Natural fenosa). Así mismo el tanto por ciento restante se compone de gases ácidos , H₂S y componentes de azufre.

Origen del gas natural

La formación del gas natural se da en la transición de la materia orgánica a hidrocarburos, en este proceso se diferencian tres etapas fundamentales, la diagénesis, la catagénesis y la metagénesis.

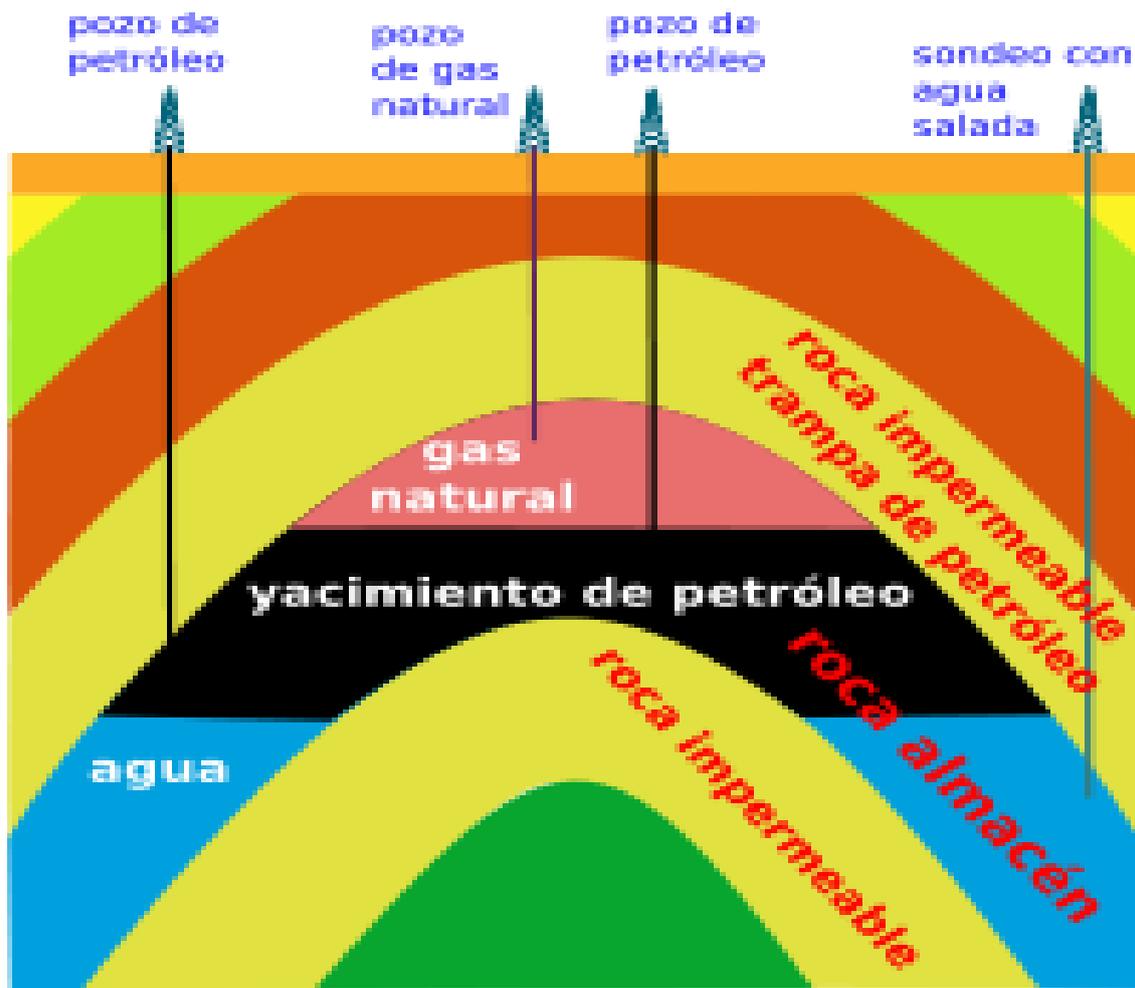


Ilustración 1 Yacimiento de gas natural. Fuente [1]

La **diagénesis** es la primera etapa, comienza cuando la materia orgánica es enterrada. Como resultado de esta primera etapa, diagénesis, donde los 4 grupos fundamentales de sustancias presentes en la materia orgánica pasan a la roca madre (lípidos, ligninas, hidratos de carbono y proteínas). Como resultado de esta primera etapa se obtiene el querógeno, este querógeno no es soluble en disolventes orgánicos debido al alto peso molecular (1000 dalton) de sus componentes (largas cadenas hidrocarbonadas) , aunque tiene una pequeña parte soluble llamada bitumen. Dentro de los querógenos se diferencian 5 tipos en función de su origen. Durante la primera etapa de a diagénesis, los biopolímeros complejos se rompen para formar geomonomeros poco estables, que se combinan para formar geopolímeros complejos estables. Esta primera etapa se da en un tiempo geológico corto. En esta primera

etapa el único hidrocarburo que se obtiene en cantidades medibles, es el metano biogénico.

La segunda etapa, **Catagénesis**, se da al someter a más temperatura los querógenos, que en la primera etapa de diagénesis. Es en esta etapa en la que se genera el petróleo y el gas natural. Las temperaturas en esta etapa, en las que se dará la destilación natural del kerógeno, será de 65 a 150°C. Hacia el final de esta etapa la producción será casi exclusivamente de gas, ya que el gas se producirá a mayores temperaturas.

“El rango de máxima generación de petróleo se conoce como “ventana de petróleo”. En tanto que para el gas natural vendrá marcada en la “ventana de gas”. Estas dos no coinciden, ya que la temperatura que se requiere para la generación del gas natural es mucho mayor que la que se requiere para la generación del petróleo”.

Fuente [3]

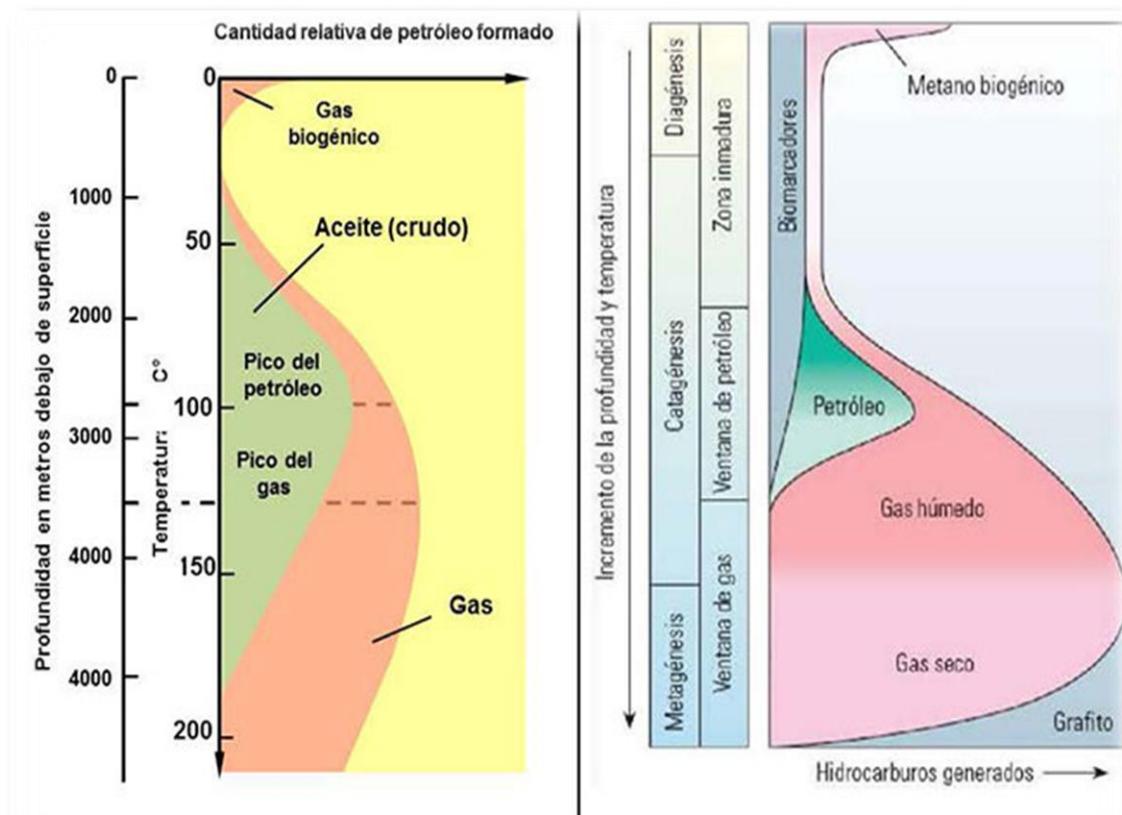


Ilustración 2 Diagrama de formación de gas. Fuente [2]

La **metagénesis**, no constituye una etapa del proceso de generación de los hidrocarburos industrialmente explotables, aunque si que es la última etapa en el proceso de destilación natural de los hidrocarburos. Se da a partir de las 150°C cuando comienza el craqueo de los hidrocarburos en la continuación de su proceso de destilación. En esta etapa, se produce casi exclusivamente metano, y las cadenas de hidrocarburos se van rompiendo en cadenas más cortas. En última instancia, el yacimiento, terminará por convertirse en grafito. En caso de no darse las condiciones adecuadas para la reacción en profundidad, el metano permanecerá aun habiendo temperaturas superiores a los 300°C.

Se diferencian cuatro tipos distintos de **querógenos**, de los que dependerá la cantidad de petróleo y gas que se obtienen.

- **Tipo I:** Se conoce como querógeno Spropélico , se forma a partir de esporas, fitoplancton y una pequeña porción de materia animal degradada por la actividad bacteriana.
- **Tipo II:** Se le conoce como marinos mixtos, se forma a partir de una mezcla de algas, organismos marinos y detritos de plantas terrestres.
- **Tipo III:** Se conoce como querógeno Húmico, que se forma a partir de restos de vegetación terrestre (Embryophyta) A partir del querógeno húmico se forman la mayoría de los carbones.
- **Tipo IV:** Se conoce como kerógeno residual o inerte y se obtiene de materia orgánica oxidada y en descomposición, plantas terrestres.

Se diferencian tres tipos diferentes de gas natural según su génesis:

- **Biogénico**, que se obtiene por la acción bacteriana en la materia orgánica en la diagénesis. El gas biogénico, es un gas seco, fundamentalmente metano puro.

- **Termogénico**, se forma por el proceso de descomposición de la materia orgánica controlada por acción de la temperatura. El gas termogénico junto con el petróleo serán los productos que fundamentalmente consideraremos como recurso de explotación. Este gas termogénico será el gas húmedo.

- **Abiogénico**, se obtiene de la generación no orgánica del metano.

Reservas de gas natural

Se encuentra principalmente en bolsas sueltas en el subsuelo, y bajo el fondo oceánico, o asociado a yacimientos petrolíferos o de carbón. También se puede encontrar en forma de yacimientos de hidratos de metano que se cree son mayores que los de gas natural.

Actualmente la mitad de reservas de combustibles fósiles del mundo son de gas natural. Según el estudio hecho en 2010 las reservas probadas de gas natural mundiales son de 190.4 trillones de m³ de gas natural (fuente ENEGAS).

Las mayores reservas se encuentran en Oriente Medio, donde se encuentra el 40.1 % de la reserva mundial de GN, siendo estos a su vez el segundo mayor productor, y en Europa oriental, con las reservas Rusia y Turkmenistán, con un 32.4 % de la reserva mundial. Seguidas de lejos por Asia-Oceanía con un 8.4 %, África 7.4 % , América del norte 5.3 % , América Central y Sudamérica 4 % y a la cola, Europa con un 2.5 % de la reserva mundial probada de gas natural. (Fuentes ENEGAS y Gas Natural Fenosa).

Procesamiento del gas natural y su licuación

Para su transporte y almacenaje, el gas natural ha de ser licuado.

Debido al origen, el gas natural necesita un tratamiento para eliminar los hidrocarburos pesados y los componentes no hidrocarbonados. Esto asegura que el producto es apto para la licuefacción.



En una primera etapa, se extraen los condensados, seguido de la extracción de los gases ácidos (Dióxido de carbono y ácido sulfhídrico). En una segunda etapa, se pasa el gas por una unidad de deshidratación para eliminar la humedad ganada durante el proceso de extracción de los gases ácidos. En la siguiente etapa, el gas natural pasa por una unidad de fraccionado donde se extraen los líquidos del gas natural, LGN , que serán luego fraccionados, en las plantas de fraccionamiento, en etano, Gas Licuado de petróleo (LPG), propano, butano, isobutano y “gasolina natural”.

Después de todo ese proceso, el gas natural, está preparado para ser licuado.

Este proceso de licuefacción, consiste básicamente en llevar el gas hasta su punto de ebullición, -162°C , a presión atmosférica. Se produce una disminución de

volumen de hasta 600 veces lo que facilita y hace más seguro su transporte, almacenaje y manipulación. De este proceso se distinguen fundamentalmente dos fases, una primera fase de enfriamiento y condensación, y una segunda fase conocida como flashing, donde se lleva la presión hasta la atmosférica. "El proceso "flash" es un proceso adiabático por el cual no se añade ni se quita calor al proceso pero se baja el punto de ebullición al líquido. Se puede realizar esto por medio de un "Expander" o simplemente por medio de una válvula que toma el nombre del proceso mismo: J-T valve (por el efecto Joule Thomson). Al realizar esta última etapa en la elaboración del GNL se producen vapores llamados "flash". Fuente [10]

En el ciclo de refrigeración se distinguen 4 etapas fundamentales, que independientemente del método utilizado, serán invariables, estas son la etapa de evaporación, compresión, condensación y expansión.

Actualmente existen 3 métodos para el enfriamiento, licuefacción, del LNG, sistema de refrigeración en cascada, sistema con refrigerante mixto y sistema con refrigerante mixto pre-enfriado.

Refrigeración en cascada, en esta una primera etapa de enfriamiento utiliza propano, la segunda etileno y finalmente una etapa de sub-enfriamiento con metano. Se utiliza desde 1970, tanto en plantas de licuefacción como en plantas de re-licuefacción.

Refrigerante mixto, a diferencia del ciclo de refrigeración pura donde hay diversas etapas, este proceso se desarrolla en un solo ciclo. El equipo es menos complejo que en el proceso de refrigeración en cascada aunque el coste energético es mayor.

Refrigerante mixto pre-enfriado o refrigerante multi-componente, es una combinación de los dos métodos anteriores, y es el proceso más utilizado actualmente.

Principales productores

Actualmente y según la última recopilación de la revista Forbes los principales productores de gas natural del mundo se encuentran a la cabeza y “con gran diferencia” la rusa Gazprom, de la que no se conocen con exactitud los millones de metros cúbicos de producción diaria, y la china PetroChina, de la que tampoco se tienen datos. Seguidas de estos dos gigantes energéticos, se encuentran la alemana Shell con 288.83 millones de m³ al día de GN de producción, la americana Exxon con 277.50 , la británica BP con 161.40 , la americana Chevron con 141.58 , la noruega Statoil con 133.08 , la italiana ENI con 133.08 , las americanas Conoco Phillips con 110.43 , Chesapeake energy con 84.95 y Anadarko Petroleum Corporation con 62.99, terminando esta lista de las principales productoras de gas natural del mundo con la canadiense Canadian Natural Resources Limited con 48.15 millones de m³ al día.

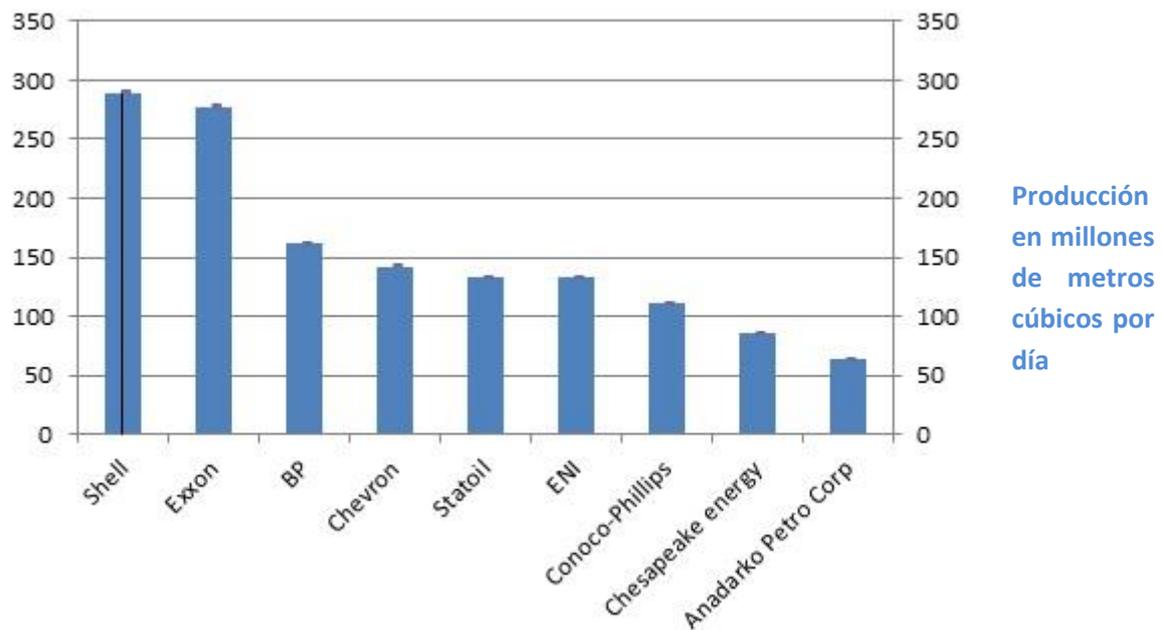


Gráfico 1.- Producción diaria de gas natural. Elaboración propia

Distribuidores

Actualmente las navieras LNGs con mayor valor empresarial según el capital anual de ingresos son BP, Qatar Gas, Maran Gas Maritime, GasLog Ltd , Golard, Hoëgh; siendo estas las compañías más importantes del sector.

En España destacan sobre manera Knutsen con 9 LNG/C y Teekay con 4.

Los principales distribuidores de gas natural en España son el grupo Gas Natural Fenosa, ENEGAS y Repsol.

Historia de los buques LNG

Los primeros datos que se tienen de la licuación del gas natural se remontan al siglo XIX, cuando Michael Faraday comenzó sus experiencias con la licuación de diferentes gases, entre los que se encontraba el gas natural. Con ello en 1870 Carl Von Linde construyó el primer refrigerador por compresión.

En 1895 Carl Von Linde licua aire por compresión y expansión combinada con enfriamiento intermedio, extrayendo por un lado oxígeno líquido y nitrógeno gaseoso., después de haber construido en 1870 la primera máquina de refrigeración por compresión, siendo esto la experiencia precursora de lo que después sería la industria de la licuefacción de gases para la explotación industrial.

En 1912 se construye en West Virginia la primera planta de licuefacción de gas natural, la cual entró en funcionamiento en 1917, aunque no sería hasta 1941 cuando se construiría la primera planta comercial, en Cleveland, Ohio.

En 1944 la planta de Ohio sufre una falla en un tanque de GNL, debido a la calidad de la aleación del acero, y el gas escapa por el sistema de aguas residuales de la ciudad, donde se evaporó y debido a la atmósfera explosiva, al encontrarse con un punto de ignición provocó una devastadora explosión que mató a 2128 personas. Es el accidente más conocido de la industria del GNL marca un antes y un después. Como consecuencia de este incidente la industria se desarrolla exponencialmente en materiales, manipulación, almacenaje y transporte.

En 1959 hace su primer viaje el primer buque GNL, Methane Pioneer, desde Lake Charles, en Louisiana hasta Canvey Island en el Reino Unido, un carguero convertido de la Segunda Guerra Mundial, con cinco tanques prismáticos de aluminio, con este primer viaje se sienta un precedente en el transporte marítimo y la seguridad del transporte del gas natural por el mar para fines comerciales.



Ilustración 3.- Methane Pioneer. Fuente [3]

En 1960 se construye la primera planta de licuefacción en Argelia.

En 1964 se construye la primera planta de gas en Canvey Island, se botan los primeros metaneros comerciales "Methane Progress" y el "Methane Princess", y se establecen las rutas de comercio entre Argelia y Europa.



Ilustración 4.- Methane princess y Methane Progress. Fuente [4]

En 1969 se establece la ruta de transporte de GNL por el norte, Alaska – Japón.

En 1970 se construye el Lariat en los astilleros Astano, en Ferrol, con capacidad para 40.000 metros cúbicos, como el primero de una serie de 4. Construidos con un diseño propio de la Esso, marcando la diferencia respecto al resto de buques GNL de la época.



Ilustración 5.- Laietà. Fuente [5]

En 1973 Hóegh construye el primer GNL con tanques esféricos “Norman Lady”, como el prototipo de gaseros con tanques esféricos Moss, con capacidad para 75000 metros cúbicos.



Ilustración 6.- Norman Lady. Fuente [6]

En 1990 Hyundai comienza a construir barcos de 138000 metros cúbicos tanto de tipo Moss como de Membrana.

En 1999 Samsung construye el metanero de membrana más grande hasta el momento con 138,378 metros cúbicos.

En 2000 , la Corporación El Paso diseña el nuevo concepto de regasificación de GNL a bordo. El proyecto se basaba en un sistema de descarga offshore podría diseñarse y construirse a un costo mucho menor que el de una instalación en tierra y que, al entregar el producto offshore en su estado gaseoso, costosas instalaciones en tierra podrían ser eliminadas de la ecuación de transporte.

En 2005 se bota el primer GNL con propulsión de motor dual y propulsión eléctrica, con 4 motores duales, encargado en 2003 fue el buque más grande de la época con 153000 metros cúbicos.

En 2006 había aproximadamente 180 buques para el transporte específico de gas natural licuado, en servicio.

Actualmente se cuenta con una flota global de 500 buques GNL y se espera que para el año 2019 haya operando 100 unidades más, coincidiendo con el boom del gas de 2020 donde se espera que el negocio del gas natural alcance su punto álgido.

Tipos de buques LNG

Los LNG son tipos especializados de gaseros, contruidos para llevar grandes cantidades de GNL a su punto de ebullición atmosférica, es decir -162°C . Estos barcos actualmente pueden cargar desde 125000 metros cúbicos hasta 266000 en los gigantes Q-Max de Qatar Gas.

Dentro de esta clase de “tankers”, los podemos clasificar en función del tipo de tanques donde diferenciamos cinco tipos fundamentalmente, aunque los más utilizados son los de sistema de membrana y los de tipo independiente.

- Tanques de Semi-membrana
- Tanques Integrales o Estructurales
- Tanques e Aislamiento Interno
- Independientes:
 - tipo A
 - tipo B
 - tipo C

*De entre los tipo B destacan los (Kvaerner Moss esféricos) y los IHI SPB (prismáticos).
- Membrana
 - Sistema Technigaz
 - Sistema Gaz Transport
 - Sistema Gaz Transport Technigaz
 - Sistema Korean Gas Corp

Sistema de tanques independientes

El tipo de tanques independientes, no forman parte de la estructura del casco del buque, ni contribuyen a la resistencia del casco.

Tipo A

Los tipo A con una presión máxima de diseño de 0.7 barG (presión manométrica), por lo que la carga tiene que ir completamente refrigerada y a presión atmosférica 0,25 barG, son tanques prismáticos independientes, construidos con acero al 9% en níquel o aluminio.

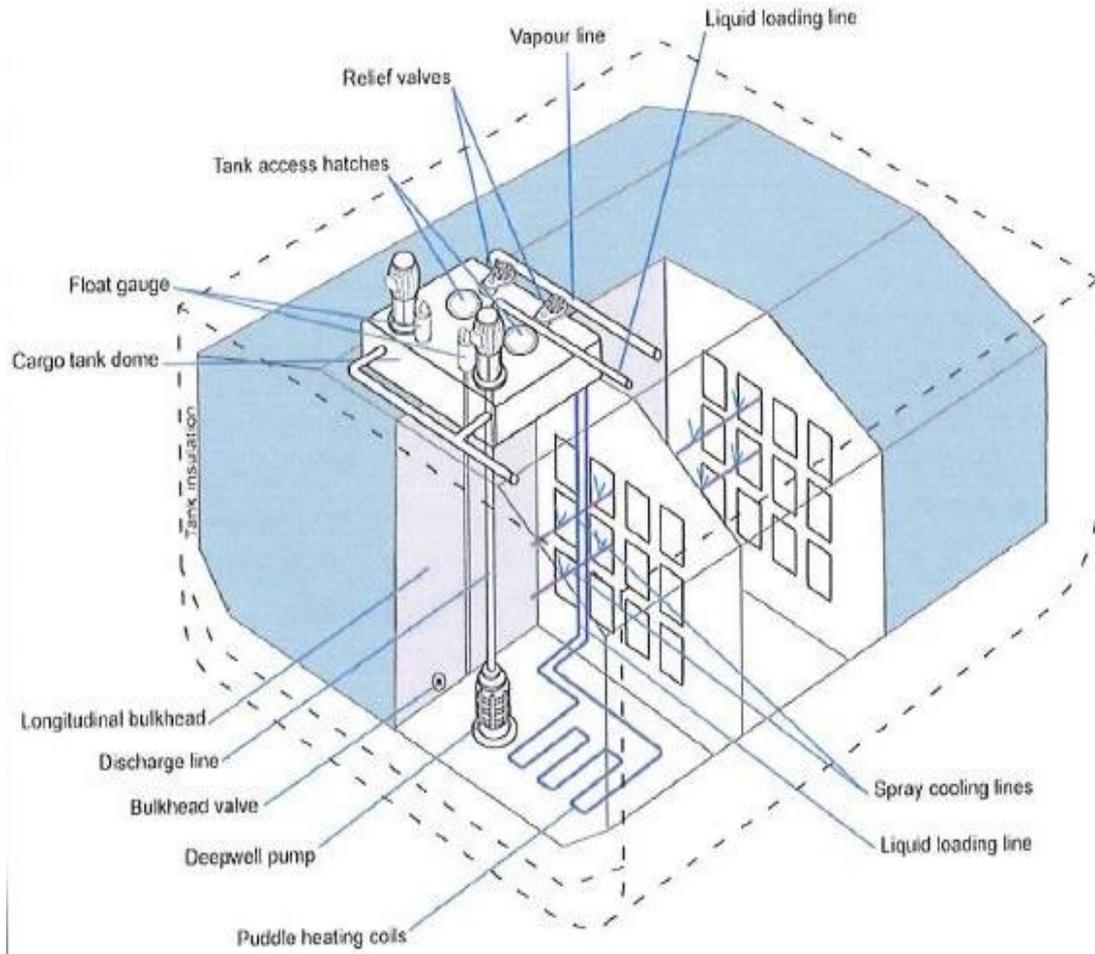


Ilustración 7.- Tanque tipo A. Fuente [7]

Se caracterizan por su configuración interna, con una división en su línea central por un mamparo estanco, con ello y la cubierta achaflanada, se reducen las superficies libres.

Tipo B

Tipo B con una presión máxima de diseño de 0.7 barG (presión manométrica), por lo que la carga tiene que ir completamente refrigerada y a presión atmosférica 0,25 barG, pueden ser tanques prismáticos o esféricos, construidos con acero al 9% en níquel o aluminio. A diferencia de los tipo A, van soldados a una camisa, en el espacio de contención.

Los más conocidos de los tipo B son los Kvaerner Moss esféricos y los IHI SPB prismáticos. Este tipo de tanques a diferencia del resto solo necesita una barrera secundaria parcial.

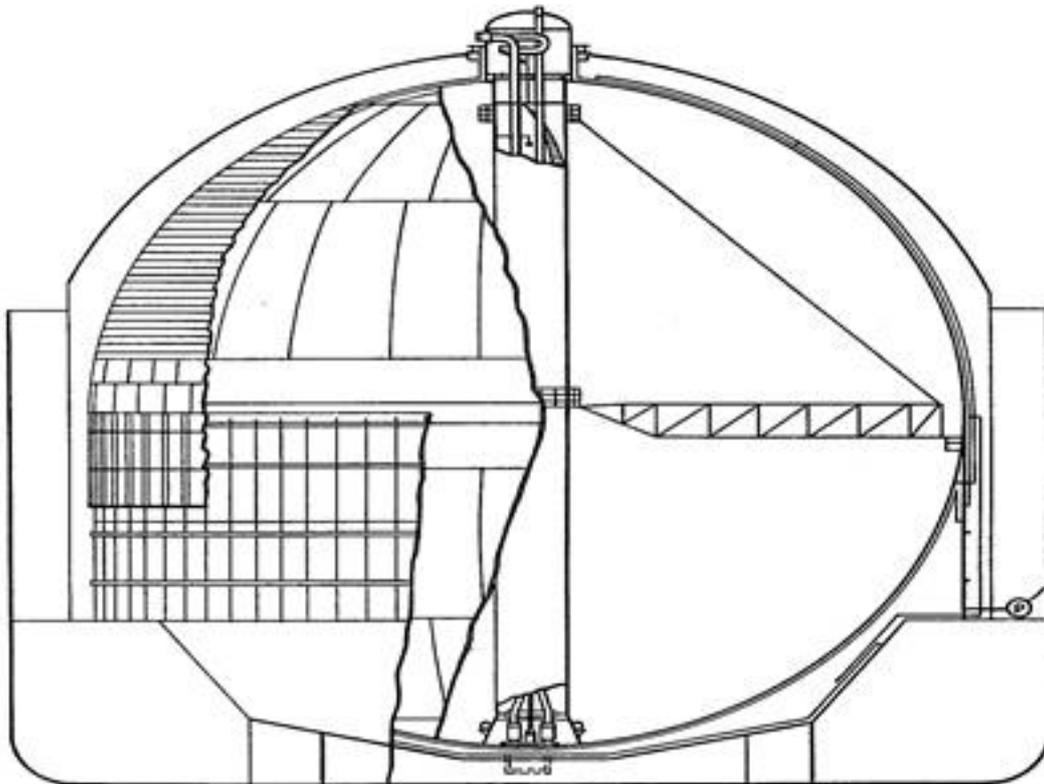


Ilustración 8.-Tanque tipo B, Kvaerner Moss. Fuente [8]

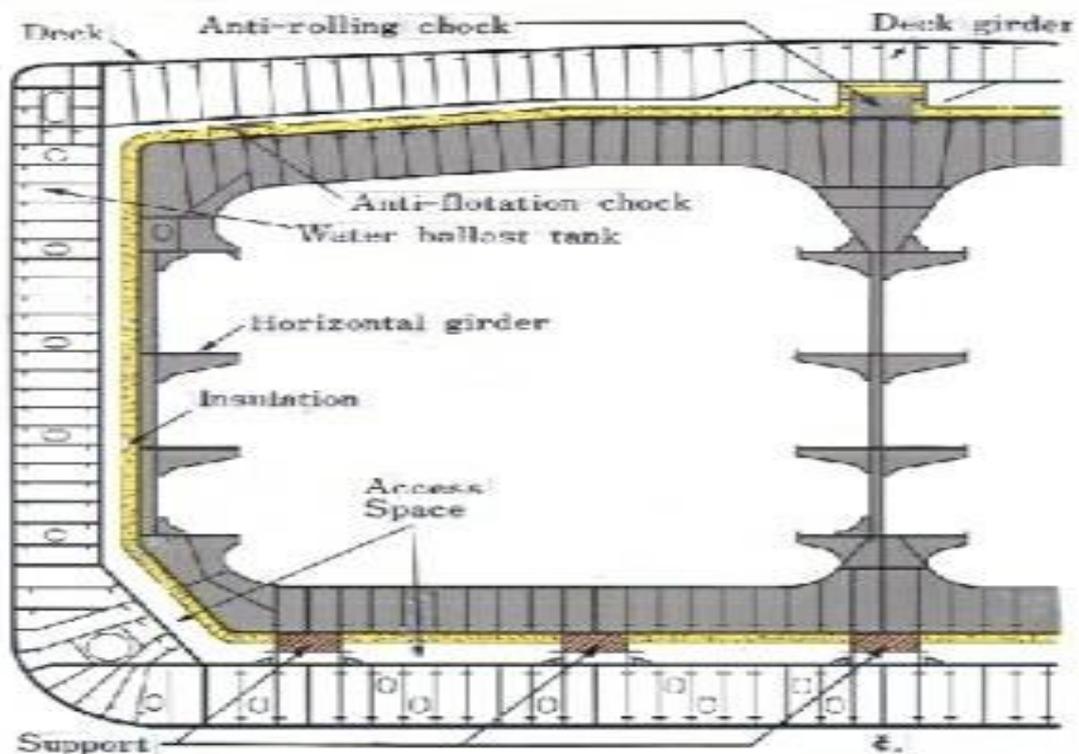


Ilustración 9.- Tanque tipo B, IHI SPB. Fuente [9]

Tipo C

Tipo C son normalmente esféricos o cilíndricos, con una presión de diseño superior a 2 barG, por lo que la carga irá semi-presurizada. Este tipo de tanque se utiliza fundamentalmente en buque GPL.

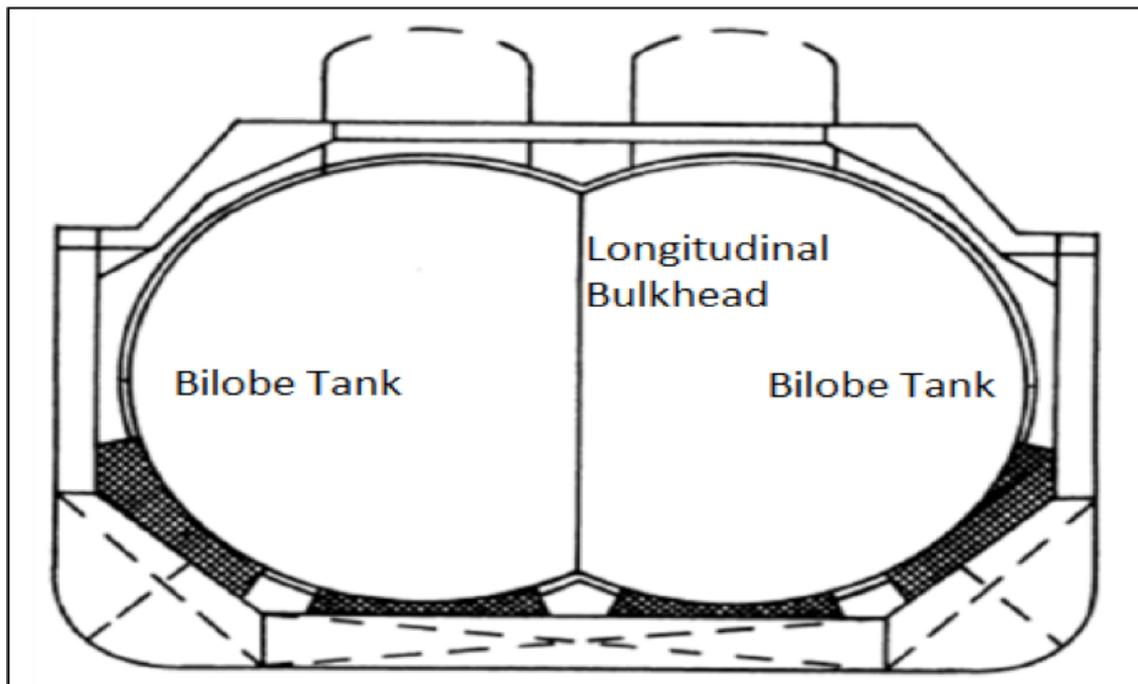


Ilustración 10.-Tanque tipo C, semi-presurizado bilobular. Fuente [10]

Sistema de tanques de membrana

La contención por membrana , se basa en una fina barrera primaria de entre 0.7 y 1 mm de espesor. A diferencia de los tanques independientes, no son autosuficientes, un casco interior forma la estructura portante. Este tipo de tanques siempre estarán provistos de una barrera secundaria para asegurar la integridad total del sistema en caso de falla en la barrera primaria. El sistema está diseñado de manera tal que las expansiones y compresiones, sean compensadas para no someter a un sobreesfuerzo la membrana. Están construidas en Invar, un acero al 36% en níquel, o en acero al 9% en níquel.

Dentro de estos tanques de membranas se diferencian 3 tipos fundamentales, Technigaz, Gaz Transport y Gaz Transport Technigaz.

Gaz Transport

Gaz Transport es el sistema más usado en los GNL, constan de dos barreras idénticas de Invar, tienen una fina membrana en la barrera primaria de Invar. Esto se une a la superficie interna de cajas de madera contrachapada rellenas de perlita (compuesta principalmente de dióxido de silicio y óxido de aluminio, conocido aislante en la industria criogénica), utilizadas como aislamiento primario. Estas cajas tienen un grosor de entre 200 y 300 mm. Estos, a su vez, están unidos a la capa interior idéntica de Invar (la barrera secundaria) y, finalmente, un nuevo conjunto de cajas de perlita similares se utiliza para el aislamiento secundario.



Ilustración 11.- Interior de un tanque de carga Gaz Transport. Fuente [11]

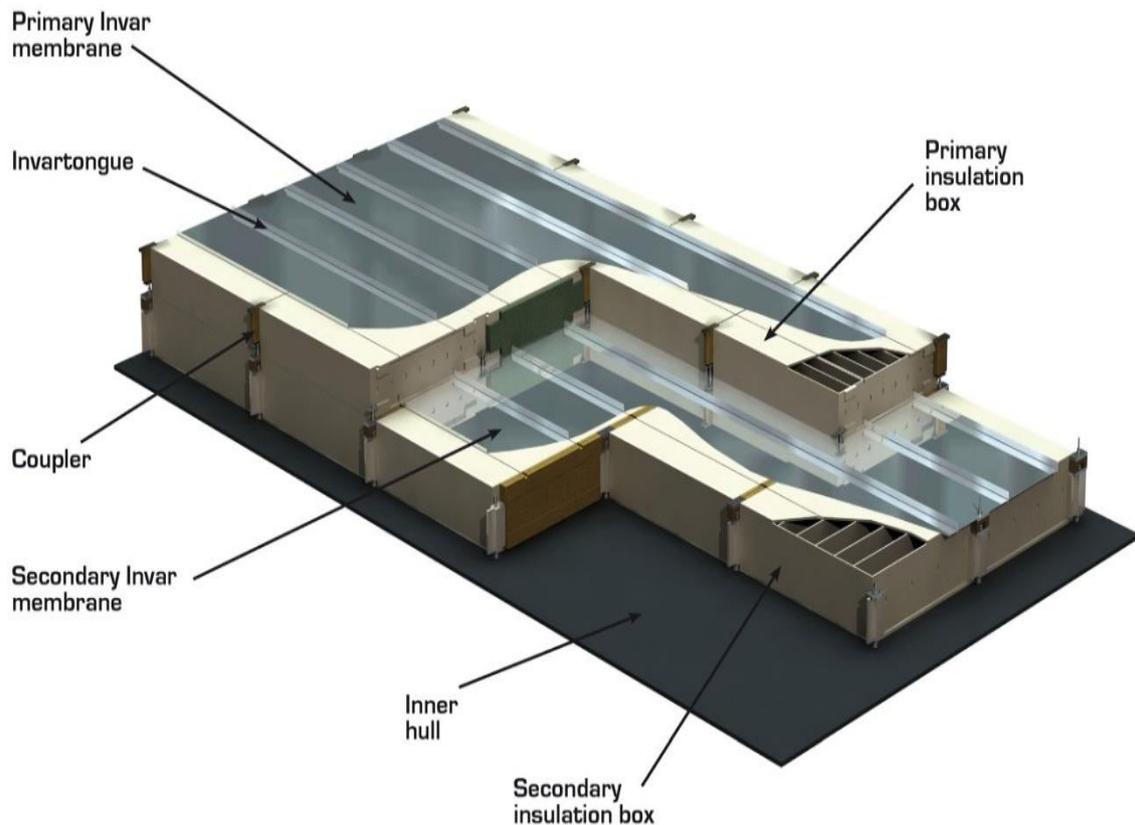


Ilustración 12.- Estructura de un tanque Gaz Transport. Fuente [12]

Technigaz

El sistema Technigaz lleva una barrera primaria de acero inoxidable corrugado en forma de reja de 1.2 mm de espesor, para facilitar las expansiones y contracciones del material durante la interacción con la carga. En el diseño original Mark I, el aislamiento que sostenía la barrera primaria consistía en paneles de madera de balsa laminada sostenidas con dos capas de madera contrachapada, actuando como barrera secundaria. Los paneles de madera de balsa interconectados entre sí con articulaciones especialmente diseñadas, con cuñas de espuma de PVC y costra de madera contrachapada, apoyadas directamente sobre el casco.

En el diseño Mark III, el aislamiento de madera de balsa se sustituye por espuma celular reforzada. Entre las capas de aislamientos hay una capa de espuma aislante con láminas de fibreglass y aluminio que constituyen la segunda barrera, esta barrera es capaz de contener un derrame de la carga durante 15 días.

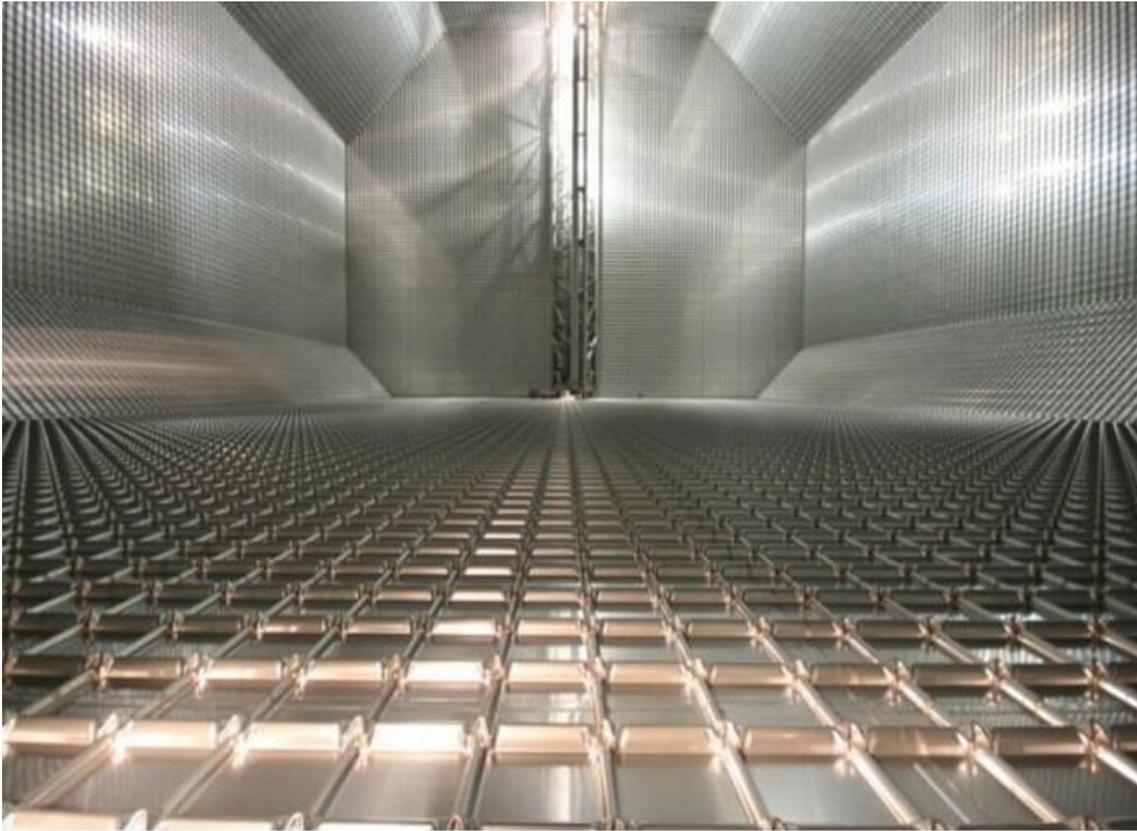


Ilustración 13.- Interior de un tanque Technigaz. Fuente [13]

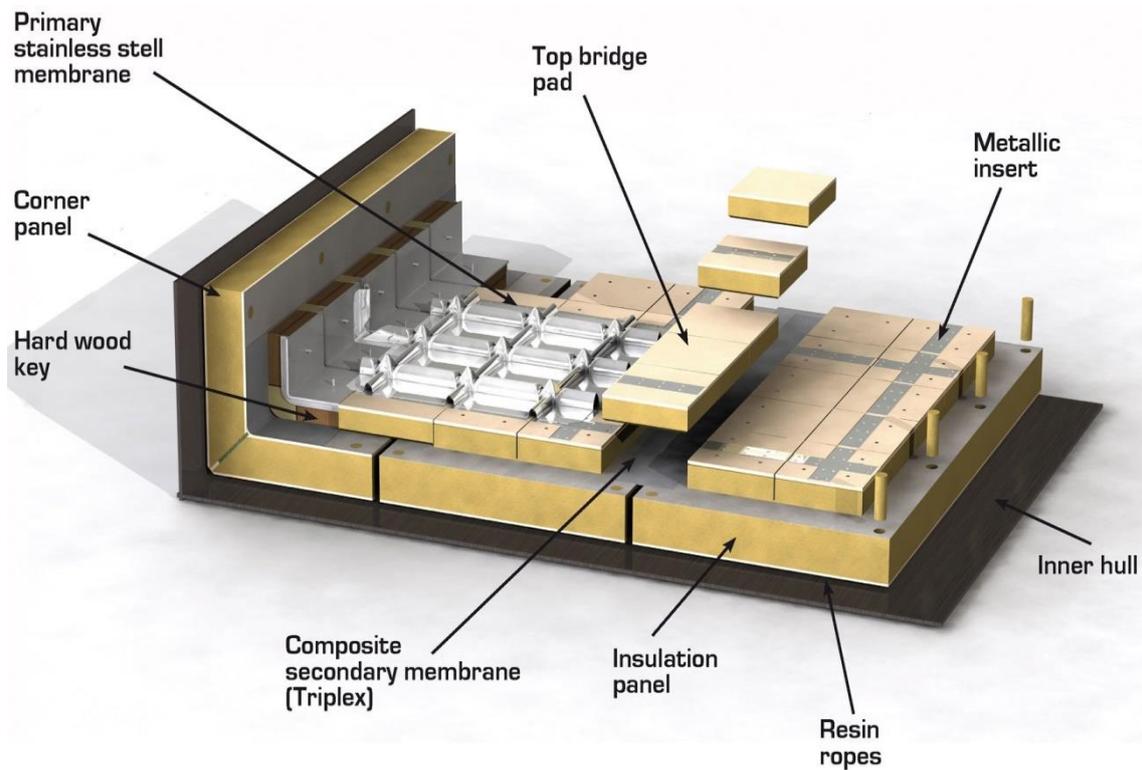


Ilustración 14.- Estructura membrana Technigaz Mark III. Fuente [14]

Gaz Transport Technigaz

Gaz Transport Technigaz es una combinación entre los sistemas Gaz Transport y Technigaz. Es conocido como el sistema “CS1” emplea una barrera primaria de Invar que se apoya en paneles de aislamiento del tipo MK III incluyendo una barrera secundaria de membrana “triplex”, que consiste en una hoja de aluminio entre dos capas de fibra de vidrio, en el espacio entre barreras se inyecta nitrógeno a baja presión, y entre la barrera secundaria y el casco, nitrógeno a alta presión.

Con este sistema se consigue reducir el espesor del aislante a utilizar, lo que confiere un aumento de capacidad de carga de hasta 8.000m^3 por tanque y un ahorro aproximado de un 15% en costes de fabricación.



Ilustración 15.- Interior de un tanque GTT, como se puede apreciar a primera vista no hay diferencias con Gaz Transport no96. Fuente [15]

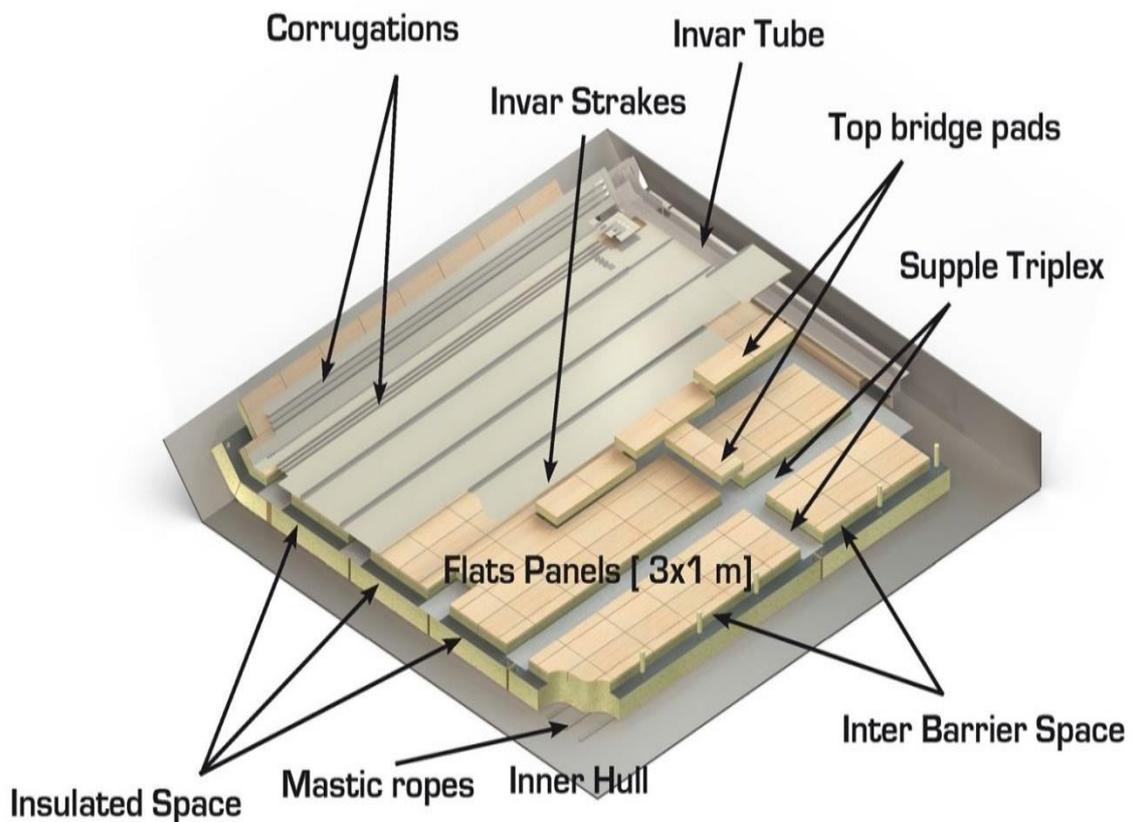


Ilustración 16.- Estructura de una membrana GTT CS1. Fuente [16]

Propulsión en los buques LNG

Motores Diésel

SSD, Slow-Speed Diesel

En lugar de utilizar BOG para generar propulsión y / o energía eléctrica, los buques son propulsados por motores diésel de baja velocidad convencionales que consumen fuelóleo pesado. La energía eléctrica es suministrada por generadores convencionales de fuel pesado o diésel marino.

El BOG en su lugar es re licuado y devuelto a los tanques de carga. Una GCU adicional permite que BOG se queme cuando sea necesario. Este sistema permite transportar GNL sin ninguna pérdida de carga, lo que es ventajoso cuando se quema

HFO / MDO es comparativamente más barato que quemar BOG como combustible de propulsión.

Durante los viajes en lastre, la temperatura del tanque de carga se mantiene pulverizando el GNL re-licuado nuevamente dentro de los tanques de carga. Esto ayuda a reducir el aumento inicial de BOG en viajes cargados. La totalidad de la Clase Q está equipada con este tipo de propulsión.

DFDE, Dual-Fuel Diésel Eléctrico

Los sistemas DFDE son capaces de quemar tanto el gasóleo como el BOG mejorando la eficiencia de los buques en un 25-30% respecto a las tradicionales turbinas de vapor. Los sistemas de propulsión DFDE están equipados con un sistema de propulsión eléctrico alimentado por motores diésel de media velocidad. En el modo de gas, estos motores consumen gas natural a baja presión con una pequeña cantidad de diésel como combustible piloto.

Estos sistemas de propulsión deben estar equipados para manejar el exceso de BOG. A diferencia de las propulsiones de vapor, es necesaria una Unidad de Combustión de Gas (GCU), ya que ofrece los medios adecuados para quemar el BOG cuando sea necesario. Además, se necesita una GCU para eliminar el gas residual de los tanques de carga antes de la inspección. El equipo adicional necesario para el BOG aumenta la cantidad de mantenimiento y su consiguiente coste .

TFDE Tri-fuel Diesel Eléctrico

Poco después de la adopción de los sistemas DFDE, los buques TFDE -los que podían quemar fuelóleo pesado, gasóleo y gas- ofrecieron una mejora adicional a la flexibilidad operativa con la capacidad de optimizar la eficiencia a diversas velocidades. Si bien la flota existente sigue dominada por el sistema de propulsión de vapor, casi el 25% de los buques activos están equipados con sistemas de propulsión TFDE. Además, la cartera tiene más del 31% de los buques TFDE.

MEGI, M-Type Electronically Controlled – Gas Injection

Alrededor del 37% del libro de pedidos están designados para adoptar la innovación más reciente en el diseño de motores portadores de GNL: el motor ME-GI, que utiliza motores de baja velocidad (Diesel lentos) inyección de gas de alta presión. A diferencia de la clase Q que no puede utilizar el BOG como combustible en el motor, se entiende, exclusivamente pues necesitan diésel piloto para poder quemar el gas, los ME-GI optimizar la capacidad de los motores de baja velocidad por consumir directamente el BOG, o Fuel pesado, si es necesario - en lugar de sólo el gas relicuefactado. Esta flexibilidad permite una mejor optimización económica. Un buque LNG ME-GI de 170.000 cm, operando a la velocidad de diseño y totalmente cargado en modo de gas, consume alrededor de 15-20% menos de combustible que el mismo buque con un sistema de propulsión TFDE.

Turbinas de vapor

Las turbinas de vapor son el sistema de propulsión tradicional de los buques de transporte de GNL. Por lo general, dos calderas generan vapor para el sistema de propulsión principal y los generadores eléctricos o turbo generadores. Las calderas en sus mecheros pueden quemar tanto gas (proveniente del boil off de la carga), fuel pesado y diésel. Una ventaja importante del sistema de turbina de vapor es el hecho de que no es necesaria una unidad de combustión de gas, puesto que el BOG (boil off gas) natural de la carga podía ser quemado en las calderas. El mantenimiento y otras operaciones los costes son considerablemente más bajos con los sistemas de propulsión de vapor en comparación con otros sistemas debido al diseño simple con BOG del GNL. Por otro lado, la baja eficiencia térmica y los mayores costos de transporte de carga resultan claras desventajas. Los grandes portadores de GNL requieren más potencia que los diseños de turbinas de vapor existentes. Por otra parte, la dotación de los buques con maquinistas están cualificados para operar sistemas de turbinas de vapor es cada vez más difícil, ya que esta tecnología ha perdido cuota de mercado.

LNG/C Galicia Spirit

El LNG/C Galicia Spirit actualmente propiedad de la compañía Teekay Gas II y operado por Teekay Shipping (Glasgow) Ltd., fue encargado por la Naviera Tapias en los Astilleros DSME de Corea del Sur. Se encargó con el nombre de "Elvira Tapias", pero fue cambiado a "Galicia Spirit" cuando el buque fue vendido Teekay antes de su botadura, aún hoy en día se distingue en la chimenea la bandera de la naviera tapias soldada .

Fue botado en el año 2004, por Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering CO., LTD. Y actualmente, opera bajo pabellón Español, registrado en Santa Cruz de Tenerife.

El buque viga consta de cubierta tronco, doble casco y doble fondo en la zona de tanques de carga. Su estructura es longitudinal y fue meticulosamente comprobada por métodos de elementos finitos. La zona de la sala de máquinas y los finos de proa y popa tienen estructura mixta. Los tanques de combustible también gozan de doble casco, superando las exigencias de la normativa de seguridad vigente.

El área de carga se constituye de un doble casco y subdividido en tanques, cofferdams, doble fondo y doble cubierta. Para la construcción de estas áreas se empleó acero de grado especial para bajas temperaturas con la aprobación de sociedad de clasificación y la compañía dueña de la patente del sistema de membrana aislante Gaz Transport & Technigaz, GTT. Se evita el uso de acero de alto límite elástico para asegurar una prolongada resistencia a la fatiga.

Es un buque especialmente diseñado y construido para el transporte de gas natural licuado a su temperatura de ebullición a presión atmosférica ($-162\text{ }^{\circ}\text{C}$), en sus cuatro tanques de doble membrana de Invar. El sistema de contención de la carga es de tipo membrana, tal como se expone en la sección de tipos de buques LNG, de acuerdo con la patente nº 96 tipo E2.

“La principal característica del sistema de contención y aislamiento empleado en este buque es el uso de una delgada y flexible membrana de Invar (aleación de hierro y níquel al 36% con un 8% de carbono) tanto en la membrana primaria como en la secundaria. El aislamiento está formado por dos capas de cajas de aglomerado llenas de perlita, y fijadas al casco con ayuda de adaptadores mecánicos soldados. Las membranas de Invar se componen de tracas, formadas por chapas de 0,7 mm de espesor y 530 mm de ancho, con los bordes doblados, colocadas unas junto a otras y soldadas por resistencia.

Cuenta con una cubierta corrida, popa de estampa y proa con bulbo sin castillo. Tanto la acomodación, incluyendo el puente de navegación, como la máquina van situados a popa.

La estructura de los tanques de carga está reforzada localmente para la condición de carga parcial, de acuerdo a los requerimientos de la sociedad de clasificación, con la restricción por ejemplo, de la altura metacéntrica (GM) y nivel de llenado de acuerdo a las instrucciones del sistema”. Fuente [25]



Ilustración 17.- LNG/C Galicia Spirit. Fuente , elaboración propia.



Ilustración 18.-LNG/C Galicia Spirit. Fuente , elaboración propia.

Descripción técnica del buque “Ship particulars”

SHIP'S NAME	Galicia Spirit	DATE OF DELIVERY	15-07-2004
FLAG/ PORT	Spanish / S. C. Tenerife	CALL SIGN	Eayp
GROSS TONNAGE	94.822	IMO NUMBER	9247364
NET TONNAGE	28.446	CLASSIFICATION SOCIETY	Lloyd's register of shipping
BUILDER	Daewoo Shipbuilding	SHIP TYPE	Lng carrier 2g (GT membrane)
DESIGNED SPEED	19.5 Knots	STEM	Bulbous bow and raked stem
DATE KEEL LAID DOWN	15-03-2003	DATE LAUNCHED	15-06-2003
OWNERS NAME	Teekay Gas II, S.L.		
CHARTERER	Unión Fenosa Gas		
LOA	279.80 M	BRIDGE - FORE	220.10 m
LBP	268.80m	BRIDGE - AFT	59.70 m
BREADTH	43.40 M	BRIDGE - VAPOUR MANIFOLD	78.30 m
DESIGN DRAFT	11.42 M	CARGO TANK CAPACITY	140500 m ³ (100%)
LENGHT OF PARALLEL BODY	134.33 M (Ballast)/ 144.19 M (Dsgn Drft)	FWA / TPC (at summer draft)	252 mm/ 101.12 Tons/ cm
AIRDRAFT	53.93 M	PROJECTED LATERAL AREA	6543 m2 (Bllst) / 6014 m2 (Loadd)
AIRDRAFT (antenna lowered position)	50.53 M	ANCHOR CHAIN LENGTH (SHACKLES)	14 Port / 13 Stbd
LOADING CONDITION	DRAFT (M)	DEADWEIGHT (T)	DISPLACEMENT (T)
SUMMER	12,120	79.363,7	108.543,2
WINTER	11,868	76.828,8	106.008,3
TROPICAL	12,372	81.937,6	111.117,1
NORMAL BALLAST CONDITION	9,718	54.663,4	83.842,9

Tabla 1.- Características del buque. Elaboración propia.

MAIN ENGINE TYPE	Marine Steam Turbine	ENGINE ORDER	RPM	SPEED LOADED	SPEED IN BALLAST
MCR	36.000 PS X 88 Rpm	NAVIGATION FULL	88	20.7 KNTS	21 KNTS
NUMBER OF PROPELLERS	1	FULL AHEAD	51	12.5 KNTS	12.2 KNTS
PROPELLER TYPE	FIXED PITCH / 5 BLADES / Ø 8.5 M	HALF AHEAD	43	10.4 KNTS	10 KNTS
TYPE OF RUDDER	Semibalanced Spade	SLOW AHEAD	35	8.3 KNTS	7.8 KNTS
MAX. RUDDER ANGLE	45°	DEAD SLOW AHEAD	25	4.9 KNTS	4.4 KNTS
TIME HARD-OVER TO HARD-OVER	30 S	DEAD SLOW ASTERN	-25	-	-
BOW THRUSTER POWER	2500 Kw	SLOW ASTERN	-35	-	-
FULL AHEAD TO FULL ASTERN	6 Min.	HALF ASTERN	-43	-	-
ASTERN POWER	45% Ahead	FULL ASTERN	-51	-	-
MINIMUM RPM	24 (4 Knots)	EM'CY FULL ASTERN	-61	-	-

Tabla 2.- Características de la máquina. Elaboración propia.

Puestos de control

En el buque encontramos tres puntos de control fundamentales, estos son el puente de navegación, la sala de máquinas y el control de carga, aunque en esta parte nos vamos a centrar en dar una pequeña descriptiva, a modo de familiarización, del control de carga y el control de máquinas.

Control de carga

El control de carga, situado en la cubierta C, es la sala desde donde se monitorizan y controlan tanto las operaciones de carga, como una vez cargados la carga y su estado, así mismo, dentro del control de carga se encuentra el sistema de control y monitorización del lastre.

En control de la carga y el lastre se hace a través de un sistema de automatización integrado o IAS, por sus siglas en inglés, es un sistema de control distribuido de Honeywell TPS.

Todas las válvulas de carga del barco son automáticas, por lo que la operación de la carga se realiza desde el control, donde el Chief Mate se encarga de su supervisión con ayuda del Cargo Eng.

Control de máquinas

El control de máquinas se encuentra dentro de la sala de máquinas, siendo este una sala dentro de la misma. En ella se encuentran el sistema de automatización integrado, para el control de los equipos de la cámara de máquinas, así mismo se encuentran en el las salas de los main swichboards 1 y 2, el control de hidráulica, y los paneles de control y monitorización automática de las calderas, así como los cabinets de los autómatas.

Las operaciones de puesta en marcha y control de equipos se pueden realizar desde el control de máquinas, a través del interfaz del IAS.



Ilustración 19.- Main Switchboard n°2 . Fuente , Elaboración propia.



Ilustración 20.- IAS, control de calderas, control de máquinas. Fuente, Elaboración propia.

Sala de máquinas

La sala de máquinas del Galicia Spirit, alberga en su interior una planta de vapor compuesta por dos calderas Mitsubishi aquatubulares, como fuente principal, estas calderas alimentan a una turbina de alta presión y otra de baja, siendo estas la de adelante y la de atrás respectivamente, La planta en la que se integran las turbobombas

de las que toman protagonismo en este trabajo , se trata de una planta de vapor con una turbina de alta y otra de baja, siendo estas de avance y de ciar respectivamente, Kawasaki con una potencia total de 36000 HP, con exhaustación directa a un condensador que trabaja a 722 mmHG de vacío. El vapor que llega a esta turbina procede de dos calderas aquatubulares Mitsubishi de 56000 kg/h cada una, que están alimentadas a su vez por dos turbo bombas Coffin que serán las que se encarguen de alimentar las calderas en condiciones normales de operación dando 112 m³/h , en caso de que fallen las turbo bombas o en caso de levantar la planta desde condición cero, en la que no hay presión para alimentar con las turbo bombas, se arrancaría alimentarían las calderas con una bomba eléctrica Shinko de 40 m³/h.



Ilustración 21.- Visión general de la planta propulsora. Fuente, Elaboración propia.

IV. METODOLOGÍA

Metodología

La metodología empleada en referencia a este trabajo de fin de grado se ha dividido en los siguientes apartados:

Documentación bibliográfica

La documentación aparecida en este TFG, a partir de ahora trabajo de fin de grado, es a partir de una fuente bibliográfica en la que se incluyen páginas web, informes y manuales del buque, etc. Además de los conocimientos adquiridos durante el periodo de prácticas a bordo del buque GALICIA SPIRIT de TEEKAY GAS II.

Metodología de trabajo de campo

La realización de este trabajo viene de la experiencia adquirida en el trabajo de campo que consistió en “Aplicaciones mecánicas y diagnosis de equipos auxiliares accionados por vapor a bordo de un buque metanero: turbo bombas de alimentación”. Incorporando fotografías propias con reseñas en las mismas que aportarán mayor claridad al lector.

Marco referencial

El marco referencial que nos ocupa es el “LNG/C GALICIA SPIRIT” de la empresa TEEKAY GAS II, ESPAÑA . En el cual realicé 199 días de prácticas como alumna de máquinas.

V. Resultados

Resultados

Turbo Bombas Coffin

La planta

La planta en la que se integran las turbo-bombas de las que toman protagonismo en este trabajo , se trata de una planta de vapor con una turbina de alta y otra de baja, siendo estas de avante y de ciar respectivamente, Kawasaki con una potencia total de 36000 HP, con exhaustación directa a un condensador que trabaja a 722 mmHG de vacío. El vapor que llega a esta turbina procede de dos calderas aquatubulares kawasaki de 56000 kg/h cada una, que están alimentadas a su vez por dos turbo-bombas Coffin que serán las que se encarguen de alimentar las calderas en condiciones normales de operación dando 112 m³/h , en caso de que fallen las turbo-bombas o en caso de levantar la planta desde condición cero, en la que no hay presión para alimentar con las turbo-bombas, se arrancarían alimentarían las calderas con una bomba eléctrica Shinko de 40 m³/h.

Presentación de la máquina por el fabricante

“La bomba modelo "DEB 16" es una bomba de tipo difusor centrífugo de dos etapas. Los impulsores de la bomba están montados en el extremo de un eje corto, rígido, de acero inoxidable. Los impulsores están ranurados con precisión en el eje, eliminando el uso de llaves grandes al tiempo que minimiza el agotamiento del impulsor. Los dos impulsores son idénticos, y cuentan con orificios de equilibrado especiales para garantizar además el equilibrio hidráulico. El conjunto giratorio está soportado por un conjunto de cojinetes de precisión de alta velocidad y el impulsor, las entradas del impulsor, el difusor, la cubierta del difusor, los anillos de desgaste y los manguitos están contruidos todos de acero inoxidable. Todos los materiales de la bomba son de alto grado .”

“La bomba de accionamiento de la turbina modelo "DEB 16" es accionada por una turbina de vapor de una sola etapa y de dos hileras de tipo impulso. La bomba y la turbina están montadas en el extremo opuesto de un eje común, corto y rígido, y el empuje es tomado por un cojinete de tipo de contacto angular dúplex situado en el extremo externo de la carcasa de la bomba.” Fuente [1]

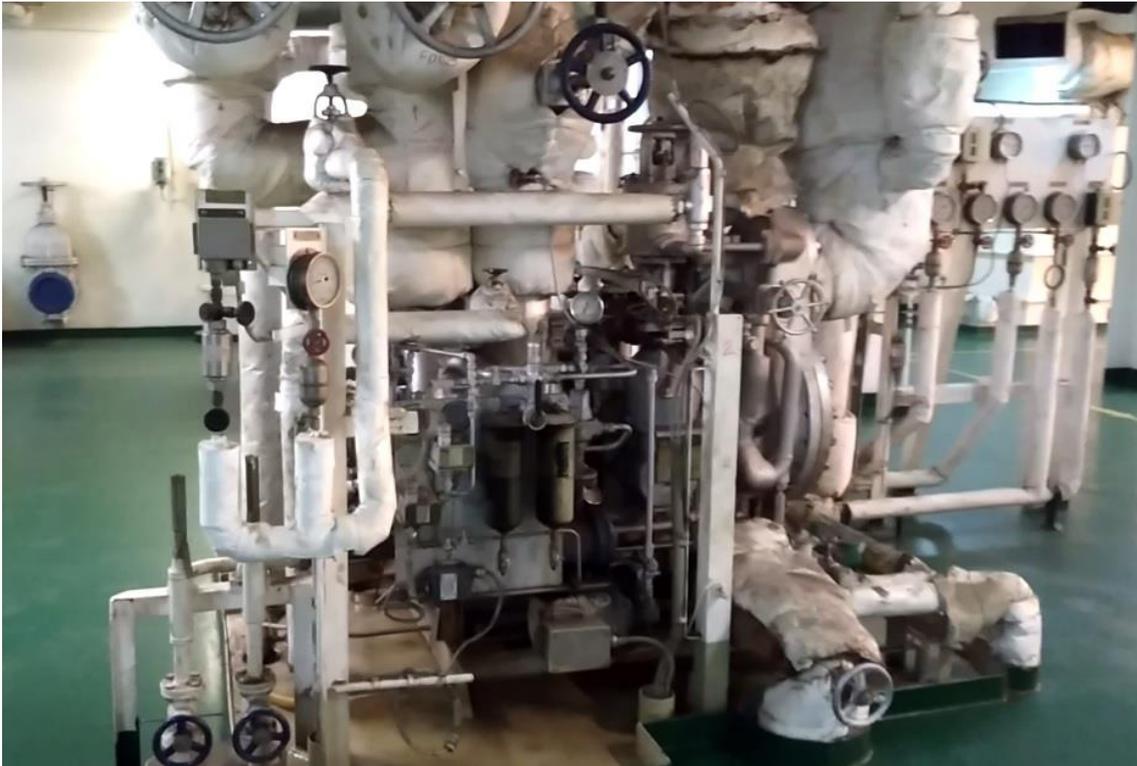


Ilustración 22.- Conjunto turbo-bomba con líneas. Fuente, Elaboración propia.



Ilustración 23.- Bomba eléctrica de emergencia Shinko. Fuente, Elaboración propia.

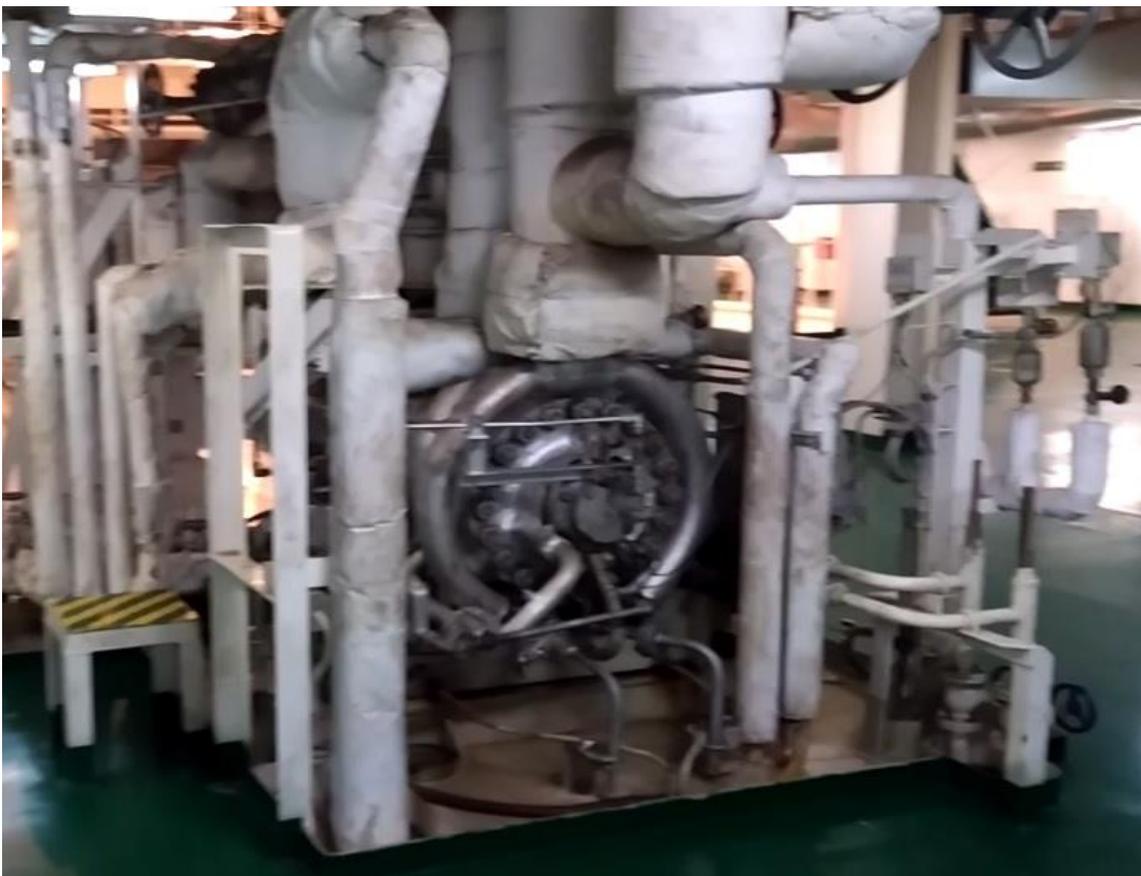


Ilustración 24.- Detalle a popa bomba. Fuente, Elaboración propia.

Funcionamiento y operación

Funcionamiento

El vapor entra en la primera etapa, impulsa dos hileras de alabes (bucket row), a través de la parte superior de la unidad después de atravesar el estrainer, a través del cofre de vapor, y es guiado al bloque de boquillas por colector del colector del vapor y tubería externa de la boquilla. Después de expandirse a través de la turbina, el vapor sale en una dirección axial desde la parte superior de la turbina cubierta directamente sobre la cubierta del extremo de la turbina.

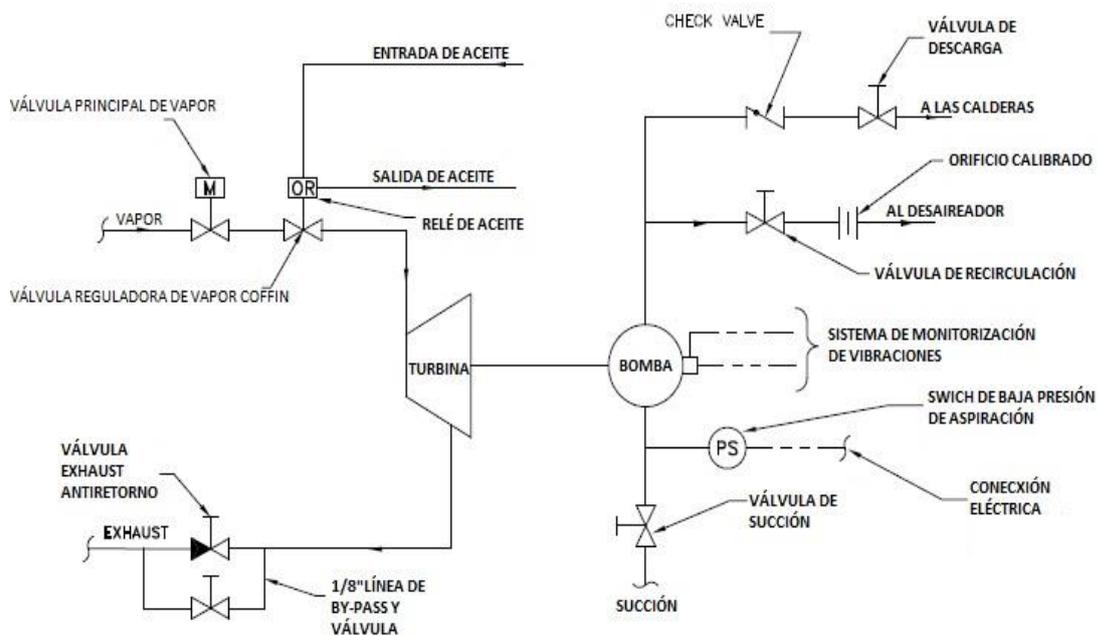


Ilustración 25.- Turbo bomba. Fuente, Elaboración propia modificada de manual.

El eje pasa a través del alojamiento de la turbina, la carcasa del cojinete. Está encastrado en dos rodamientos situados en la carcasa del cojinete y un cojinete de empuje situado en el extremo exterior de la carcasa de la bomba. Las partes giratorias de la bomba están sustentadas entre un rodamiento de rodillos y un cojinete de

empuje externo. El plato de turbina está montado en el alojamiento de la turbina a la derecha del rodamiento. (Consultar anexo 1)

La carcasa del cojinete sirve además como depósito de aceite, donde la temperatura del aceite mantenida por el sistema de aceite se controla por un enfriador de aceite, independiente de la turbo-bomba.

El eje principal cumple el propósito adicional de suministrar energía al eje de transmisión del regulador horizontal a través de un engranaje de tornillo sin fin. Este eje horizontal está conectado a un eje vertical a través de un conjunto de engranajes de inglete en espiral para accionar el regulador de velocidad y la bomba de aceite principal.

El eje principal está protegido por manguitos de acero inoxidable montados donde pasa a través de un sello laberintico y cerrados por dos sellos mecánicos a uno y otro lado. Los manguitos del eje se apoyan firmemente uno contra el otro para establecer la posición axial y el espacio libre de todas las partes móviles. Una característica destacada en el desmontaje de los cojinetes principales se materializa en el uso de manguitos en cojinetes de rodillos. Atornillando el manguito de elevación contra la pista interior del cojinete, la fuerza que se ejerce ayudará a retirar los cojinetes.

Control de la turbo bomba

El control de la turbo-bomba se realiza en todos los casos mediante la válvula reguladora de vapor. El funcionamiento de esta válvula se ve afectada por las siguientes condiciones:

1) Presión de descarga de la bomba: a través del regulador de presión constante o de los controles neumáticos con el actuador de diafragma, acciona el relé de aceite a través de la palanca principal, para posicionar la válvula con el fin de mantener presión de descarga. Durante el funcionamiento normal, esta válvula está siempre bajo el control del regulador de presión. Esto impide que se pegue de la válvula, debido a que estará en constante movimiento.

2) El regulador centrífugo de velocidad acciona el relé de aceite a través de la palanca principal cuando se sobrepasa la velocidad nominal, cerrando la válvula de vapor del regulador, “tripeando” la bomba y evitando tensiones del rotor.

3) El exceso de contra presión “tripea” mecánicamente actuando sobre el relé de aceite actuando sobre la palanca de control principal para aliviar la presión de aceite necesaria para mantener la válvula de equilibrio del regulador abierta. Esto también se da por la pérdida de presión de aceite.

La bomba

La bomba es de tipo centrífugo. El fluido bombeado entra en la primera etapa, se desplaza a través de los pasos de succión de la misma, e incide axialmente en el impeler, descargado radialmente en el difusor de la primera etapa, a continuación es dirigido por la bomba a la segunda etapa, entrando en el segundo impeler, a través del difusor de la segunda etapa; y finalmente a través de la brida de descarga de la bomba.

Para evitar el sobrecalentamiento de la bomba en condiciones de carga ligera, hay un sistema de recirculación del agua de alimentación de la bomba. La válvula de recirculación debe mantenerse abierta en condiciones puerto y fondeo.

Operación

Como parte fundamental del proceso que se expone en este trabajo, a continuación se explican los procedimientos de arranque y parada de la turbo-bomba. Puesto que los pasos a seguir son esenciales para el buen funcionamiento de la máquina y evitar fallas por sobre-velocidad en el arranque o fallas de materiales debido a un incremento brusco de temperatura o deceso.

Puesta en servicio

La entrada de vapor, la exhaustación, el agua de refrigeración de aceite, el vapor de sello, la succión y los sistemas de descarga deben estar en la condición de

partida, es decir habrá de chequearse que estén en funcionamiento, arrancar con la descarga cerrada y la recirculación ligeramente abierta.

- Comprobar que el sistema de refrigeración de aceite está comunicado. La válvula throttle manual, debe estar abierta.
- La palanca de disparo de la turbina ubicada en el conjunto del regulador debe reiniciarse si está en posición de trip.
- Comprobar que la válvula de suministro de agua de refrigeración del refrigerador de aceite esté abierta.
- Abrir la válvula de drenaje de la carcasa de la turbina.
- Abra la válvula de cierre de descarga de la bomba, la válvula de succión de la bomba y la válvula de exhaustación de la turbina.
- La válvula de venteo de la bomba debe estar abierta hasta que la bomba esté completamente purgada.
- Abrir la válvula de recirculación de la bomba

El fabricante recomienda que:

La Turbo bomba puede arrancarse arrancando primero la bomba de aceite auxiliar para suministrar los cojinetes con pre-lubricación. A continuación, abrir lentamente la válvula de steaming para ir moviendo la Turbo-bomba lentamente, calentándola así.

A continuación, cuando la bomba ya esté caliente, se puede abrir completamente la válvula de steaming.

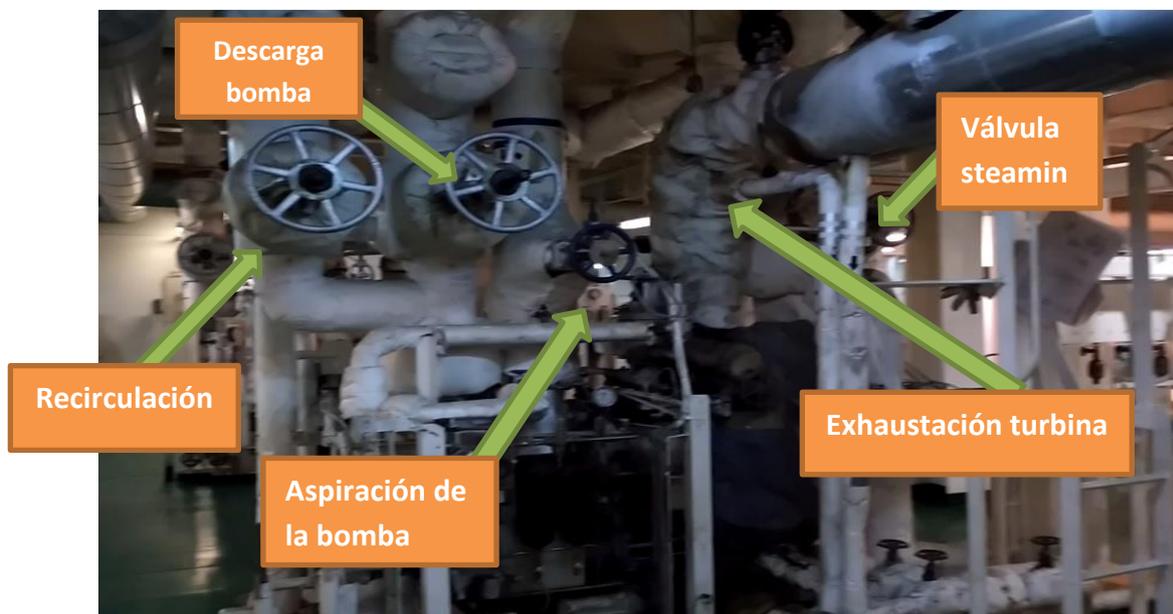
Cuando el brazo del regulador ya esté completamente subido, y el mismo esté ya en funcionamiento, se puede abrir lentamente la válvula principal de vapor. Se recomienda una apertura gradual lenta siempre que sea posible.

Arrancar la bomba de aceite auxiliar.

En caso de que la bomba de aceite de arranque se quedase pillada o no funciona:

Habría que levantar el relé de aceite, y la palanca de arrancar colocando un destornillador u otra herramienta similar debajo de la palanca en el extremo del enlace. Esto permitirá elevar el balancín del regulador de la válvula de vapor, permitiendo que la turbina arranque. Se habrá de mantener esta posición sólo hasta que la bomba de aceite integrada de la turbo bomba arranque al llegar esta a régimen.

- En este punto, ya se pueden cerrar todos los venteos y drenajes.
- Comprobar todos los circuitos de alarma que puedan haber sido desactivados durante la operación de arranque. Volver a activar estos circuitos si es necesario para protección y supervisión de la unidad.



Operación normal de la bomba

- Cerrar la válvula de recirculación de la bomba cuando la capacidad de la bomba exceda la tasa mínima especificado en Curva de rendimiento de la bomba.
- Hay que comprobar visualmente en la unidad, incluyendo todos los indicadores tan pronto como sea posible después del arranque. Durante este control, la inspección de toda la unidad debe llevarse a cabo en busca de cualquier condición anormal, pues es en esta primera condición donde se suelen dar los fallos. Si la bomba está funcionando fuera de los parámetros normales, hay que parar inmediatamente la bomba para evitar daños. Si se escucha cualquier ruido o vibración excesiva, habrá de pararse.

- El regulador de presión constante de la bomba se habrá de ajustar, en función de la presión máxima de vapor, para la presión mínima de descarga de la bomba, para mantener una capacidad adecuada de agua de alimentación.



Ilustración 25.- Controlador Honeywell de carga. Fuente, Elaboración propia.

- Se ha de comprobar en cada ronda de la sala de máquinas para ver que la turbo-bomba funciona normalmente. Se alienta al cliente / operador a desarrollar.

Parada para largo tiempo

Esta indicación se incluye también como procedimiento tomado para la parada de la turbo-bomba mientras se esperaba a la llegada del técnico.

- Cerrar la válvula de entrada del vapor de la turbina, o, accionar la palanca de disparo manual, “trip” manual.

- Cerrar la válvula de suministro de agua del enfriador de aceite y la válvula de la línea de recirculación.
- Dejar abiertas las válvulas
 - La válvula de descarga de la bomba.
 - La válvula de succión de la bomba.
 - La exhaustación de la turbina puede cerrarse si la temperatura del escape es superior a 347 °C.
- Cerrar la válvula de succión de la bomba.
- Drenar la carcasa de la bomba a través de la válvula de drenaje de la carcasa de la bomba, y el colector de aceite a través del drenaje del Carter.

La avería

A continuación se expone el problema surgido a bordo y la solución que se tomó, esta sección será guiada a través del informe elaborado por el técnico de la empresa y las notas tomadas durante el desarrollo de los dos días de trabajo, así mismo, se expondrá en imágenes el proceso de montaje y desmontaje de la misma.

En primera instancia la turbo-bomba comenzó dando un fallo en el regulador de brazo, que es el que se encarga de controlar la entrada de vapor a la turbina, en función de la demanda de la planta, aunque se mueve sobre unos valores previamente establecidos. El mayor problema que suponía este fallo, es el de la presión, puesto que la presión de descarga fijada en la bomba es de 65-70 Kg/cm² y al ceder el regulador y aumentar la entrada de vapor, esta presión se elevaba hasta 80-90 Kg/cm² suponiendo un riesgo para el sistema, puesto que se podían disparar las seguridades del mismo y/o terminar por fracturar una de las líneas en un punto de falla. Este fallo se fue solventando, operando el regulador manualmente cada vez que fallaba, hasta que esta medida dejó de ser eficaz y se tuvo que optar por poner el personal a guardias para poder estar regulando constantemente la bomba de forma manual.

En segunda instancia, se empezaron a encontrar trazas de agua en el Carter de la turbo bomba, fruto de la rotura de uno de los sellos mecánicos de la misma. Visto esto se tuvo que optar por parar la bomba, y operar solamente con la otra. En este

punto tuvo que optarse por llamar al técnico de la empresa Coffin (fabricante de la turbo bomba).

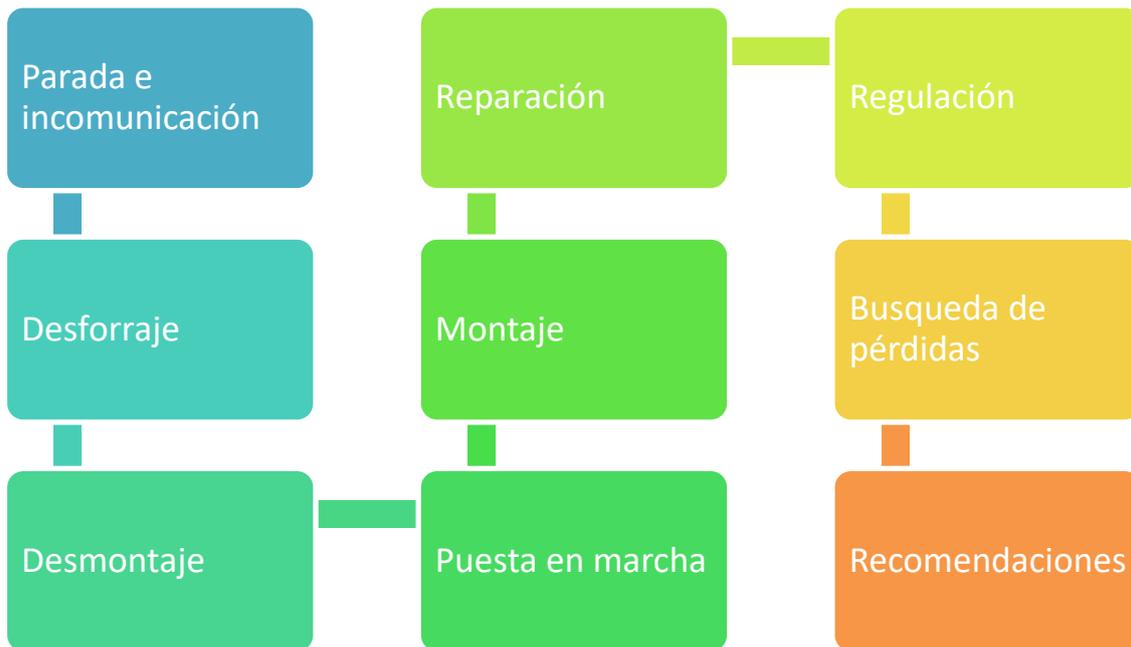


Ilustración 26.- Detalle regulador de entrada de vapor y actuador. Fuente, Elaboración propia.

El proceso que se describe a continuación, es un trabajo de astillero, por lo que fue necesario contar con un técnico de la empresa del fabricante.

Informe y avería

A continuación se expone el proceso de desmontaje y sustitución de piezas, siguiendo el informe del técnico, de la reparación y revisión de la turbo bomba de alimentación de agua n^o2 durante fondeo en Ain Sokhna, Egipto.



Parada y preparación del trabajo

Siguiendo el procedimiento descrito en la sección parada para largo tiempo, se procedió a parar e incomunicar la bomba bajo las órdenes del fabricante.

Una vez fría se procedió a liberar la presión que pudiese quedar en su interior, y se abrieron las purgas y drenajes.

Tras asegurarse de que no había pérdidas de vapor de la línea principal de entrada, ni pérdidas en la línea de alimentación de agua, se procedió a drenar el aceite del Carter y el agua remanente en la bomba.

Una vez llevados a cabo estos pasos fundamentales, se procedió a retirar los forros de fibra de vidrio y lana de roca, de la bomba y las líneas de drenaje integradas a la misma.



Ilustración 27.- Tapa de la turbina desferrada. Fuente, Elaboración propia.

Una vez desferrado el cuerpo de la turbo-bomba y quedando liberadas las tapas de acceso, se procedió a desmontar el circuito de aceite completo, liberando las líneas de lubricación de la turbo-bomba.

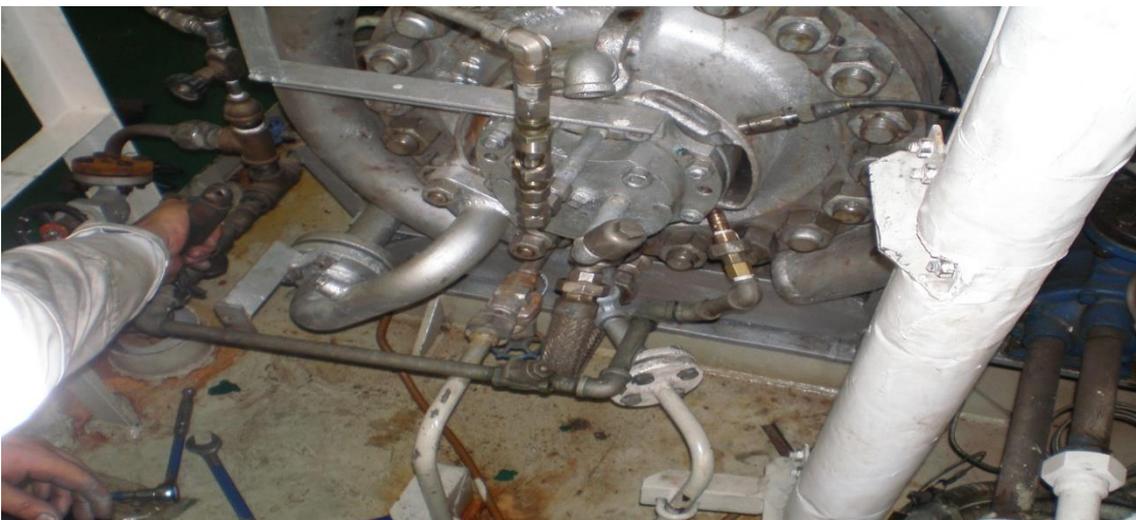


Ilustración 28.- Desmontaje del circuito de aceite de la turbo-bomba. Fuente, Elaboración propia.

Desmontaje

A continuación se procede a describir el proceso seguido para el despiece de la bomba

In situ

Una vez desmontado el circuito de aceite, se procedió a desmontar el regulador de presión constante y a retirar el brazo actuador.

Después se procedió a retirar las líneas de cebado de la bomba y a retirar las tapas del carter, la bomba y la turbina, para tener acceso al interior de la misma. En este punto se realizaron las observaciones previas del estado de la máquina, pudiendo observarse el estado de corrosión y degradación de algunos componentes.

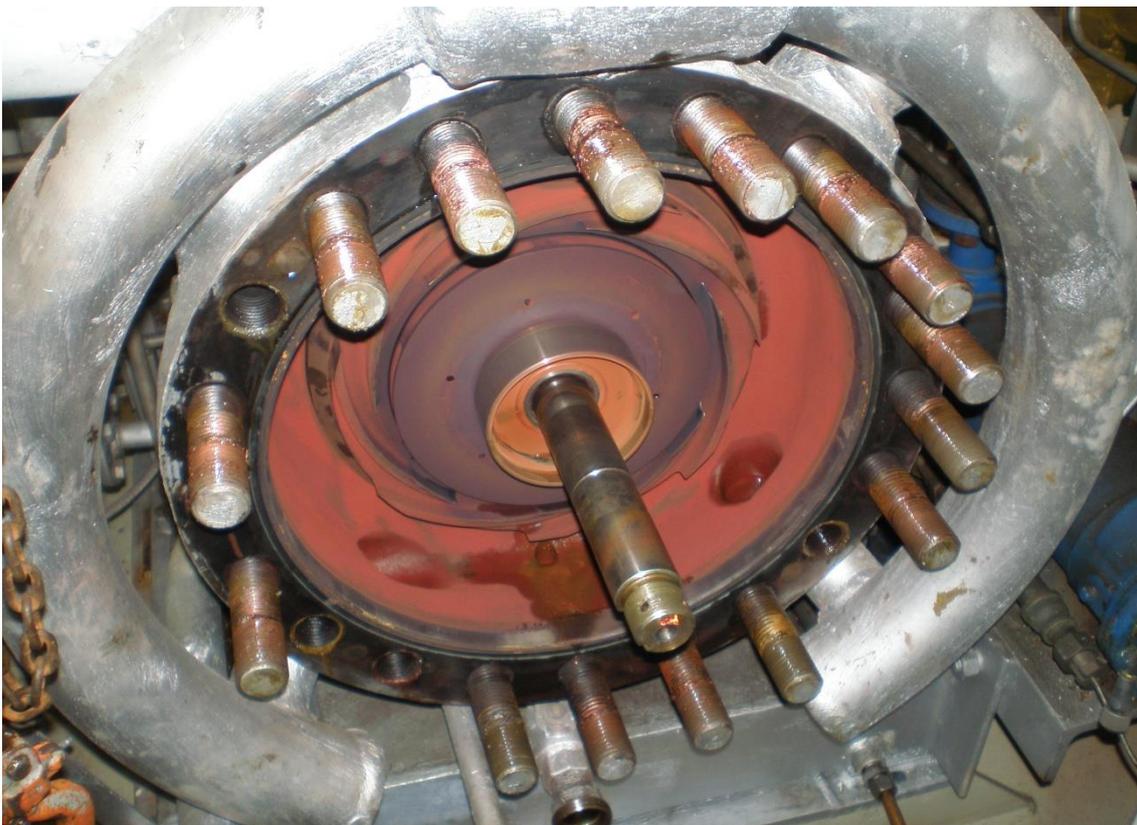


Ilustración 29.- Bomba, se observa corrosión. Fuente, Elaboración propia.

A continuación se procedió a la extracción del impeler en el lado de la bomba, y la etapa de expansión, bucket row, del lado de vapor, pudiendo hacerse una mayor y mejor observación de los daños y el desgaste dentro la de la misma, como puede observarse en la ilustración 29. A pesar del primer color rojizo observado al retirar la bomba se observó que a priori estaba en condiciones normales.

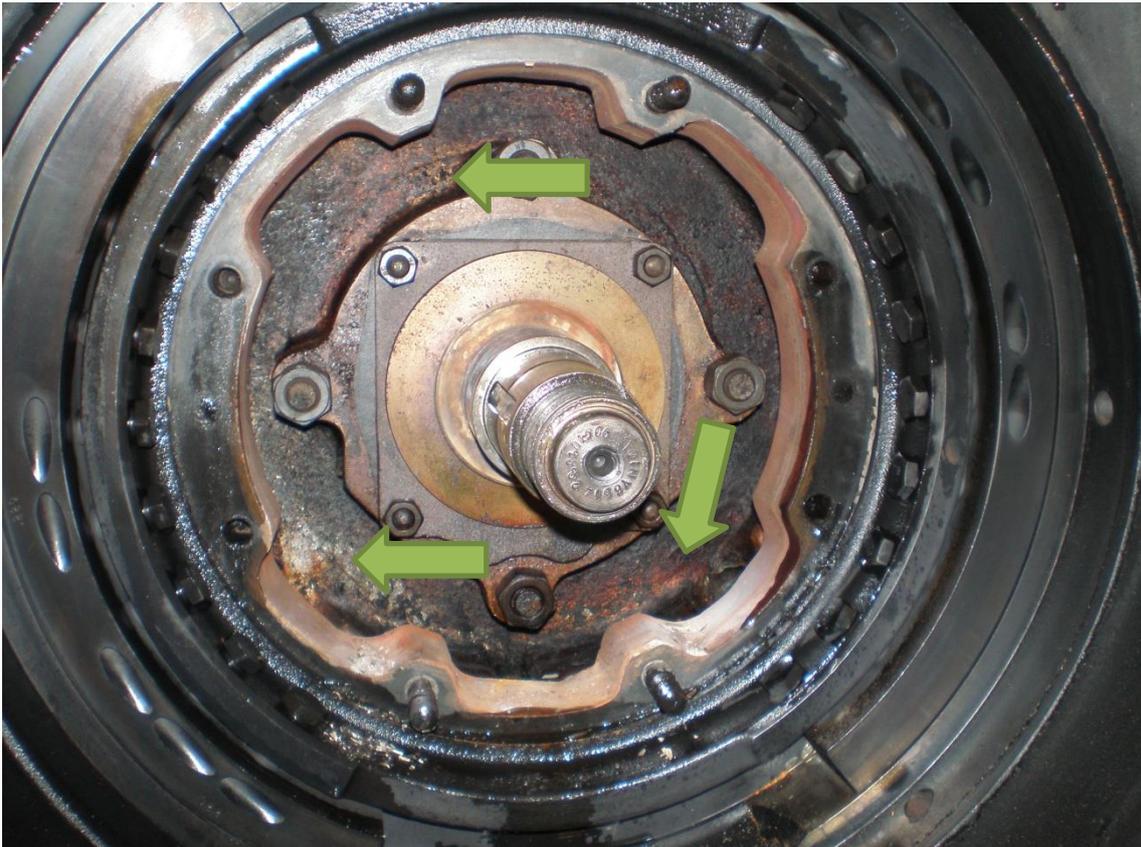


Ilustración 30.- Lado de vapor, corrosión en la exahustación. Fuente, Elaboración propia.

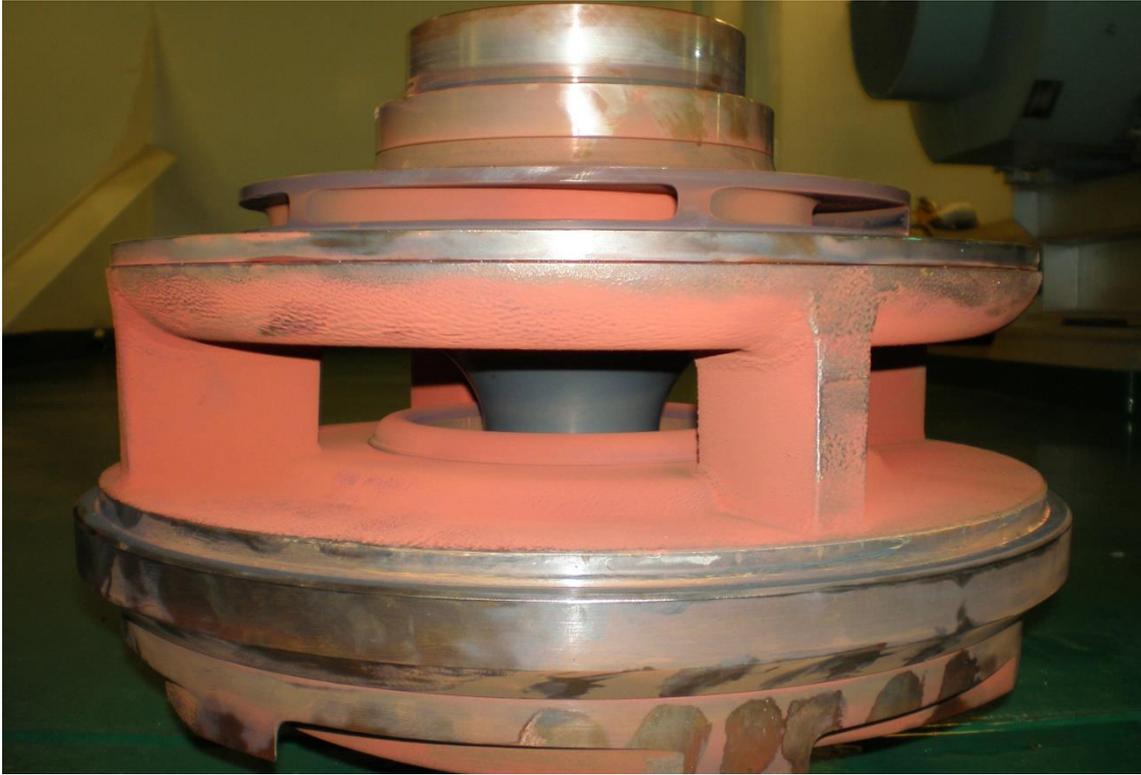


Ilustración 31.- Lado de vapor, corrosión en la exahustación. Fuente, Elaboración propia.

Seguidamente, se procedió a la retirada de los seal cover y los sellos, y a continuación se extrajo el eje, quedando definitivamente el cuerpo de la bomba listo para su inspección y diagnóstico. Se observó daños en los cojinetes y puntos de corrosión debido a la acción del agua cuando la bomba estaba en estado de reposo, como se puede observar en la ilustración 32, donde se señalizan en verde los puntos.



Ilustración 32.- Puntos de corrosión localizada en el lado de la bomba. Fuente, Elaboración propia.

Así mismo, en el lado de vapor se pudo observar también daños por la acción del mismo, estos también señalizados en verde, en la ilustración 33, así como la acumulación de residuos provenientes de desgaste y arrastres, que se puede observar en la ilustración 34.

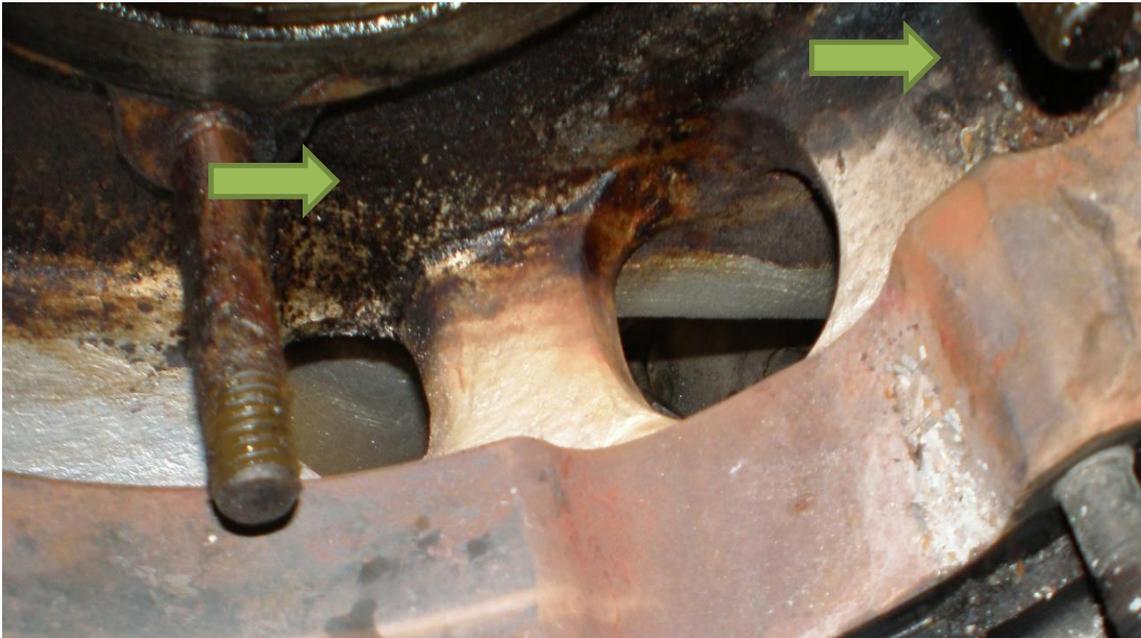


Ilustración 33.- Daños en el lado de vapor. Fuente, Elaboración propia.



Ilustración 34.- Residuos lado de vapor. Fuente, Elaboración propia.

Una vez llevado a cabo este despiece, se procedió a la limpieza del cuerpo de la bomba, la retirada de los residuos y restos de óxido, y la preparación de las cajas, tapas y pernos para el posterior re ensamblaje, así como la sustitución de los espárragos dañados, y la reparación de las roscas.

En el taller

En esta sección, se exponen las observaciones del técnico en el informe, así como los procedimientos que se llevaron a cabo en el taller del barco, para la restauración de las piezas de las que no había repuesto a bordo y la sustitución de las que si pudieron ser cambiadas.

Tras abrirse completamente la unidad nº2 para su inspección y se encontró:

Después de abrir la bomba entera para la inspección, se sustituyeron los rodamientos de rodillos, que se encontraron con los rodillos dañados y la caja de los mismos deformada, como se puede observar en la ilustración 34.



Ilustración 34.- Cojinetes nuevos frente cojinetes viejos. Fuente, Elaboración propia.

También se procedió a cambiar los deflectores del aceite, los sellos mecánicos internos y externos, manguitos de la bomba y del rotor, glándula del eje.

Los sellos mecánicos internos y externos se encontraron ajados y dañados. Las mangas de la bomba estaban gastadas. Consultar anexo 3.

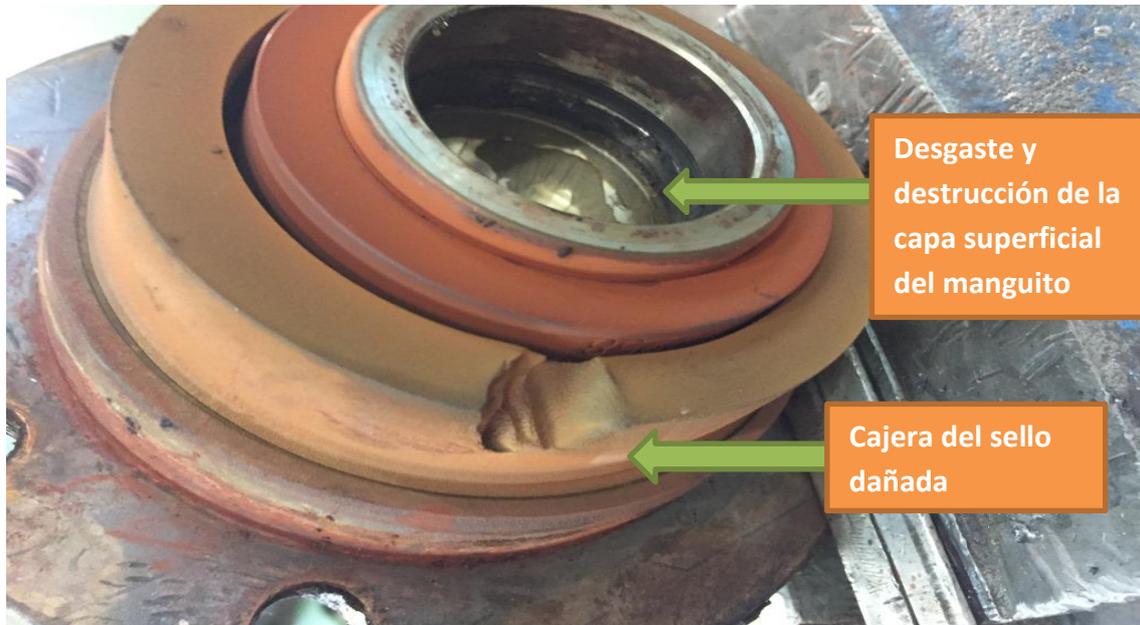


Ilustración 35.- Sello retirado, cajera dañada. Fuente, Elaboración propia.



Ilustración 35.-Detalle sello abierto, muelles elongados, en el cuerpo del fondo muelles salidos o ausentes.

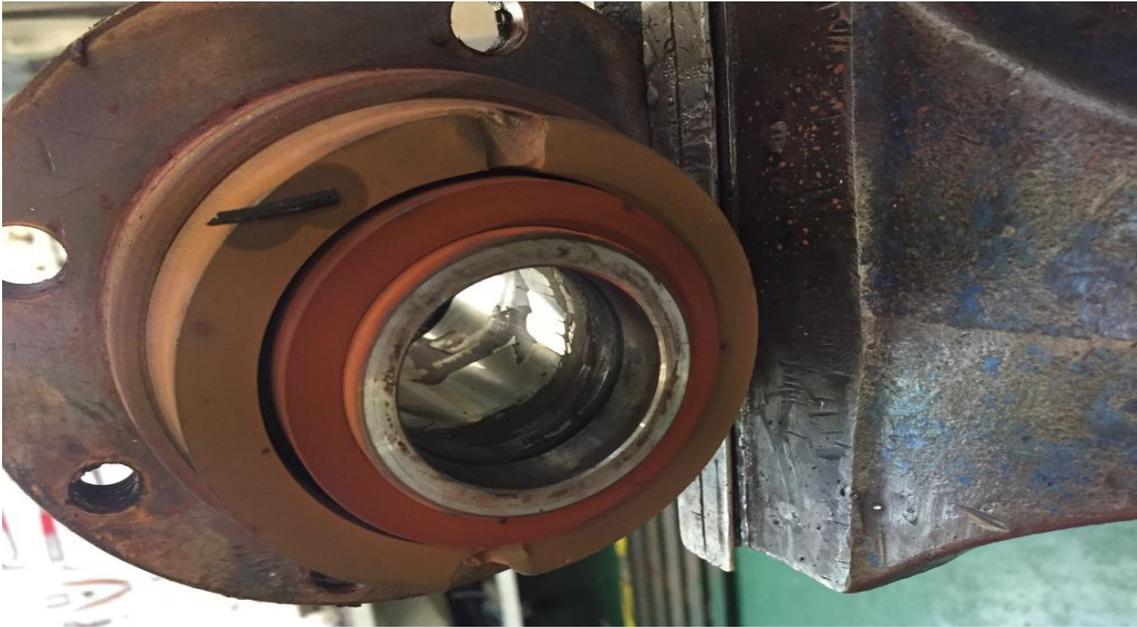


Ilustración 36.- Detalle del interior del sello. Fuente, Elaboración propia.

En el eje principal en el lado del vapor y el lado de la bomba tenía numerosos arañazos También comprobar la fatiga y se encontró el extremo de agua del eje principal: desgaste de 0,12 mm, es alto, esto se observa en la ilustración 38.



Ilustración 37.- Detalle del eje arañado. Fuente, Elaboración propia.

El eje de la turbina estaba desgastado y la manga del rotor tenía muescas. La humedad que se encuentra en el lado de la bomba, como resultado se encontraron depósitos de óxido en el Carter, como se puede observar en la ilustración 39.



Ilustración 38.- Desgaste extremo de eje lado de agua. Fuente, Elaboración propia.

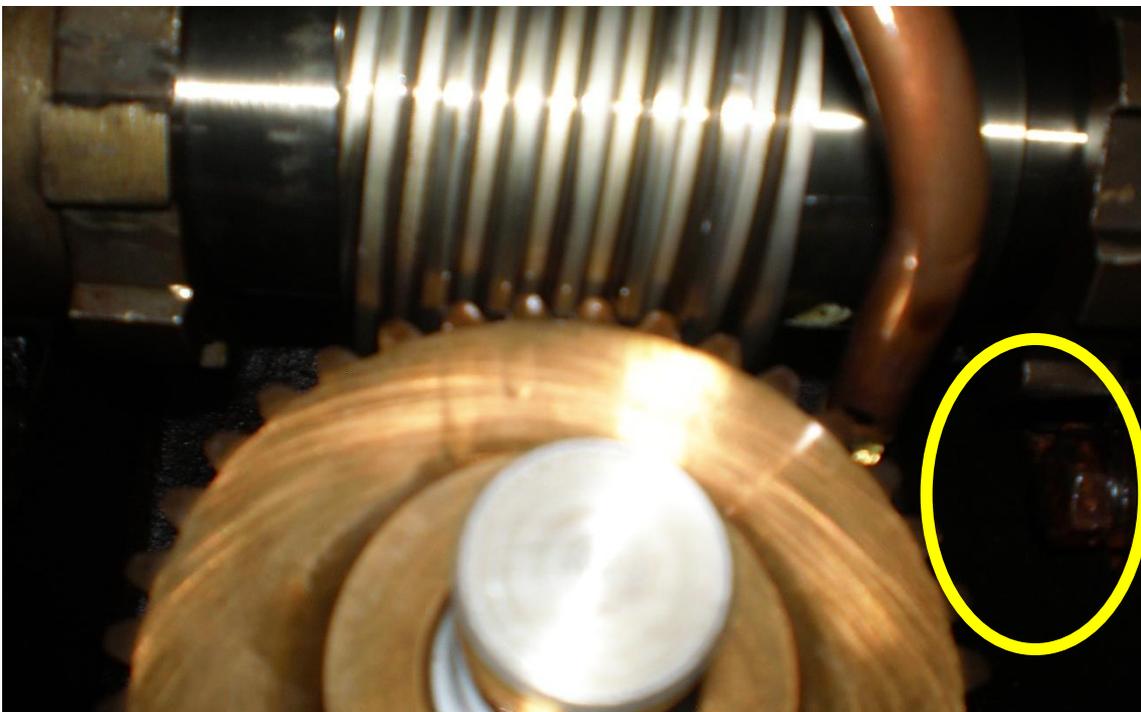


Ilustración 39.- Detalle, corrosión, debido a la humedad que entró por el fallo de los sellos. Fuente, Elaboración propia.



Ilustración 40.- Detalle eje con cojinetes nuevos ya montados. Fuente, Elaboración propia.

En la ilustración 40, se observa el eje ya restaurado, con los nuevos cojinetes ya montados. El tratamiento que se le aplicó al eje fue el fino lijado con una lija para ejes y cigüeñales de óxido de aluminio de 30 micrones.

En el impeler de la 1ª Etapa, se encontró cavitación en el punto que se muestra en la ilustración 42.



Ilustración 41.- Impeler nº1. Fuente, Elaboración propia.



Ilustración 42.- Detalle cavitación impeler. Fuente, Elaboración propia.

El retén de junta mecánica interior, la envolvente y la cubierta de sello exterior, fueron sustituidos también.

Se observó que el diafragma tenía desgaste en la cara de ajuste y holgura en la glándula de la turbina. Debido a la falta de la pieza no se pudo reemplazar, por lo que se procedió a su restauración.



Ilustración 43.- Desgaste y corrosión en la cara de ajuste. Fuente, Elaboración propia.



Ilustración 44.- Detalle deterioro seal cover. Fuente, Elaboración propia.

Después de recibir la autorización total, se abrió completamente su inspección el regulador de presión constante, se hubo de restaurar el vástago del mismo, solo se reemplazó sólo la guía superior.



Ilustración 45.- Despiece regulador de presión constante, actuador, y cover oil relay

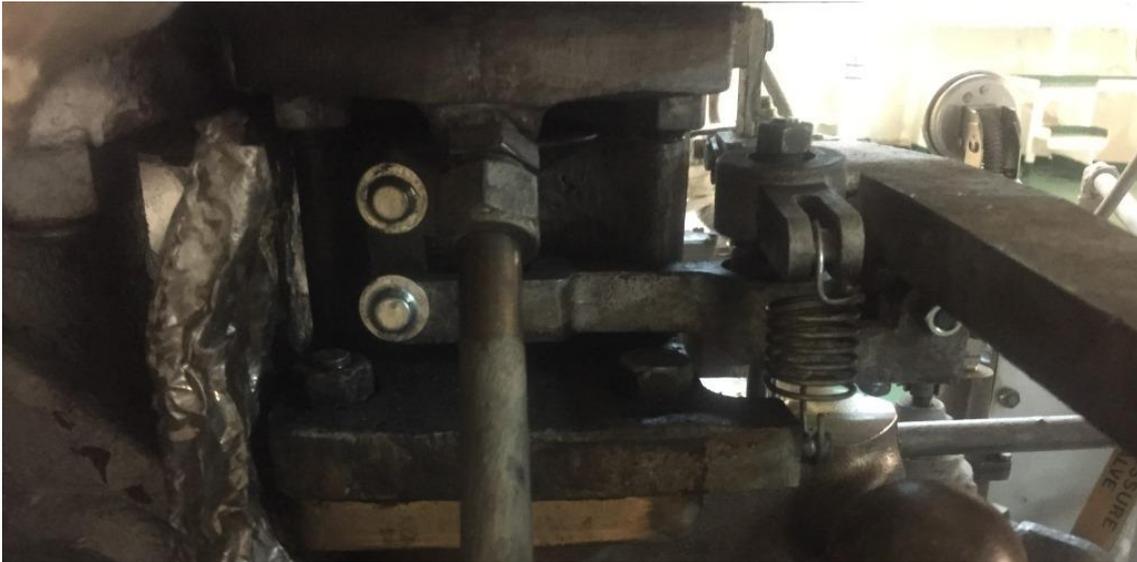


Ilustración 46.- Relé de aceite. Fuente, Elaboración propia.

En el relé de aceite se encontró el cilindro desgastado, al abrir para inspeccionarlo, pero no se consideró necesaria su sustitución. En este caso, se sustituyó el vástago únicamente. Consultar anexo 5.

En la ilustración 46 se muestra el relé de aceite colocado en su posición.



Ilustración 47.- Detalle desgaste manguito, Elaboración propia.



Ilustración 48.- Detalle corrosión cojinete de apriete seal cover. Fuente, Elaboración propia.

Cuando la bomba estaba en modo st / by, hubo condensación en el Carter y permanecieron allí durante mucho tiempo en el cojinete y el retenedor, en la ilustración 48 se observa la corrosión. Como resultado fue el aceite quedó inutilizable y el desgaste de los rodamientos sobrevino muy pronto.

Montaje

Siguiendo el procedimiento establecido por el técnico, se procedió al montaje de la bomba comenzando por la reposición de cojinetes y rodete del accionador de la bomba integrada de aceite, en el eje, como se observa en la ilustración 40.

A continuación, se procedió a colocar los seal covers y se procedió a la colocación del eje en su posición.



Ilustración 49.- Montaje del eje en su posición. Fuente, Elaboración propia.

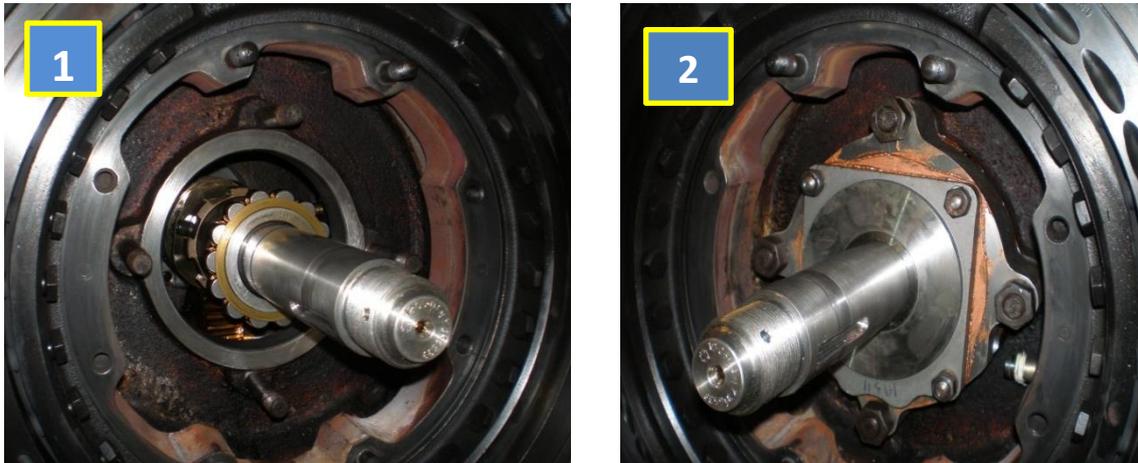


Ilustración 50.-Colocación del eje en posición, Elaboración propia.

Seguidamente se colocó el bloque del impeler con las dos etapas, y la etapa de expansión, bucket row, del lado de vapor.

Después se colaron las tapas del Carter, la bomba y la turbina.

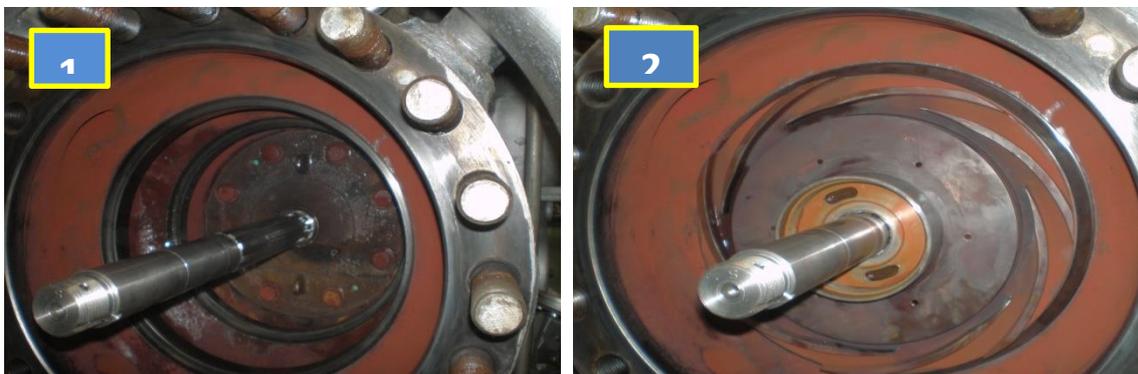


Ilustración 51.-Montaje impeler bomba. Fuente, Elaboración propia.

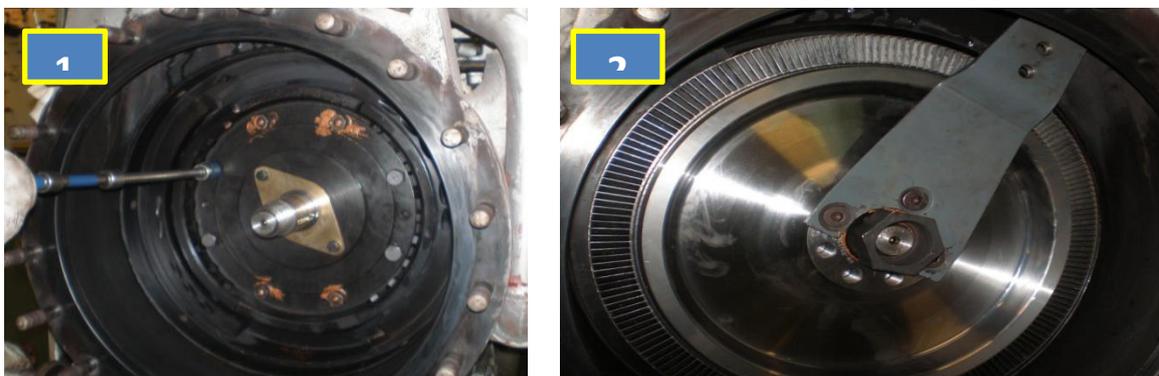


Ilustración 52.- Montaje de bucket row, etapa de expansión. Fuente, Elaboración propia.

Se coloca el regulador de presión constante, y su actuador rotativo, que luego habrán de ser regulados, como se ve en la sección Regulación.

Finalmente, se vuelve a colocar el circuito de aceite, y se rellena el Carter. Se abren las purgas de agua y vapor, y se purgan las líneas para comenzar la siguiente etapa.

Durante todo este procedimiento se comprobó meticulosamente que no quedase ninguna herramienta, traza, viruta o elemento que durante el funcionamiento de la bomba pudiese causar daños o la destrucción de la máquina. Este punto es sumamente importante, puesto que puede suponer una avería severa.

Así mismo, se hace especial hincapié en la limpieza y el orden a lo largo de todo el proceso.

Puesta en marcha

Se arranca la bomba de aceite, a la máxima presión (según el fabricante) , de esta manera el aire retenido en el sistema escapará por el venteo, quedando estable el nivel del Carter y el sistema completamente purgado.

Se comunica el agua de refrigeración al enfriador de aceite, se purga el sistema de agua de los sellos. Para el venteo de este último, se procede a una vez puesta en marcha hacerlo a bajas revoluciones 3000 RPM durante un minuto, tiempo suficiente para que escape el aire.

Una vez hecho esto, se procede a seguir a seguir el procedimiento establecido en la sección 5.2.4.1. rodando durante 30 min la bomba a bajas revoluciones, para terminar de purgar las partes de la misma, y observar que rueda bien.

Regulación

Consultar anexo 4.

Mientras esta parada

Para restablecer la tensión del resorte del regulador de presión se siguió el siguiente procedimiento.

- Apriete el resorte girando el regulador de presión en el sentido de las agujas del reloj, y tirando de la palanca del regulador hacia abajo firmemente contra el pasador de parada de la palanca del regulador de presión.
- Cerrando la tapa del cofre de vapor girando el volante de la válvula throttle en el sentido de las agujas del reloj. Manteniendo el eje del pistón del relé de aceite en contacto equilibrada del gobernador levantando el gatillo del husillo del relé de aceite hacia arriba con una palanca grande o un destornillador. En este punto hay que asegurarse de que el distancia entre centros del pasador de articulación y el pasador de articulación situado en el cuerpo del cojinete del husillo está a 4,0 pulgadas (102 mm).
- Ahora se ha llevar la conexión del regulador de presión a una distancia de 0,76 mm entre la parte superior del buje superior de la válvula piloto y el buje inferior.

Regulación a la presión de trabajo

Para la regulación a la presión de trabajo, con la bomba en marcha

- Se alivia la presión sobre el resorte del regulador de presión aflojando el hasta que se suelte toda la tensión.
- Con una señal cero en el actuador, aumentar la tensión del resorte hasta que la presión de descarga de la bomba sea aproximadamente 60-70 bar. En este punto se aprieta la tuerca ranurada, para dejar fijado el set.
- Se chequea que con la bomba de alimentación funcionando a plena carga, el actuador debe estar en 30-35%.

Búsqueda de pérdidas

La bomba se probó bajo carga bajo la supervisión del técnico y fue verificada para detectar fugas. Luego se alineó y dando una correcta operación.

Al día siguiente, después de 24 horas, el análisis de la prueba de aceite se tomó del tanque del depósito de aceite y no se encontraron trazas de agua.

Recomendaciones

Se recomendó poner en servicio la bomba en st / by semanalmente durante unos minutos a baja carga para una buena lubricación y circulación del aceite lubricante y cambiar el filtro con más frecuencia.

VI. CONCLUSIONES

Conclusiones

En este capítulo se tomaremos en consideración las conclusiones obtenidas durante el desarrollo de este trabajo de fin de grado.

- Dar conocimiento del origen del LNG, y de la historia de los buques LNG:
Se ha dado a conocer el origen de la industria del gas natural licuado, haciendo una transición desde el origen y la formación del gas, así las condiciones necesarias para su formación.
- Así mismo, se mostraron las primeras experiencias con el mismo, pasando por las primeras plantas, hasta el primer buque LNG y el crecimiento de la flota, hasta llegar a hoy en día, marcando las expectativas de futuro próximo.
También se ha resuelto la producción mundial, así como las reservas esperadas.
- Dar a conocer los tipos de buques LNG que existen en función del tipo de tanque que llevan y las características de operación de un buque LNG:
Se ha dado a conocer los tipos de buques LNG en función del tipo de tanques de carga, explorando los distintos tipos de tanques que hay actualmente, resolviendo su estructura y dando a conocer al lector los factores que le influyen.
- La puesta en marcha y operación de una turbo bomba de alimentación a una caldera a 60 Kg/cm² P:
Se ha resuelto las situaciones de puesta en marcha y operación, aclarando posibles fallas en el arranque de la bomba y dando solución a las mismas. Así como, se han establecido los procedimientos de arranque, operación y parada de la misma.
- El mantenimiento y la reparación debido a un fallo sufrido a bordo:
Se expone una situación sufrida a bordo, donde la turbo bomba se ve afectada dos fallas principales, que llevan a su parada. Se han resuelto las dudas acerca

del problema, viéndose reflejado el fallo múltiple por distintas causas, que llevó a esta situación, quedando reflejada la necesidad de un mantenimiento más concienzudo y el material defectuoso de los distintos dispositivos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

Webgrafía

- [1]. <http://coffinpump.com>
- [2]. <http://www.turbinasdevapor.com>
- [3]. <https://www.geologos.or.cr>
- [4]. <http://naturalgas.org/business/industry/>
- [5]. <http://eaog.org/>
- [6]. <http://www.glossary.oilfield.slb.com>
- [7]. <http://www.expansion.com/empresas/energia/2016/05/11/5732d694e2704e254e8b4584.html>
- [8]. <http://www.investopedia.com/terms/n/natural-gas-liquids.asp>
- [9]. <http://www.ssecoconsulting.com/liquidos-del-gas-natural.html>
- [10]. <http://www.gnl.es/licuefaccion-gnl-linde.php>
- [11]. <http://www.ingenieriadepetroleo.com/proceso-licuacion-gas-natural/>
- [12]. <http://www.shell.com/energy-and-innovation/natural-gas/lng-for-transport.html>
- [13]. iae.org.a
- [14]. http://www.lngworldshipping.com/news/view,global-lng-fleet-hits-500-vessels_48030.htm
- [15]. <http://www.marineinsight.com/types-of-ships/top-3-biggest-ships-in-the-world/>
- [16]. <http://ingenieromarino.com/tipos-de-tanques-en-buques-gaseros-sistemas-de-contencion/>
- [17]. www.marineengineering.org.uk
- [18]. http://www.ihl.co.jp/offshore/spbmenu_e.htm

- [19]. <http://www.atmosferis.com/tipos-de-tanque-en-buques-gaseros-parte-2/>
- [20]. https://www.ihl.co.jp/var/ezwebin_site/storage/original/application/4d6491060877baa3a95100353dfbe1f5.pdf
- [21]. http://www.lngworldshipping.com/news/view,ihispb-tanks-make-a-comeback_39306.htm
- [22]. <http://www.marineinsight.com/tech/properties-of-membrane-tanks-for-transportation-of-lng-cargo-on-ships/>
- [23]. <http://www.qatargas.com/English/AboutUs/Shipping/Pages/default.aspx>
- [24]. <http://www.marineinsight.com/types-of-ships/top-3-biggest-ships-in-the-world/>
- [25]. <http://tecnologia-maritima.blogspot.com.es/2014/04/lng-galicia-spirit.html>
- [26]. http://www.britcham.org.sg/files/event_document/6/6LNG%20A5%20Blooklet-FINAL.compressed.pdf
- [27]. http://www.lngworldshipping.com/news/view,global-lng-fleet-hits-500-vessels_48030.htm
- [28]. https://www.corporate.man.eu/en/press-and-media/presscenter/The-World_s-First-MAN-B-and-W-ME-GI-in-Service-226048.html
- [29]. <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/fabricating-lng-carriers-september-2006/>
- [30]. <http://www.europetechnologies-lng.com/maintenance-repair-lng-tanks/>
- [31]. <http://www.gtt.fr/en/technologies-services/our-technologies/mark-iii>

Publicaciones y libros

- [1]. "Petroleum Formation and Occurrence from Tissot, B.P. and Welte, D.H. (1984)"
- [2]. Kudzawu-D'Pherdd, R., 2010. "The Genesis of Kerogen, a write up in Petroleum Geochemistry" - (EASC 616), Department of Earth Science, University of Ghana-Legon
- [3]. Papoular, R. (2001) "The use of kerogen data in understanding the properties and evolution of interstellar carbonaceous dust
- [4]. Kenrick, Paul & Crane, Peter R. (1997), The Origin and Early Diversification of Land Plants: a Cladistic Study, Washington, D.C.
- [5]. Liquefied gas handling principles on ships and in terminals (2000), McGuire and White, third edition, Sigtto
- [6]. Handbook of Liquefied Natural Gas. Gulf Professional Publishing
- [7]. 2016 World LNG Report - International Gas Union, pdf
- [8]. http://www.britcham.org.sg/files/event_document/6/6LNG%20A5%20B ooklet-FINAL.compressed.pdf
- [9]. Curso modelo 1.01: familiarización con los buques tanque, edición 2000, OMI
- [10]. Coffin Turbo Pump DEB 16 operating manual
- [11]. Machinery operating manual LNG/C Galicia Spirit
- [12]. Cargo operating Manual LNG/C Galicia Spirit

Imágenes

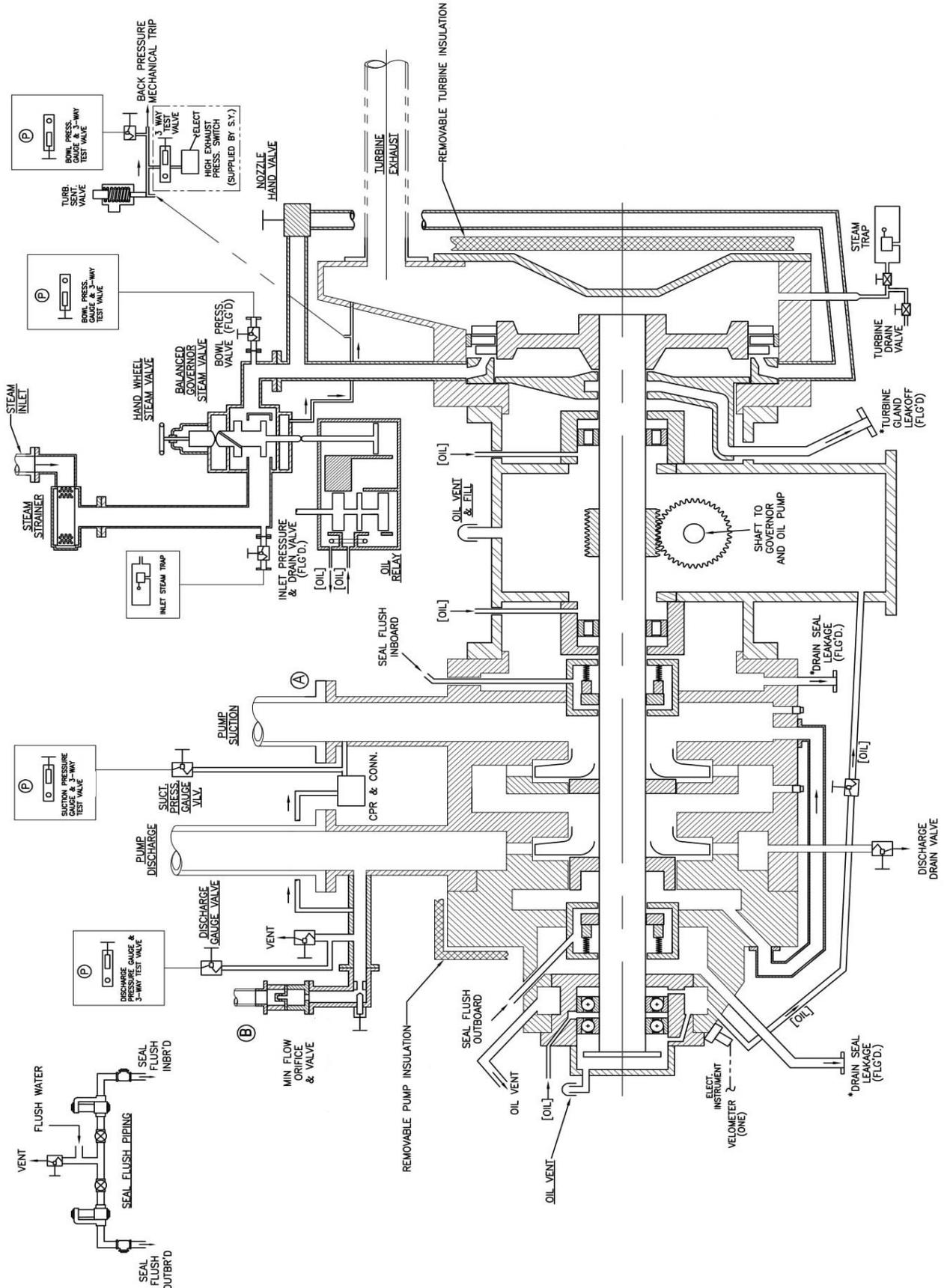
- [1]. <http://elpetroleodedanilo.blogspot.com.es/>
- [2]. <https://mind42.com/mindmap/0d01ca75-922f-43f4-88cf-11ab129c259a?rel=gallery>
- [3]. <http://www.moremhod.info/index.php/component/content/article/194?start=7>
- [4]. <http://www.tonyholt.co.uk/myships.php?ship=Methane%20Princess>
- [5]. <http://fenecom.blogspot.com.es/2009/10/nc-211-laieta.html>
- [6]. <http://www.lngworldnews.com/hoegh-sells-lng-tanker-norman-lady-for-recycling/>
- [7]. <http://tornistan.blogspot.com.es/2013/02/lpg-tankerlerindeki-tanklar-neden-hep.html>
- [8]. <http://tecnologia-maritima.blogspot.com.es/2012/08/lng-bayelsa-saliendo-de-ferrol.html>
- [9]. http://www.ihl.co.jp/offshore/spbmenu_e.htm
- [10]. <http://fullavantenews.com/2017/02/15/ingenieromarinero-sistemas-de-contencion-en-buques-gaseros/>
- [11]. <http://www.lngworldnews.com/scte-lng-picks-air-products-tech-for-its-export-project/>
- [12]. <http://www.gtt.fr/en/technologies-services/our-technologies>
- [13]. <http://oil-gas.hutchinsonworldwide.com/products>
- [14]. <http://www.gtt.fr/en/technologies-services/our-technologies/mark-iii>
- [15]. <https://teknoblog.ru/2017/06/06/78799>
- [16]. <http://www.gtt.fr/en/technologies-services/our-technologies>

VIII. Anexos

Anexos

Los anexos de esta sección, han sido extraídos del Machinery Operating Manual y el manual Coffin DEB 16

APLICACIONES MECÁNICAS Y DIAGNOSIS DE EQUIPOS AUXILIARES ACCIONADOS POR VAPOR A BORDO DE UN BUQUE METANERO: TURBO BOMBAS DE ALIMENTACIÓN



APLICACIONES MECÁNICAS Y DIAGNOSIS DE EQUIPOS AUXILIARES ACCIONADOS POR VAPOR A BORDO
 DE UN BUQUE METANERO: TURBO BOMBAS DE ALIMENTACIÓN

