

Simulación de la operación y mantenimiento de los sistemas auxiliares de un buque petrolero

Trabajo Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:

Roger Segura Casals

Dirigido por:

Clara Borén Altés

Doble Titulación de Grado en Tecnologías Marinas y Grado en
Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval

Barcelona, Noviembre del 2020

Departamento de Ciencias e Ingeniería Náuticas



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat de Nàutica de Barcelona

Página dejada en blanco intencionalmente

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a la tutora de este trabajo, Clara Borén Altés, su disposición y adaptabilidad para que yo pudiera realizar el trabajo de la forma más cómoda posible así como sus consejos y puntualizaciones que, sin duda, me han permitido mejorar el trabajo.

En segundo lugar, quiero agradecer a todos los profesores y personal de la Facultad de Náutica de Barcelona por su capacidad de transmisión del conocimiento así como su compromiso con la educación pública de calidad de este país.

Finalmente, mencionar a toda mi familia y, de forma muy especial, a los más cercanos: mi padre, mi madre y mi hermano que siempre me han estado a mi lado y me han dado el apoyo necesario en los momentos malos y han compartido conmigo la alegría y la satisfacción en los momentos buenos.

Resumen

En este trabajo, se presenta la descripción de los elementos que componen los sistemas auxiliares de generación de gas inerte, generación de vapor, descarga del crudo mediante turbo-bombas, sentinas y tratamiento y retención de aguas sucias presentes en los buques petroleros que navegan en la actualidad.

Asimismo, también se expone la normativa de la Organización Marítima Internacional (IMO) aplicable a cada uno de dichos sistemas junto con las causas, consecuencias y soluciones a las averías y problemas principales que, debido a su uso, sufren dichos elementos.

Finalmente, se presentan los procedimientos de arranque y operación de los sistemas descritos con la intención de mostrar al lector, de una forma teórica y práctica al mismo tiempo, su funcionamiento.

Para hacerlo, el autor se ha basado en el buque petrolero modelo del simulador de sala de máquinas *Engine Room Simulator ERS 5000* de la empresa *Transas*. El uso del simulador permite al autor explicar al lector las diferentes funciones de los elementos dentro los sistemas así como los procedimientos para su operación de la forma más clara y entendible posible.

El resultado del trabajo es una exposición teórica de todo lo que hace referencia a los sistemas tratados, junto con la explicación lo más práctica posible de su operación, teniendo en cuenta las limitaciones que supone el hecho de basarse en un buque simulado en vez de uno real.

Abstract

In this thesis, it is presented the description of the elements that compose all the systems intended to inert gas generation, steam generation, crude oil discharge through turbo-pumps, bilge handling and sewage treatment and retention present in the oil tankers that sail nowadays.

Likewise, it is also displayed the International Maritime Organisation (IMO) regulations regarding each and every one of these systems as well as the causes, consequences and solutions to the breakdowns and problems that, due to their usage, these elements suffer.

Finally, it is shown the starting and operation procedures of the described systems with the intention to show the reader, in a both theoretical and practical way, their functioning.

To do so, the author has used the oil tanker model from the engine room simulator *Engine Room Simulator ERS 5000* developed by the company *Transas* as a base for this thesis. This simulator usage, allows explaining the reader the different functions of each elements within the systems as well as the procedures for their operation in the most clear and understandable way possible.

The result of this thesis is a theoretical exposition of everything that refers to the covered systems along with the most practical explanation possible of their operation, taking into account the limitations that suppose the fact of basing on a simulated ship rather than a real one.

Taula de contenidos

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
TAULA DE CONTENIDOS.....	VI
LISTADO DE FIGURAS.....	XI
LISTADO DE TABLAS	XIV
<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>1</u>
<u>CAPÍTULO 1. SISTEMA DE GAS INERTE</u>	<u>3</u>
1.1 INTRODUCCIÓN	3
1.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	4
1.2.1 SISTEMA PRINCIPAL.....	4
1.2.2 TOP-UP GENERATOR O SISTEMA DE APOYO	6
1.2.3 DETECTOR DE OXÍGENO, SELLO DE CUBIERTA Y DISTRIBUCIÓN DEL GAS	7
1.2.4 ELEMENTOS DE SEGURIDAD	7
1.3 ANÁLISIS DE LA NORMATIVA APLICABLE AL SISTEMA	9
1.3.1 PÁRRAFO 5.5 DE LA REGULACIÓN 4 DEL CAPÍTULO II-2 DEL CONVENIO INTERNACIONAL PARA LA SEGURIDAD DE LA VIDA HUMANA EN EL MAR (SOLAS)	9
1.3.2 CAPÍTULO 15 DEL CÓDIGO INTERNACIONAL DE SISTEMAS DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS (FSS CODE) ...	9
1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE Y OPERACIÓN DEL SISTEMA	12
1.4.1 SISTEMA PRINCIPAL	12
1.4.2 SISTEMA AUXILIAR.....	15
1.4.3 VENTEO DE LOS TANQUES.....	17
1.5 DESCRIPCIÓN DE POSIBLES AVERÍAS O PROBLEMAS Y SU RESOLUCIÓN	18
1.5.1 VÁLVULA DE AISLAMIENTO DEL CIRCUITO	18
1.5.2 SCRUBBER.....	19
1.5.3 VENTILADORES.....	20
1.5.4 TOP-UP GENERATOR O SISTEMA DE APOYO	20

1.5.5 SELLO DE CUBIERTA	21
1.5.6 LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE GAS INERTE	22
1.5.7 AVERÍAS Y PROBLEMAS EN EL SISTEMA GENERAL	23
<u>CAPÍTULO 2. PLANTA DE VAPOR</u>	<u>24</u>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	24
2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	26
2.2.1 PLANTA DE VAPOR	26
2.2.2 SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE LA CALDERA AUXILIAR	31
2.3 ANÁLISIS DE LA NORMATIVA APLICABLE AL SISTEMA	35
2.3.1 REGULACIÓN 32 DEL CAPÍTULO II-1 DEL SOLAS.....	35
2.3.2 REGULACIÓN 33 DEL CAPÍTULO II-1 DEL SOLAS.....	35
2.3.3 REGULACIÓN 52 DEL CAPÍTULO II-1 DEL SOLAS.....	35
2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE Y OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	36
2.4.1 ARRANQUE Y OPERACIÓN DE LA CALDERA AUXILIAR	36
2.4.2 CAMBIO DE COMBUSTIBLE DE DIÉSEL A FUEL	39
2.4.3 OPERACIÓN DE LA CALDERA DE GASES DE ESCAPE	40
2.5 DESCRIPCIÓN DE POSIBLES AVERÍAS O PROBLEMAS Y SU RESOLUCIÓN	41
2.5.1 CALDERA AUXILIAR Y CALDERA DE GASES DE ESCAPE	41
2.5.2 BOMBAS DE ALIMENTACIÓN Y CIRCULACIÓN	44
2.5.3 CONDENSADOR Y TANQUE DE RECOGIDA DE CONDENSADOS	45
2.5.4 SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE LA CALDERA	47
<u>CAPÍTULO 3. TURBO-BOMBAS PARA LA CARGA.....</u>	<u>50</u>
3.1 INTRODUCCIÓN.....	50
3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	52
3.2.1 TURBINAS.....	52
3.2.2 REDUCTORA Y BOMBAS DE DESCARGA	54
3.2.3 SISTEMA DE LUBRICACIÓN	55
3.3 ANÁLISIS DE LA NORMATIVA APLICABLE AL SISTEMA	56
3.3.1 PÁRRAFO 5 DE LA REGULACIÓN 4 DEL CAPÍTULO II-2 DEL SOLAS	56

3.3.2 PÁRRAFO 2.4 DE LA REGULACIÓN 9 DEL CAPÍTULO II-2 DEL SOLAS	57
3.3.3 PÁRRAFO 9 DE LA REGULACIÓN 10 DEL CAPÍTULO II-2 DEL SOLAS	58
3.3.4 REGULACIÓN 22 DEL CAPÍTULO 4 DEL ANEXO I DEL CONVENIO INTERNACIONAL PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN POR LOS BUQUES (MARPOL).....	58
3.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE Y OPERACIÓN DEL SISTEMA	59
3.4.1 ACCIONES PREVIAS A LA DESCARGA DEL CRUDO	59
3.4.2 ARRANQUE Y OPERACIÓN DE LAS TURBO-BOMBAS	59
3.4.3 PARADA DE LAS TURBO-BOMBAS	61
3.4.4 FINAL DE LA DESCARGA DEL CRUDO Y ACCIONES POSTERIORES	61
3.5 DESCRIPCIÓN DE POSIBLES AVERÍAS O PROBLEMAS Y SU RESOLUCIÓN	62
3.5.1 TURBINAS	62
3.5.2 SISTEMA DE LUBRICACIÓN	64
<u>CAPÍTULO 4. SISTEMA DE SENTINAS</u>	<u>66</u>
4.1 INTRODUCCIÓN	66
4.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	67
4.2.2 POCETES DE SENTINAS	68
4.2.3 BOMBA ALTERNATIVA DE AGUA DE SENTINAS	69
4.2.4 TANQUE DE SENTINAS.....	69
4.2.5 SEPARADOR DE SENTINAS	70
4.2.6 TANQUE DE ACEITE DE SENTINAS (LODOS).....	71
4.2.7 BOMBA DE TRANSFERENCIA	71
4.2.8 BOMBA DE SENTINAS DE EMERGENCIA	71
4.3 ANÁLISIS DE LA NORMATIVA APLICABLE AL SISTEMA	72
4.3.1 REGULACIÓN 35-1 DEL CAPÍTULO II-1 DEL SOLAS	72
4.3.2 REGULACIÓN 48 DEL CAPÍTULO II-1 DEL SOLAS.....	72
4.3.3 REGULACIÓN 12 DEL CAPÍTULO 3 DEL ANEXO I DEL MARPOL.....	73
4.3.4 PÁRRAFOS 2 Y 7 DE LA REGULACIÓN 14 DEL CAPÍTULO 3 DEL ANEXO I DEL MARPOL.....	73
4.3.5 REGULACIÓN 15 DEL CAPÍTULO 3 DEL ANEXO I DEL MARPOL.....	74
4.3.6 REGULACIÓN 4 DEL CAPÍTULO I DEL ANEXO I DEL MARPOL.....	74
4.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE Y OPERACIÓN DEL SISTEMA	75

4.4.1 VACIADO DE LOS POCETES.....	75
4.4.2 SEPARADOR DE SENTINAS	77
4.4.3 DESCARGA A TIERRA	78
4.5 DESCRIPCIÓN DE POSIBLES AVERÍAS O PROBLEMAS Y SU RESOLUCIÓN	79
4.5.1 POCETES	79
4.5.2 BOMBAS	79
4.5.3 SEPARADOR.....	80
<u>CAPÍTULO 5. SISTEMA DE TRATAMIENTO Y RETENCIÓN DE AGUAS SUCIAS.....</u>	<u>81</u>
5.1 INTRODUCCIÓN.....	81
5.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	82
5.2.1 RAMALES Y COLECTORES.....	83
5.2.2 PLANTA DE TRATAMIENTO	83
5.2.3 TANQUE DE RETENCIÓN Y BOMBA DE TRANSFERENCIA	85
5.3 ANÁLISIS DE LA NORMATIVA APLICABLE AL SISTEMA	86
5.3.1 PÁRRAFO 3 DE LA REGULACIÓN 1 DEL ANEXO IV DEL MARPOL	86
5.3.2 PÁRRAFO 1 DE LA REGULACIÓN 9 DEL ANEXO IV DEL MARPOL	86
5.3.3 PARTE A Y C DE LA REGULACIÓN 11 DEL ANEXO IV DEL MARPOL.....	86
5.3.4 REGULACIÓN 3 DEL ANEXO IV DEL MARPOL.....	87
5.3.5 PÁRRAFO 10 A) DEL ANEXO I DE LA CONVENCIÓN SOBRE LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL MAR POR VERTIMIENTOS DE DESECHOS Y OTROS MATERIALES (LONDON CONVENTION).....	87
5.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE Y OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	88
5.4.1 MANIPULACIÓN DEL CONTENIDO DEL TANQUE DE RETENCIÓN	88
5.4.2 PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SUCIAS.....	89
5.5 DESCRIPCIÓN DE POSIBLES AVERÍAS O PROBLEMAS Y SU RESOLUCIÓN	90
5.5.1 RAMALES Y COLECTORES.....	90
5.5.2 AIRE COMPRIMIDO	90
5.5.3 TANQUE DE AIREACIÓN Y CLARIFICACIÓN	91
5.5.4 TANQUE DE CLORACIÓN	92
5.5.5 TANQUE DE RETENCIÓN.....	93
5.5.6 BOMBAS DE DESCARGA Y DE TRANSFERENCIA.....	94

CONCLUSIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	96
ANEXOS	101
ANEXO I: ENLACES DE LOS VÍDEOS EXPLICATIVOS	101

Listado de Figuras

Figura 1: Representación de la inflamabilidad de los hidrocarburos gaseosos en función de la concentración de O ₂ . Fuente [2]	3
Figura 2: Esquema del sistema de gas inerte del buque. Fuente [13]	4
Figura 3: Scrubber Wärtsila Moss para gases de combustión. Fuente [66].	5
Figura 4: Esquema de un conjunto de generador de gas inerte, sello de cubierta y rompedor de presión/vacío. Fuente [38].	6
Figura 5: Esquema de funcionamiento de un sello de cubierta húmedo. Fuente [10].	7
Figura 6: Esquema de funcionamiento de un rompedor de presión/vacío. Fuente [50].	8
Figura 7: Procedimiento de arranque del sistema principal de gas inerte. Fuente [13]	13
Figura 8: Procedimiento de parada del sistema principal de gas inerte. Fuente [13]	14
Figura 9: Procedimiento de arracada del sistema auxiliar de gas inerte. Fuente [13]	15
Figura 10: Procedimiento de parada del sistema auxiliar de gas inerte. Fuente [13]	16
Figura 11: Procedimiento de venteo de los tanques de carga. Fuente [13]	17
Figura 12: Gráfico de temperatura vs. entropía del agua con líneas isobaras. Fuente [39].	25
Figura 13: Esquema de la planta de vapor del buque. Fuente [13].	26
Figura 14: Esquema de planta de vapor con una caldera con quemador y una caldera de gases de escape. Fuente [15].	28
Figura 15: Principio de funcionamiento de la circulación natural en calderas acuotubulares. Fuente [54].	28
Figura 16: Calentador de vapor en un tanque de fuel-oil. Fuente propia.	29
Figura 17: Ilustración de un condensador de carcasa y tubos con su funcionamiento. Fuente [21].	30
Figura 18: Tanque de recogida de condensado. Fuente propia.	30
Figura 19: Esquema del sistema de combustible de la caldera auxiliar. Fuente [13]	31
Figura 20: Ilustración de un filtro de fuel-oil y su funcionamiento. Fuente [16].	32
Figura 21: Ilustración de dos bombas de combustible de tornillo <i>Azcue Bloc</i> . Fuente [5].	32
Figura 22: Ilustración de un precalentador de fuel-oil. Fuente [18].	33
Figura 23: Dos quemadores con encendido por chispa. Fuente propia.	34
Figura 24: Motor eléctrico y ventilador de una caldera. Fuente propia.	34
Figura 25: Procedimiento previo al arranque de la caldera auxiliar. Fuente [13]	36
Figura 26: Procedimiento de arranque del sistema de combustible de la caldera auxiliar. Fuente [13]	37

Figura 27: Procedimiento de arranque de la caldera auxiliar. Fuente [13]	38
Figura 28: Procedimiento de cambio de diésel-oil a fuel-oil en el sistema de combustible de la caldera auxiliar. Fuente [13]	39
Figura 29: Procedimiento de puesta en operación de la caldera de gases de escape. Fuente [13]	40
Figura 30: Proceso de transformación de la energía del vapor en una turbina. Fuente [60].	50
Figura 31: Ilustración de un conjunto de turbina y bomba de descarga de crudo en un petrolero. Fuente [49].....	51
Figura 32: Esquema del sistema de las turbo-bombas para la descarga del crudo del buque. Fuente [13].....	52
Figura 33: Paletas de una turbina de vapor erosionadas a causa del impacto de gotas de agua líquida. Fuente [4].....	53
Figura 34: Ilustración de un sello de laberinto. Fuente [41].....	53
Figura 35: Reductora de una turbo-bomba. Fuente [6].....	54
Figura 36: Modelo de una bomba centrífuga con doble aspiración y doble voluta. Fuente [7]. .	54
Figura 37: Procedimiento de arranque de las turbo-bombas para la descarga de crudo. Fuente [13]	60
Figura 38: Procedimiento de parada de las turbo-bombas de descarga de crudo. Fuente [13]..	61
Figura 39: Fotografía aérea del vertido de hidrocarburos provocado por el buque <i>MV Wakashio</i> cerca de la costa de Mauricio. Fuente [44].....	66
Figura 40: Camión de recogida de residuos oleosos procedentes de buques de una instalación portuaria. Fuente [14].....	66
Figura 41: Esquema del sistema de sentinas del buque. Fuente [13]	67
Figura 42: Ilustración del interior de una caja de fangos con filtro desmontable para su limpieza. Fuente [22].....	68
Figura 43: Bomba alternativa de sentinas con los actuadores de sus válvulas de aspiración (derecha) y descarga (izquierda). Fuente propia.....	69
Figura 44: Separador de sentinas abierto dónde se ve las placas de separación de material oleofílico. Fuente propia.....	70
Figura 45: Ilustración del principio de funcionamiento de un oleómetro óptico. Fuente [47]....	70
Figura 46: Bomba centrífuga de sentinas de emergencia. Fuente propia.....	71
Figura 47: Ilustración de una válvula de conexión entre el sistema de sentinas y el de lastre. Fuente [58].....	71
Figura 48: Procedimiento de vaciado de los pocetes de sentinas en situación normal. Fuente [13]	75

Figura 49: Procedimiento de vaciado de los pocetes de sentinas en situación de emergencia. Fuente [13]	76
Figura 50: Procedimiento de Operación del Separador de Sentinas. Fuente [13]	77
Figura 51: Procedimiento de descarga a tierra del contenido de dentro de los tanques de sentinas. Fuente [13].....	78
Figura 52: Rastro del efluente proveniente de la limpieza de la cubierta de un buque de transporte de ganado. Fuente [56].	81
Figura 53: Esquema del sistema de tratamiento y retención de aguas sucias del buque. Fuente [13]	82
Figura 54: Ilustración de una planta de tratamiento de aguas sucias. Fuente [17].....	83
Figura 55: Representación de los componentes resultantes de la descomposición anaeróbica y aeróbica de la materia orgánica presente en las aguas sucias. Fuente [1].	84
Figura 56: Procedimiento de manipulación del contenido del tanque de retención. Fuente [13]	88
Figura 57: Procedimiento de arranque y operación de la planta de tratamiento de aguas sucias. Fuente [13]	89

Listado de Tablas

Tabla 1: Características del buque petrolero modelo. Fuente [13]	1
Tabla 2: Concentración en volumen de los componentes del gas inerte. Fuente [50].	3
Tabla 3: Clasificación de la integridad contra el fuego de las cubiertas de la sala de bombas en función del espacio adyacente. Fuente [34]	57
Tabla 4: Clasificación de la integridad contra el fuego de los mamparos de la sala de bombas en función del espacio adyacente. Fuente [34]	57

Introducción

Actualmente, en el mundo del transporte marítimo existe una gran variedad de tipos de buques, algunos de los cuales han ido surgiendo recientemente para cubrir las necesidades de transporte de los nuevos tipos de mercancías. Parte de esta nueva carga, supone un reto para todo el mundo marítimo, desde los legisladores hasta los armadores, pasando por los arquitectos navales o la tripulación de dichos buques, a causa de las condiciones de la mercancía durante su transporte o de su peligrosidad para la vida humana o el medio ambiente si no se gestiona de forma segura.

Para superar este reto, hay un consenso general en la marina mercante mundial desde hace tiempo de que este tipo de buques deben tener una regulación especial en todos sus aspectos, ya sea en su diseño, en la propia operación del buque o en la formación de la tripulación a bordo.

Este trabajo tiene la intención de describir y analizar el diseño, la operación y las soluciones para las posibles averías de diferentes sistemas auxiliares presentes en un tipo de buque que entra en la definición de carga peligrosa: los petroleros de crudo.

Actualmente, para poder ejercer como tripulante en este tipo de barcos, se requiere de una formación teórica específica en petroleros impartida en cursos o en los grados que son necesarios para la obtención de los títulos profesionales de la marina mercante. Esto permite asegurar a las navieras que sus tripulantes tienen el conocimiento necesario para poder operar el buque y gestionar su carga de forma segura.

El objetivo principal de este trabajo es que el lector se familiarice con los diferentes elementos presentes en los sistemas auxiliares de los buques petroleros. Así mismo, también tiene la meta de mostrarle la operación y la solución a los problemas y averías que se producen en dichos elementos. Con la intención de exponer al lector los procedimientos de operación de la maquinaria de la forma más cercana posible a lo que sería en un buque real, se ha utilizado como barco modelo el buque petrolero de crudo presente en el simulador de sala de máquinas de la Facultat de Nàutica de Barcelona cuyo nombre es *Engine Room Simulator ERS 5000* de la empresa *Transas*. Las características de la nave son las siguientes:

Eslora total (m)	242,8	Peso Muerto (t)	67.980
Manga (m)	32,2	Capacidad de Carga (m³)	70.140
Puntal (m)	18,0	Modelo del Motor Principal	MAN B&W 6S60MC
Calado de trazado (m)	12,5	Potencia del Motor Principal (kW)	12.240

Tabla 1: Características del buque petrolero modelo. Fuente [13]

La estructura del trabajo se basa en diferentes capítulos, cada uno reservado para la explicación de cada sistema descrito. Cada capítulo es iniciado con una breve introducción del sistema, explicando su necesidad a bordo y sus funciones, seguida de una descripción de todos los elementos presentes en el sistema. A continuación, se expone una recopilación de la normativa de la IMO aplicable al sistema en cuestión. Posteriormente, se describen los procedimientos para el arranque y operación de los sistemas, de forma escrita y de forma audiovisual mediante un vídeo del simulador. Finalmente, se enumeran las averías y los problemas principales que se producen en cada sistema así como su causa y su solución.

Las páginas finales están reservadas a las conclusiones extraídas una vez realizado el trabajo así como la bibliografía y un anexo donde se incluyen los links a los vídeos explicativos antes enunciados.

Capítulo 1. Sistema de gas inerte

1.1 Introducción

El sistema de gas inerte de un buque petrolero es un sistema de seguridad cuya función principal es la de evitar que produzca una mezcla explosiva de gases en los tanques de carga en todo momento. Este sistema es necesario ya que hay momentos durante la manipulación del crudo que la atmosfera de dentro de los tanques, si no existiera este sistema, tendría una concentración de O₂ e hidrocarburos gaseosos que, en caso de que hubiera una fuente de ignición (chispa, llama,...), podría producir una explosión o incendio dentro del tanque, tal y como se muestra en la Figura 1.

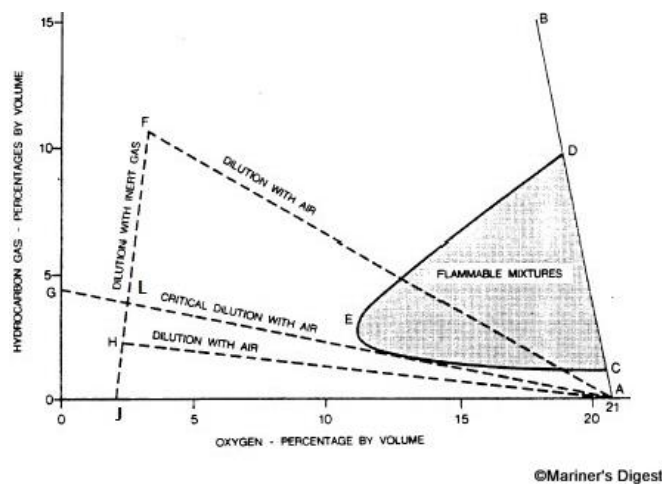


Figura 1: Representación de la inflamabilidad de los hidrocarburos gaseosos en función de la concentración de O₂. Fuente [2]

Para evitar que pudiera suceder esto, se sustituye casi la totalidad del aire atmosférico rico en O₂ (21% aprox.) con otro gas con una concentración de oxígeno inferior (no superior al 5%). Esta concentración máxima del 5% asegura que no se produzca ninguna combustión en caso de se generara una fuente de ignición ya que el porcentaje mínimo de oxígeno para que esto suceda es de un 11% como máximo, dando un margen de seguridad suficiente.

Dicho gas inerte tiene una concentración en volumen aproximada a estos valores:

Componentes:	<u>N₂</u>	<u>CO₂</u>	<u>O₂</u>	<u>H₂O</u>	<u>SO₂</u>
Concentración (% en volumen)	78,6%	12%-13%	5%	4%	0,4%-0,7%

Tabla 2: Concentración en volumen de los componentes del gas inerte. Fuente [50].

Para conseguir este gas hay dos formas: usar los gases residuales procedentes de la combustión en las calderas del buque y/o el uso de los gases resultantes de la combustión de diésel en generadores autónomos de gas inerte. Ambos deben ser tratados y analizados antes de ser introducidos en los tanques de la misma forma en una planta de gas inerte.

1.2 Descripción del sistema

El sistema de gas inerte presente en el petrolero simulado está compuesto por dos partes principales: el sistema principal (Inert Gas System o IGS) y el de apoyo o también llamado Top-Up Generator (TUG). El sistema principal es el usado de forma normal en el buque y es alimentado por los gases salientes de la combustión dentro de las calderas del buque. En el caso de que estas no estuvieran funcionando, se usa el sistema de apoyo el cual genera el gas inerte a partir de la combustión de diésel-oil.

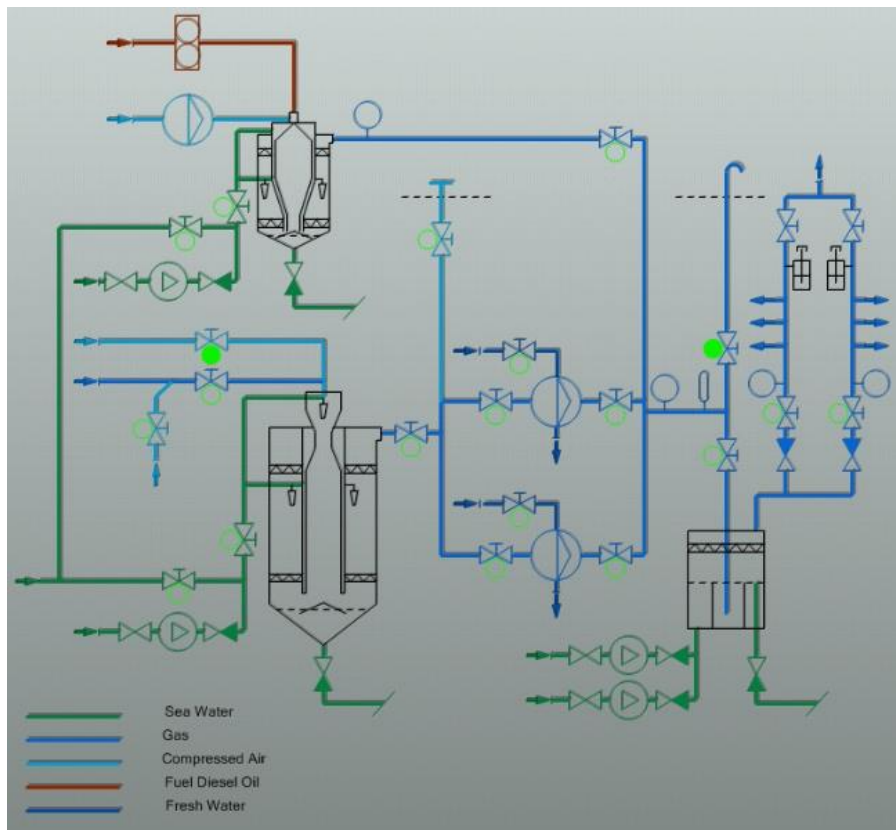


Figura 2: Esquema del sistema de gas inerte del buque. Fuente [13]

1.2.1 Sistema principal

El sistema principal de gas inerte tiene una capacidad aproximada de 10500 m³/h y sus componentes principales son un scrubber, dos ventiladores y un sello de cubierta.

El sistema incluye un sistema de limpieza por aire comprimido de la válvula de aislamiento del circuito para eliminar el hollín que se pudiese haber acumulado durante la operación así como un sistema de sellado también por aire comprimido que evita que los gases resultantes de la combustión de la caldera se introduzcan en el circuito cuando el sistema no esté en funcionamiento.

1.2.1.1 Scrubber

El scrubber o torre de lavado vertical tiene la doble misión de bajar la temperatura del gas inerte hasta, como mínimo, 5 grados por encima de la temperatura del agua del mar. También debe limpiar el gas de hollín que haya arrastrado desde la caldera y del exceso de azufre (de 3000 ppm (partes por millón) de azufre a 100 ppm).

Para hacerlo, rocía con agua salada impulsada por una bomba el gas saliente la cual atrapa las partículas sólidas y disuelve los componentes sulfurosos presentes en el gas, además de enfriarlo. Una vez el agua sale del scrubber, es evacuada al mar. En el caso de que se produjese un fallo en la alimentación de agua salada, el sistema puede ser alimentado mediante el sistema de contraincendios.

A la salida del scrubber hay situados unos filtros que secan el gas de las posibles gotas que pudiera haber arrastrado durante el lavado.



Figura 3: Scrubber Wärtsilä Moss para gases de combustión. Fuente [66].

1.2.1.2 Ventiladores

Una vez el gas enfriado y limpio, es enviado a dos ventiladores, los cuales generan el suficiente impulso para que el gas pase por los siguientes elementos del circuito y llegue a los tanques.

Cada ventilador tiene la capacidad para soportar todo el caudal de gas en condiciones de operación normal del sistema, haciendo que el otro ventilador se mantenga en *stand-by* y solo sea necesario su uso en caso de que el primero fallase.

Cada ventilador también incorpora un sistema de limpieza que rocía agua dulce a los álabes. Este sistema se activa automáticamente cuando se da la orden de parada de los ventiladores los cuales son limpiados gracias a que siguen girando debido a su inercia.

Cuando el gas sale de los ventiladores pasa a través de una válvula de control de caudal que regula la cantidad de gas que pasa en función de lo deseado.

1.2.2 Top-Up Generator o sistema de apoyo

El Top-Up Generator (TUG) o sistema de apoyo tiene una capacidad de 500 m³/h y su función principal es la de generar el gas inerte cuando las calderas no están en funcionamiento a plena carga como, por ejemplo, en navegación cuando se necesita mantener una presión positiva en el tanque para que no entre aire. Sus componentes son un quemador de diésel-oil, un ventilador y un scrubber de dimensiones inferiores al scrubber del sistema principal.

El funcionamiento del TUG se basa en quemar diésel-oil que es bombeado mediante una bomba en una cámara de combustión. El aire necesario para la combustión es proporcionado por un ventilador que, además, genera suficiente impulsión para que el gas pase por los siguientes elementos del sistema y llegue a los tanques. Mediante la regulación de caudal de la bomba o del ventilador se consigue que la combustión produzca un gas con una concentración de oxígeno inferior a 5%.

Una vez el gas sale de la cámara de combustión éste se manda a un scrubber que lo refrigera y lo limpia aunque dicha limpieza es mínima ya que se supone que el combustible no tiene azufre en su composición y el hollín generado en su combustión es mínimo.

Al igual que en el sistema principal, el gas saliente del scrubber pasa a través de una válvula de control de caudal que permite controlar la cantidad de gas que entra en los tanques según lo deseado.

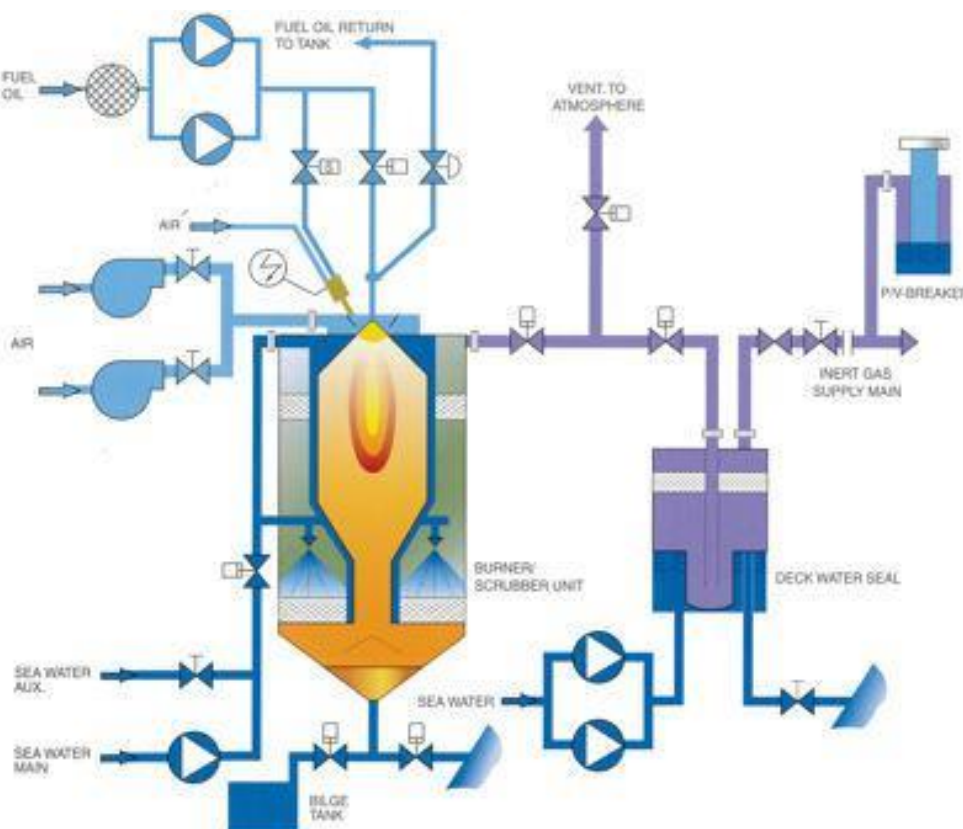


Figura 4: Esquema de un conjunto de generador de gas inerte, sello de cubierta y rompedor de presión/vacío. Fuente [38].

1.2.3 Detector de oxígeno, sello de cubierta y distribución del gas

Una vez el gas sale de los ventiladores o del TUG pasa por un detector de oxígeno que mide la concentración de este gas no supere un 5%.

Una vez pasa por dicho detector, si tiene una concentración correcta, pasa a través de la válvula de control de gas inerte que controla la presión del sistema. Esto lo hace mediante la apertura parcial de la válvula de venteo (la cual está conectada a una tubería de venteo) en el caso de que la presión en el sistema supere el valor preestablecido.

Seguidamente, el gas pasa a través del sello de cubierta húmedo que evita un eventual contraflujo de los gases del crudo de dentro de los tanques al sistema. Para mantener el nivel del sello, se dispone de dos bombas de agua salada de las cuales una funciona normalmente y la otra está en stand-by. Cuando la presión de agua de la primera cae de 2 bar, la segunda arranca. El agua del sello es evacuada al mar.

Finalmente, cuando el gas pasa por el sello es mandado a los tanques a través de las líneas situadas en ambos costados del buque: la principal que corresponde a la del costado de babor y la secundaria que corresponde a la del costado de estribor.

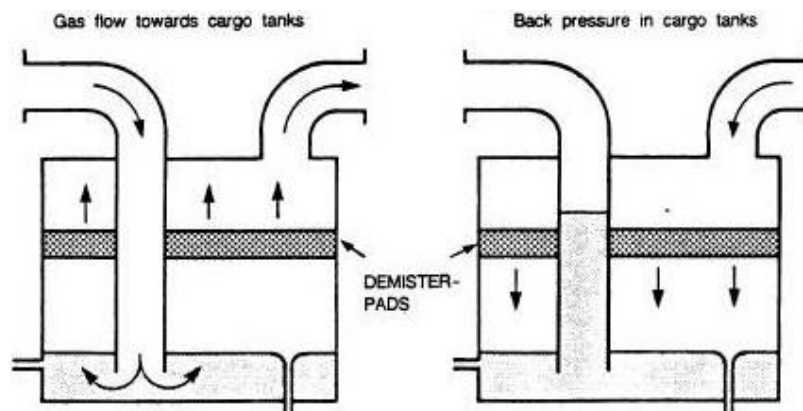


Figura 5: Esquema de funcionamiento de un sello de cubierta húmedo. Fuente [10].

1.2.4 Elementos de Seguridad

Además de los elementos de seguridad antes mencionados (sello de cubierta y válvula de aislamiento del circuito), el sistema está equipado con más elementos de seguridad mencionados en el manual del simulador ya que su función es pasiva y no son “controlables”.

1.2.4.1 Válvula antiretorno

Justo después del sello de cubierta se incluye una válvula antiretorno en cada línea cuya función es la misma que la del sello, proporcionando una doble protección frente a un contraflujo de gases del crudo provenientes del tanque o del mismo crudo en caso de que hubiera un rebose en el tanque de carga.

1.2.4.2 Válvula de aislamiento en cubierta

Para conseguir un aislamiento completo entre la cubierta (zona peligrosa) y la cámara de máquinas (zona segura) se incluye una válvula en cada una de las líneas.

1.2.4.3 Rompedor de presión/vacío

El rompedor de presión/vacío es un dispositivo situado en ambas líneas del petrolero cuya función es la de nivelar los cambios de presión que se pueden producir dentro de las tuberías.

La estructura del rompedor consta de dos cilindros concéntricos, el primero tapado por la parte inferior y el segundo por la parte superior, conectados por la parte inferior. La línea de gas inerte está conectada con el espacio que hay dentro del cilindro. Dichos cilindros se rellenan de agua, la cual tiene el mismo nivel en ambos cilindros ya que la presión ejercida por gas encima es igual.

El funcionamiento en caso de sobrepresión en la línea se basa en dejar salir el gas inerte a la atmosfera cuando la presión de la línea hace que el nivel de agua del cilindro exterior se sitúa por debajo del final del cilindro interior, haciendo que el exceso de presión en la línea sea evacuado.

Para el caso de vacío, la baja presión en la línea hace bajar el nivel del cilindro exterior hasta el punto de que éste es inferior del final del cilindro interior, permitiendo que el aire penetre en la línea y, por ende, que aumente su presión.

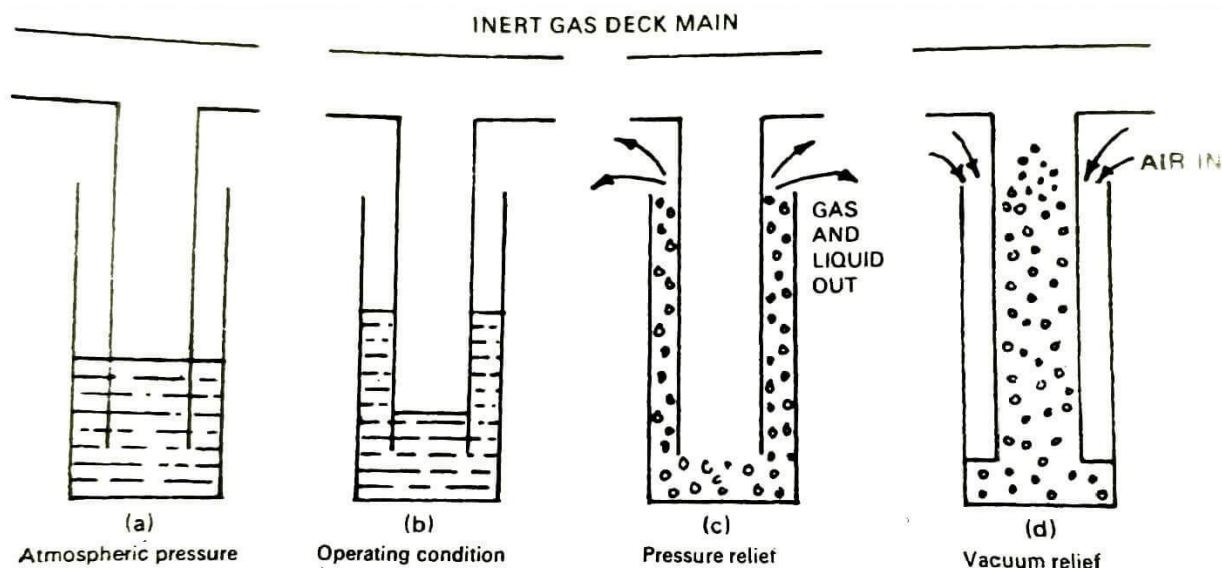


Figura 6: Esquema de funcionamiento de un rompedor de presión/vacío. Fuente [50].

1.3 Análisis de la normativa aplicable al sistema

En lo que se refiere a la normativa que regula las características y operación de un sistema de gas inerte en buques petroleros de crudo existen diferentes normas en varios códigos de la Organización Marítima Internacional (IMO).

1.3.1 Párrafo 5.5 de la regulación 4 del capítulo II-2 del Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS)

Este párrafo explicita que todo buque tanque de más de 20.000 toneladas de peso muerto construido entre el 1 de julio del 2002 y el 1 de enero de 2016 así como todo buque tanque de más de 8.000 toneladas de peso muerto construido después del 1 de enero de 2016 debe llevar instalado un sistema fijo de gas inerte instalado a bordo que cumpla con las especificaciones del Código Internacional de Sistemas de Seguridad contra el Fuego (FSS). También indica que cualquier buque tanque construido con un sistema de lavado de tanques por crudo fijo debe llevar un sistema fijo de gas inerte instalado en el barco que cumpla con las especificaciones del Código Internacional de Sistemas de Seguridad contra el Fuego (FSS).

Posteriormente, dicha normativa indica que el buque tanque debe tener conexiones adecuadas para introducir gas inerte en los espacios del doble casco y que, en caso de que dichas conexiones sean permanentes se debe asegurar que hidrocarburos gaseosos no puedan entrar a dichos espacios del doble casco a través del sistema de gas inerte. Seguidamente se expone que se debe poder conectar aquellos espacios del doble casco que no tienen una conexión permanente con el sistema de gas inerte con la tubería principal de distribución de gas inerte mediante los medio oportunos.

Finalmente, la norma dice que el sistema fijo de gas inerte debe ser capaz de inertizar, purgar y ventilar los tanques vacíos y mantener un nivel adecuado de oxígeno en la atmósfera de los tanques de carga así como que el buque tanque debe tener un sistema de volumen libre (ullage) cerrado.

1.3.2 Capítulo 15 del Código Internacional de Sistemas de Seguridad Contra Incendios (FSS Code)

Este capítulo del código FSS enumera y explica los requisitos mínimos así como los componentes obligatorios que debe de tener un sistema de gas inerte. Cabe destacar que en este capítulo, más concretamente en el párrafo 2.4, explicita los requerimientos de un generador de nitrógeno para su uso como gas inerte. Dicho párrafo no será aplicable en este estudio ya que el generador de gas inerte a estudiar no es de nitrógeno.

En primer lugar, el apartado (2.2.1) del párrafo *requisitos generales para todos los tipos sistemas* (2.2) dice que el sistema debe ser capaz de inertizar los tanques de carga con una concentración inferior al 8% con una presión positiva en el tanque. También indica que el sistema debe poder proporcionar un caudal de gas inerte de un 125% del caudal máximo de descarga de las bombas de descarga de la carga. Dicho gas inerte no puede tener más de un 5% de oxígeno en su composición en ninguna situación de carga del sistema.

Seguidamente, en el apartado de *medidas de seguridad* (2.2.2), especifica que el sistema no debe ser capaz de conseguir una presión del gas inerte superior a la presión de prueba del tanque. También indica que el sistema se debe parar automáticamente cuando se supere alguno de los límites establecidos junto con qué tiene que ventear a la atmósfera automáticamente el gas inerte cuando su concentración de O₂ sea superior al 5%. Además, el apartado dicta que la planta debe ser capaz de estar operativa y estable antes del proceso de descarga del crudo así como, en el caso de que los ventiladores del sistema se usen para el venteo de los tanques, las tomas de aire de éstos sean tapadas. Finalmente, el apartado especifica que, en caso de pérdida de energía eléctrica, en las partes donde hay una doble válvula de bloqueo y una purga, las válvulas de bloqueo se deben cerrar automáticamente y la de purga abrirse de la misma forma.

En el apartado de los *componentes del sistema* (2.2.3) se indica las características de dos componentes del sistema: los elementos anti-retorno y las líneas de gas inerte.

Del primer tipo de componente especifica que se debe incluir dos sistemas anti-retorno para evitar que ni crudo ni vapores inflamables del mismo puedan entrar en el sistema o zonas seguras. El primer elemento anti-retornos debe ser un sello de agua de cualquier tipo que deberá tener garantizado su suministro de agua a través de dos bombas así como que se debe asegurar que el agua no se congele o que una alta temperatura no comprometa la integridad del sello. En caso de no poner un sello de agua, dos válvulas de cierre automático en serie con una de venteo son aceptadas también. El segundo elemento debe ser una válvula de no retorno y debe estar situada entre en primer elemento (sello de agua o el sistema equivalente) y la primera conexión del colector principal de gas inerte con un ramal a uno de los tanques. En referencia a las líneas de gas inerte, el apartado estipula que el colector principal se debe dividir, como mínimo, en dos ramales después de los elementos anti-retorno antes mencionados.

Seguidamente, especifica que los ramales a los tanques deben tener válvulas de aislamiento con medidas de bloqueo junto con un sistema de control que identifique sin ambigüedades la posición de la válvula al panel de control. También especifica que los tanques que no vayan ser inertizados puedan ser separados del colector principal de gas inerte mediante el desmontaje de un tramo de tubería o válvula, tapando el agujero resultante o mediante dos bridas ciegas de gafas en serie con un sistema de detección de fugas entre ambas bridas. Además, es necesario incluir una conexión al sistema para un subministro de gas inerte del exterior después de los elementos anti-retorno y aislada del colector principal mediante una válvula.

En los apartados de *indicadores y alarmas* (2.2.4) y *alarmas visuales y auditivas* (2.2.5) dicta que el sistema de control debe incluir un monitoreo constante de la presión del gas inerte así de su contenido de O₂ en el sala de control de carga, el puente de mando y la sala de control de máquinas. También especifica que se tienen que incluir alarmas en la sala de control de carga y los espacios de máquinas para los casos de que la concentración de O₂ sea superior al 5%, haya un fallo de alimentación a los elementos de monitorización antes mencionados o en el sistema de control automático, la presión del gas inerte sea inferior a 100 mm de columna de agua o sea superior al límite establecido.

Finalmente, el primer apartado del (2.3.1) del párrafo de *requisitos para los sistemas que usan gases de escape y/o generadores de gas inerte* (2.3) describe los componentes que estos tipos de sistemas específicos deben tener. En primer lugar dice que los generadores de gas inerte deben tener dos bombas de combustible para que le llegue la cantidad requerida en todo momento.

A continuación, el apartado dicta que las válvulas de regulación del gas inerte deben estar situadas en el colector principal y a proa del mamparo situado más a proa de la zona segura por donde el gas inerte pasa, con un control automático de cierre en caso de que se sobrepasen los límites establecidos en el sistema y con la capacidad de regular el caudal de gas inerte en el caso de que no haya otro modo de poder regularlo.

Seguidamente, se especifica que el o los scrubbers deben ser capaces de enfriar y limpiar el caudal máximo de gas inerte del sistema (125% del caudal de descarga de crudo) y cuya agua de limpieza tiene que ser subministrada de forma continua sin afectar a otro servicio esencial del buque. Para conseguirlo, el apartado dice que se debe incluir una alternativa al método principal de suministro de agua al scrubber.

Posteriormente, el apartado indica que debe incluirse dos ventiladores para el suministro de gas inerte cuya capacidad sumada debe ser del 125% del caudal de descarga de crudo teniendo en cuenta que su capacidad debe estar igualada y en ningún caso uno de los dos ventiladores tendrá menos de un tercio de la capacidad total requerida.

Finalmente se expone que se debe incluir una o más válvulas de aislamiento entre la salida de los gases de escape de la caldera y la entrada al scrubber. Dichas válvulas deben estar provistas de indicadores para saber su posición exacta y de sistemas para mantenerlas herméticas y limpias de hollín. Además, el sistema de soplado del hollín no podrá ser activado cuando dichas válvulas de aislamiento estén abiertas. Para la prevención de fugas, la norma especifica que se debe poner un sello de agua u otro sistema efectivo entre la válvula de aislamiento de los gases de escape y el scrubber o estar incorporado en la misma entrada del scrubber.

El apartado de *indicadores y alarmas* dicta que, aparte de la concentración de O₂ y la presión del gas inerte, se deben monitorizar la temperatura del gas inerte en la descarga de los ventiladores además de que, a parte de las alarmas especificadas anteriormente, se deben incluir las alarmas de alimentación insuficiente de combustible o un fallo de alimentación eléctrica al generador de gas inerte, baja presión y/o caudal o alto nivel de agua en el scrubber, alta temperatura del gas inerte, fallo de los ventiladores y bajo nivel de agua en el sello de agua.

1.4 Descripción del procedimiento de arranque y operación del sistema

Para el procedimiento de arrancada y operación es necesario primero establecer que sistema se quiere usar: el principal, el auxiliar o, por el contrario, lo que se quiere ventilar los tanques.

Seguidamente, se exponen los procedimientos de arrancada y operación de los diferentes sistemas. En el anexo I se pueden encontrar tres vídeos explicativos de los procedimientos descritos en este apartado.

1.4.1 Sistema Principal

1.4.1.1 Arranque y Operación

Para el arranque y operación del sistema principal de gas inerte se debe seguir los siguientes pasos:

1. Alimentar el sello de cubierta de agua salada mediante una de sus bombas específicas así como dejar la otra en stand-by para que, en caso de que la primera no proporcionara suficiente presión, arranque y no deje el sello sin agua.
2. Alimentar el scrubber con agua salada ya sea mediante su bomba propia o con el sistema de contraincendios, siempre y cuando el sistema esté presurizado. Cerciorarse de abrir todas las válvulas necesarias para que el agua llegue al scrubber.
3. Abrir la válvula de salida del gas inerte del scrubber.
4. Abrir las válvulas de comunicación de las líneas deseadas que llevan el gas inerte a los tanques.
5. Dar la orden de que se produzca la limpieza de la válvula de aislamiento del circuito mediante aire comprimido en cuanto se ordene el arranque del sistema.
6. Seleccionar que ventilador va ser usado en cuanto se ordene el arranque del sistema. Al seleccionarlo, la válvula de aspiración y descarga del ventilador se deberían abrir automáticamente.
7. Dar la orden de arranque del sistema. Automáticamente después, el mismo abre la válvula de aire comprimido de limpieza de la válvula de aislamiento del circuito durante 1 minuto. Después del minuto, los ventiladores arrancan junto con la apertura de la válvula de aislamiento del circuito, permitiendo el paso de los gases resultantes de la combustión de la caldera al scrubber. La apertura de la válvula de aislamiento implica el cierre automático de la válvula de aire comprimido del sistema de sellado. Durante los siguientes 50 segundos posteriores la válvula de venteo se mantiene totalmente abierta, evacuando la mezcla de gas inerte y aire presente en los conductos del sistema a la atmosfera. Pasados dichos 50 segundos, siempre y cuando la concentración de O₂ sea inferior al 5%, la válvula de control de caudal se abre y permite el paso del gas inerte al sello de cubierta

8. Comprobar que la presión y la temperatura del gas inerte se encuentre en los valores correctos.
9. Seleccionar la presión y la carga deseadas mediante su regulador. Al variar dichos parámetros, el sistema abre o cierra la válvula de control de caudal y la de venteo para conseguir los valores indicados por los reguladores.

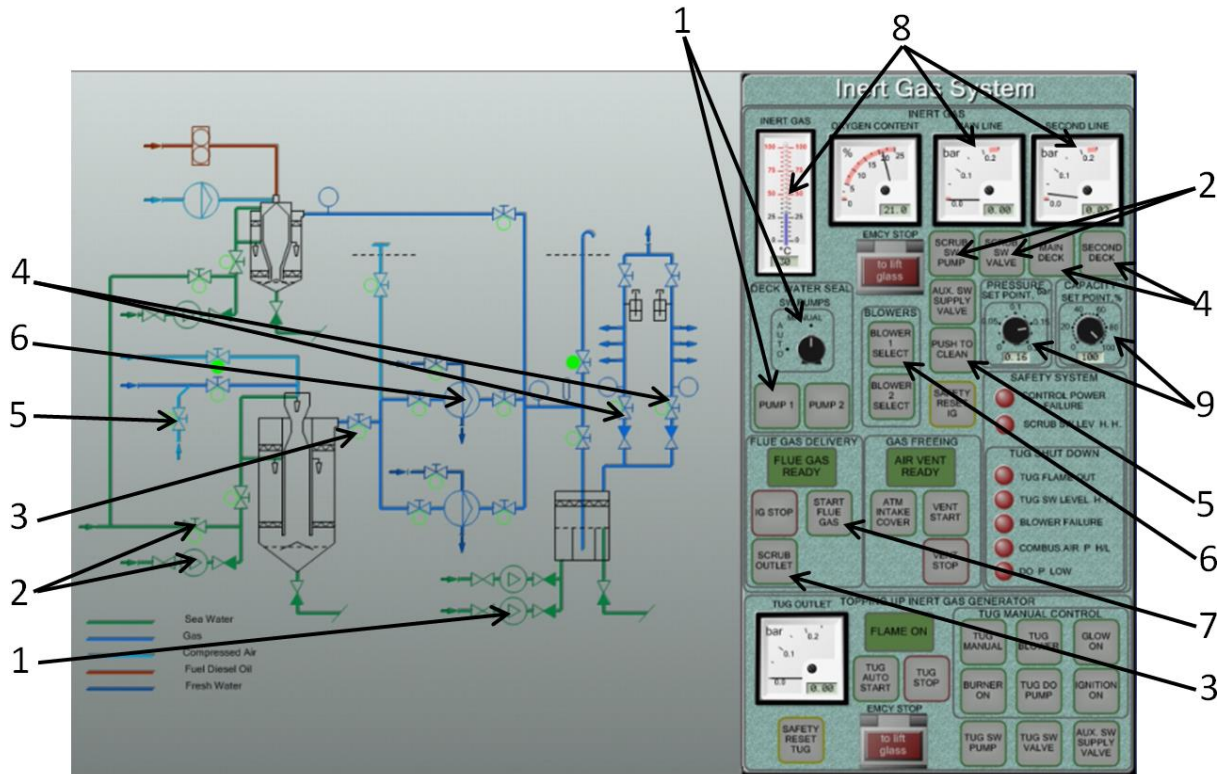


Figura 7: Procedimiento de arranque del sistema principal de gas inerte. Fuente [13]

1.4.1.2 Parada

Para la parada del sistema principal se deben seguir los siguientes pasos:

1. Cerrar la o las válvula/s de comunicación con las líneas a los tanques. Una vez cerradas, el sistema automáticamente cierra totalmente la válvula de control de caudal y abre la de venteo.
2. Dar la orden de parada del sistema. Automáticamente, el sistema para el ventilador y, mientras éste sigue girando por la inercia, la válvula del sistema de limpieza de los álabes del ventilador se abre y rocía agua para quitar las partículas de hollín que pudieran haberse pegado al ventilador. Cuando el ventilador se deja de mover, la válvula del sistema de limpieza se cierra así como las válvulas de aspiración y descarga de los ventiladores. Finalmente, la válvula de aislamiento del circuito se cierra automáticamente, haciendo que la válvula del sistema de sellado se abra.
3. Cerrar la válvula de salida de gas inerte del scrubber.
4. Dejar funcionando la bomba de agua salada del scrubber durante un minuto para refrigerarlo y, pasado el minuto, parar la bomba y cerrar las válvulas de aspiración de la bomba y la de entrada de agua salada al scrubber (en caso de estar usando agua del sistema contraincendios, cerrar la válvula de comunicación entre ambos sistemas).

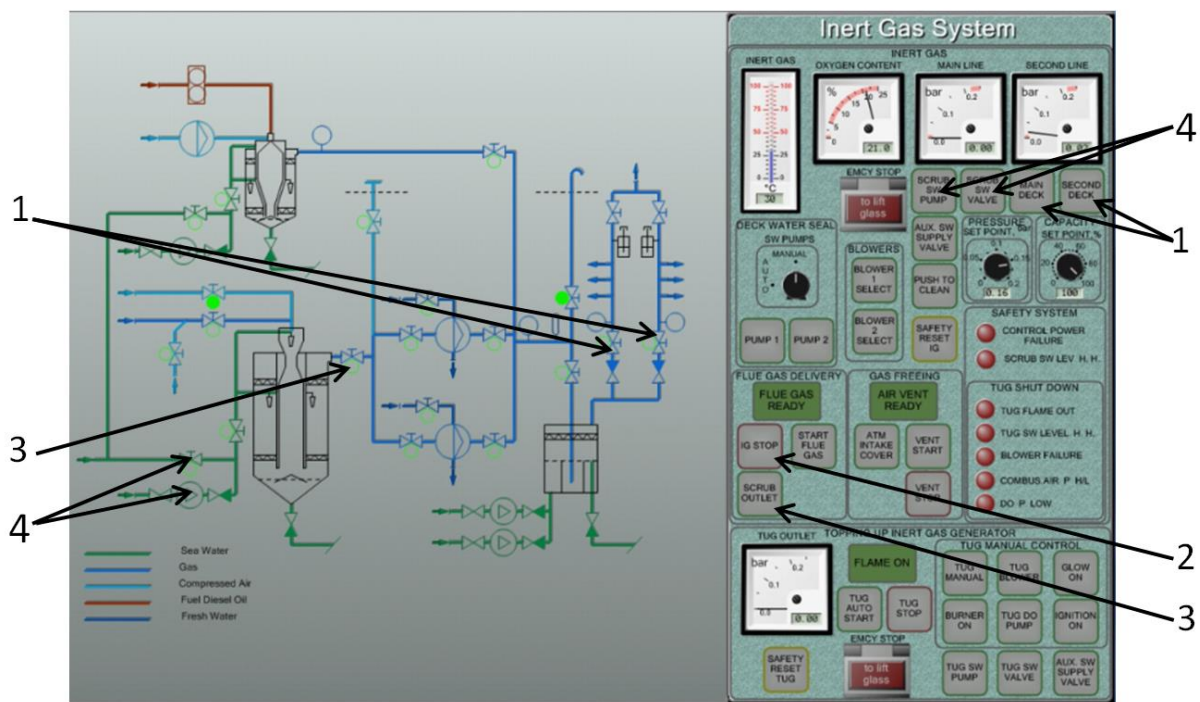


Figura 8: Procedimiento de parada del sistema principal de gas inerte. Fuente [13]

1.4.2 Sistema Auxiliar

1.4.2.1 Arranque y Operación

Para el arranque y operación del sistema principal de gas inerte se debe seguir los siguientes pasos:

1. Al igual que con el sistema principal, alimentar el sello de cubierta con agua salada a través de una de sus bombas específicas, dejando la otra bomba en stand-by.
2. Alimentar el TUG con agua salada para la refrigeración y limpieza del gas inerte mediante su bomba específica o, en caso de que esta no estuviese operativa, mediante el sistema de contraincendios, siempre y cuando este tenga la presión necesaria. Cerciorarse de que todas las válvulas necesarias están abiertas para que llegue el agua.
3. Abrir las válvulas de comunicación de las líneas que llevan el gas inerte a los tanques.
4. Seleccionar el modo manual y arrancar el ventilador del TUG. Automáticamente, el sistema abre la válvula de salida del TUG así como la válvula de venteo del sistema. Dejar que el generador se ventee durante 45 segundos.
5. Arrancar la bomba de DO de alimentación del sistema así como encender el mechero del quemador.
6. Con el mechero esté encendido, abrir la válvula de entrada de DO al quemador del TUG.
7. Dar la orden de encendido de la llama y esperar a que la llama del quemador se estabilice y apagar el mechero. Después del encendido de la llama, el sistema automáticamente deja la válvula de venteo abierta durante 50 segundos. Posteriormente, si la concentración de O_2 es inferior al 5%, la válvula de control de caudal se abre permitiendo el paso al sello de cubierta.
8. Seleccionar la presión y la carga deseadas mediante su regulador. Al variar dichos parámetros, el sistema abre o cierra la válvula de control de caudal y la de venteo para conseguir los valores indicados por los reguladores.

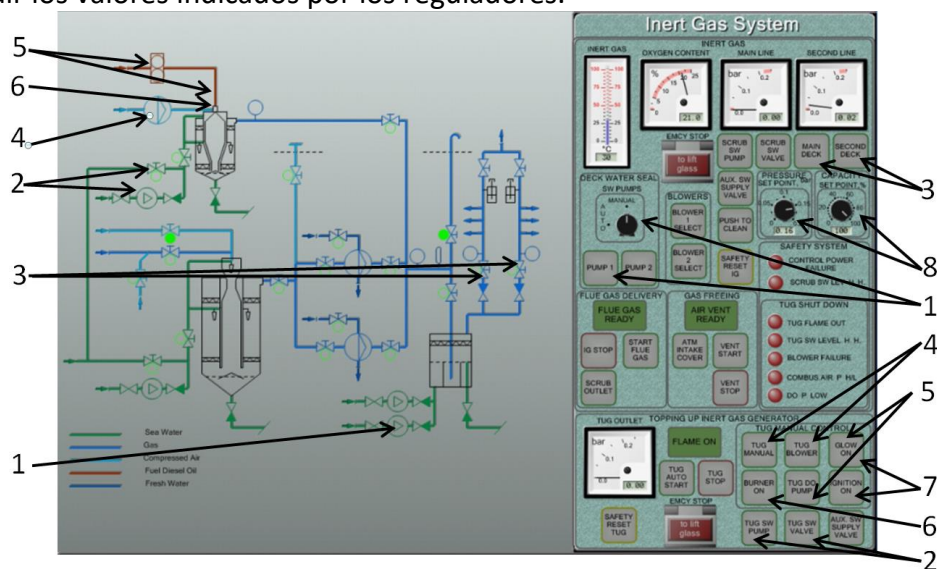


Figura 9: Procedimiento de arracada del sistema auxiliar de gas inerte. Fuente [13]

1.4.2.2 Parada

Para la parada del sistema principal se deben seguir los siguientes pasos:

1. Dar la orden de paro. Esto hace parar la bomba de DO y que la válvula de control de caudal se cierre completamente y se abra la válvula de venteo totalmente.
2. Dejar el ventilador y la bomba de agua salada arrancados durante un tiempo prudencial para refrigerar el TUG hasta que la válvula de venteo y la de salida del TUG se cierran automáticamente.
3. Parar el ventilador del TUG.
4. Parar la bomba de agua salada del TUG y cerrar la válvula de alimentación al TUG (en caso de estar usando agua del sistema contra incendios, cerrar la válvula de comunicación entre ambos sistemas).

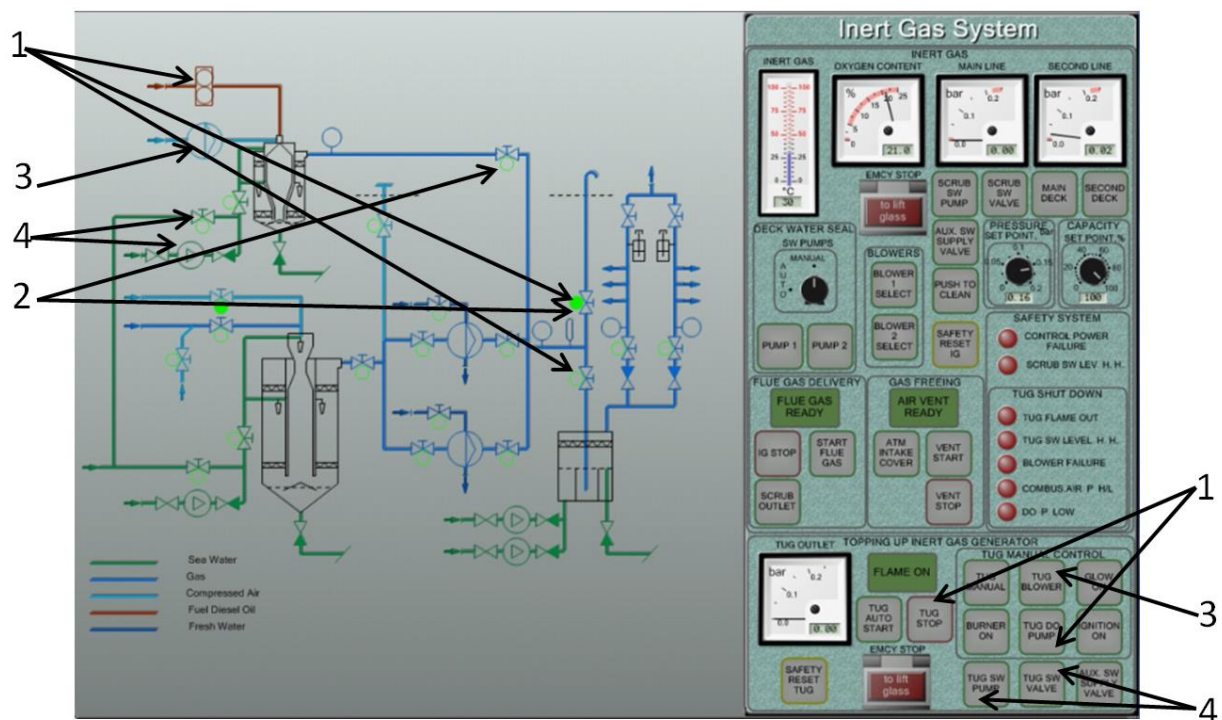


Figura 10: Procedimiento de parada del sistema auxiliar de gas inerte. Fuente [13]

1.4.3 Venteo de los tanques

El sistema también permite el venteo de los tanques en el caso de que fuese necesario la entrada en ellos para limpieza, inspección,... Para hacerlo, el sistema usa los ventiladores del sistema principal para insuflar el aire proveniente de una toma a la atmosfera en su aspiración. El procedimiento es el siguiente:

1. Alimentar el sello de cubierta con agua salada a través de una de sus bombas específicas, dejando la otra bomba en stand-by.
2. Cerciorarse de que la válvula de salida de gas inerte del scrubber está cerrada.
3. Abrir la válvula de la toma de aire.
4. Seleccionar el ventilador que va ser usado para el venteo. Al hacerlo, la válvula de aspiración dicho ventilador se abre automáticamente.
5. Abrir las válvulas de comunicación de las líneas deseadas que llevan el gas inerte a los tanques. En consecuencia, se deben abrir las válvulas de venteo de los tanques correspondientes para dejar salir el gas inerte.
6. Iniciar el proceso de venteo. Al hacerlo, la válvula de aislamiento del circuito bloquea su cierre para que el gas saliente de la caldera no entre en el sistema durante el venteo. Seguidamente, la válvula de descarga del ventilador se abre así como la de control de caudal, abriendo el paso para que el aire pueda pasar por el sello de cubierta y, finalmente, a los tanques. Finalmente arranca el ventilador.
7. Para finalizar el venteo, parar el ventilador y cerrar todas las válvulas abiertas anteriormente.

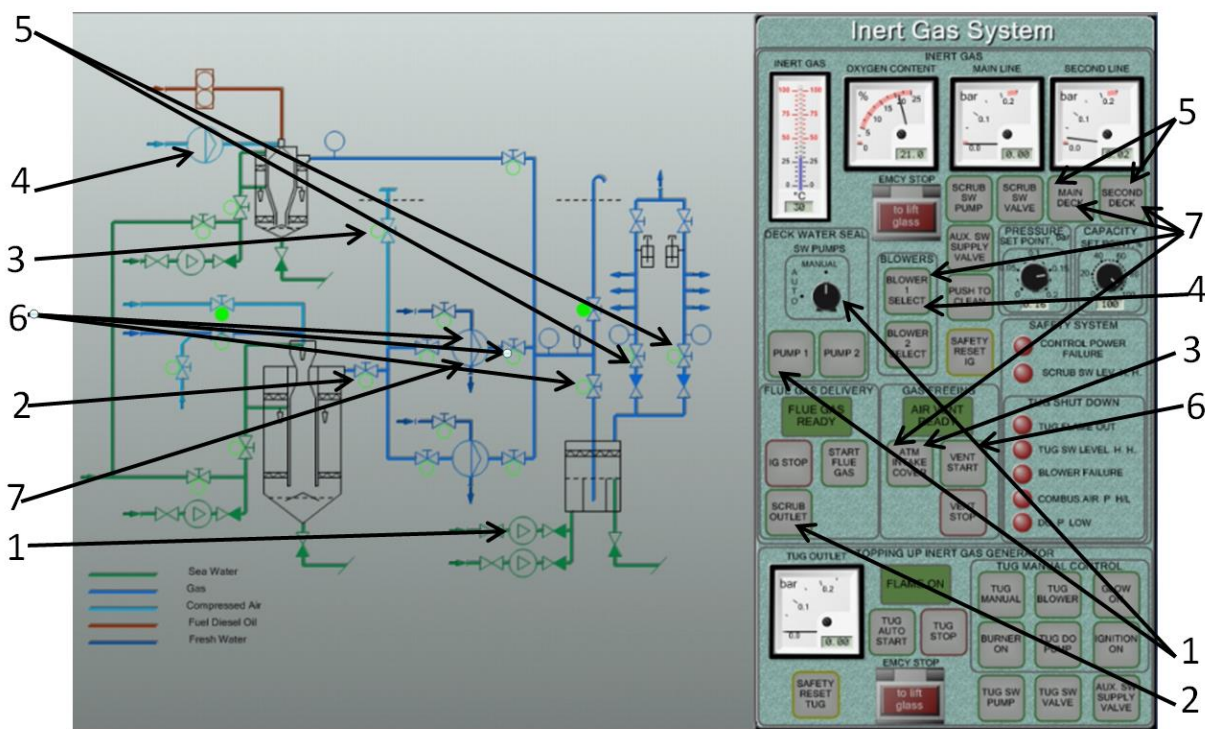


Figura 11: Procedimiento de venteo de los tanques de carga. Fuente [13]

1.5 Descripción de posibles averías o problemas y su resolución

En el transcurso normal de arranque y operación del sistema de gas inerte es posible que, debido a averías, el sistema presente un funcionamiento anómalo haciendo que su actividad se ve afectada en diferentes niveles de gravedad pudiendo incluso, provocar la parada del sistema. En este apartado se describirán algunas de estas averías, sus causas principales y el modo de solucionarlas.

1.5.1 Válvula de aislamiento del circuito

1.5.1.1 Cierre incompleto de la válvula de aislamiento del circuito:

El cierre incompleto de la válvula de aislamiento del circuito se puede producir por varias causas.

La primera de ellas es que el asiento de la válvula este sucio debido al hollín presente en los gases de escape. Este problema es debido a un mal funcionamiento del sistema de limpieza de la válvula. Para solucionarlo es necesario revisar si dicho sistema está obstruido o tiene algún tipo de fuga que no permite que el aire comprimido llegue a la válvula de forma óptima para su limpieza.

La segunda es que el sistema de sellado de la válvula de aislamiento del circuito no ejerza suficiente presión para cerrar la válvula y la presión de los gases de escape sea capaz de abrir la válvula. Para arreglar esta avería se precisa de revisar el sistema de sellado para observar si, al igual que el sistema de limpieza, hay una obstrucción o fuga que hace que el aire comprimido no pueda mantener su presión sobre la válvula.

La tercera es que alguna parte de la válvula (asiento, sello, cuerpo) esté erosionada debido al uso o al paso de las partículas sólidas que los gases de escape arrastran. La solución en este caso es el desmontaje de la válvula para una revisión para identificar el componente o componentes defectuosos y remplazarlos.

1.5.2 Scrubber

1.5.2.1 Desagüe insuficiente del scrubber

Un desagüe insuficiente del scrubber tiene la causa en algún tipo de taponamiento de la tubería de salida, ya sea por una válvula cerrada que debería estar abierta o por acumulación de suciedad que impide que el agua salga a un ritmo inferior al que entra, pudiendo causar una subida del nivel de agua en el scrubber. Para solucionar el problema es necesario limpiar la tubería de desagüe en el caso de que sea debido a la suciedad o reparar la válvula defectuosa que impide la salida del agua. Esta avería y su solución son aplicables también al sistema de apoyo o TUG.

1.5.2.2 Baja presión de agua a la entrada del scrubber

Que la presión de agua sea baja a la entrada del scrubber puede tener dos causas: que la bomba encargada de levantar dicha presión o que el agua pierda la presión antes de llegar al scrubber. Esta avería y sus soluciones son aplicables también al sistema de apoyo o TUG.

El primer caso puede ser causado por un mal funcionamiento de la bomba a causa de que alguno de sus componentes sea defectuoso o esté estropeado. Para solucionarlo es preciso reparar o cambiar la bomba. En caso de que esto no fuera posible debido a que se esté usando el scrubber se debe usar el sistema auxiliar a la bomba que, en el caso que nos ocupa, sería proporcionar la presión mediante el sistema contraincendios.

El segundo caso puede ser debido a una fuga de agua en el trayecto hacia el scrubber, haciendo que parte de la presión se pierda. Para arreglarlo se tiene que reparar dicha fuga.

1.5.2.3 Alta temperatura del gas inerte en el scrubber

Una alta temperatura del gas inerte dentro del scrubber se debe principalmente a un caudal de agua de enfriamiento no sea el suficiente para enfriar todo el gas inerte que circula por el scrubber. La causa de ello puede ser debida a una obstrucción parcial en el recorrido del agua desde la bomba la cual no permite que la totalidad del agua entre en él. La solución al problema se basa en revisar dicho recorrido en busca de obstrucciones y retirarlas.

1.5.3 Ventiladores

1.5.3.1 Fallo en un ventilador

Un fallo en el ventilador puede tener varias causas asociadas. Si en el momento del fallo solo se está usando ese ventilador es preciso arrancar el otro para poder seguir operando la planta. En el caso de que ambos ventiladores estuviesen funcionando a la vez entonces es necesario adaptar la velocidad de descarga del crudo a aquella que el ventilador no afectado por la avería sea capaz de suministrar gas inerte suficiente para rellenar el tanque.

La primera causa es un fallo de funcionamiento en su motor o un corte en su alimentación eléctrica. En este caso es preciso desmontar el motor del ventilador para su revisión del cableado y, posteriormente, reparación o sustitución. Esta causa y su solución son aplicables también al ventilador del sistema de apoyo.

La segunda causa es una rotura en el impeler del ventilador que provoca que, a pesar de girar, no aumente la presión del gas inerte. Para solucionar dicha avería es desmontar el impeler y cambiarlo por otro en buen estado. Esta causa y su solución son aplicables también al ventilador del sistema de apoyo.

La tercera causa es debida al atascamiento del impeler del ventilador. Esto se debe a una falta de limpieza del hollín del impulsor y, como resultado de la acumulación de este residuo, dicho elemento es incapaz de girar. Esta avería es causada por un funcionamiento erróneo del sistema de limpieza del ventilador y, por consiguiente, es necesaria una revisión de dicho sistema para encontrar fugas u obstrucciones que impiden que el agua llegue hasta el impeler.

1.5.4 Top-Up Generator o sistema de apoyo

1.5.4.1 Alta presión del aire de combustión

Este error es producido cuando hay una entrada de aire en la cámara de combustión del TUG es mayor que la requerida para la cantidad de combustible que se está quemando según la carga establecida.

Para dicho problema es necesario revisar las válvulas de admisión del aire del TUG para discernir si alguna se ha quedado encallada y no cierra suficientemente el paso del aire. Otra solución es revisar que el sistema de control del sistema no está funcionando de forma errónea y están dejando entrar demasiado aire.

Este problema, en principio, no debería comprometer la seguridad de la máquina pero sí que puede producir un gas inerte con una cantidad de oxígeno superior a la requerida. Otro inconveniente que puede generar esta situación es la extinción de la llama del quemador a causa de un desplazamiento del calor lejos del quemador.

1.5.4.2 Baja presión del aire de combustión

Una baja presión del aire de combustión, al contrario que la avería anterior, se debe a una entrada de aire insuficiente para la carga a la que está al TUG.

Este fallo puede ser debido, al igual que el problema anterior, a una mala regulación del caudal de la entrada de aire ya sea por una errata en el sistema de control o una válvula que no está abierta lo suficiente.

Otra explicación puede ser el mal funcionamiento del ventilador debido a una rotura o encallamiento del impeler o del motor eléctrico. Para solucionarlo es preciso la reparación o sustitución el elemento dañado.

En este caso, aparte de que el generador subministrará la cantidad de gas inerte suficiente, existe el riesgo que la combustión sea incompleta, generando en vez de CO₂, CO cuya inflamabilidad es muy alta. Al igual que en el problema anterior, esta situación puede producir un apagamiento de la llama debido a que la falta de aire impide que se siga produciendo la combustión.

1.5.4.3 Baja presión del Combustible

Este problema se debe a que o bien hay una pérdida de presión en el servicio de combustible al TUG, cuya causa es una fuga en la línea al quemador o que la bomba de combustible no proporciona presión suficiente debido a un mal funcionamiento.

Para solucionar la primera opción es necesario revisar toda la línea para encontrar la fuga y aplicar medidas correctivas como la soldadura o sustitución de la tubería rota o sustitución de la válvula que pierde. En el segundo caso, es preciso revisar la bomba y/o su motor para encontrar el fallo como, por ejemplo, un mal cierre de la válvula de descarga o un encallamiento del rotor, y repararlo o sustituir la bomba si fuese necesario.

1.5.5 Sello de cubierta

1.5.5.1 Alto nivel de agua en el sello de cubierta

Este problema se da cuando hay un desagüe insuficiente en sello haciendo que la cantidad de agua se acumule dentro. La solución a esto se basa en buscar por la causa del fallo, ya sea por una obstrucción debido a un depósito de sal o suciedad en la tubería o a una válvula cerrada que debería estar abierta.

1.5.5.2 Bajo nivel en el sello de cubierta

Este contratiempo tiene su causa en un suministro pobre de agua al sello. La causa de esto es una obstrucción o fuga en la línea de entrada de agua al sello o dentro del sello mismo. Para solucionar esta avería se debe comprobar las líneas y en el sello buscando dichas fugas u obstrucciones que reducen el caudal de entrada al sello.

1.5.5.3 Baja presión de agua en el sello de cubierta

En este caso, una presión baja de agua en el sello de debe a un mal funcionamiento de la bomba. La solución es revisar la bomba para encontrar el fallo que produce su actividad defectuosa y repararla o sustituirla convenientemente.

1.5.6 Líneas de distribución de gas inerte

1.5.6.1 Alta presión del gas inerte en las líneas de distribución

Este inconveniente se presenta cuando el gas inerte no está llegando al tanque o tanques que debería a causa de una obstrucción en su camino, resultando en un aumento de la cantidad de gas inerte en la línea. Para solucionarlo se debe encontrar el elemento, lo más probable una válvula cerrada o rota, y restaurar el paso de gas inerte al tanque en cuestión.

1.5.6.2 Baja presión del gas inerte en las líneas de distribución

Este problema puede tener tres causas: el primero que haya una fuga del gas en algún lugar de la línea, que el o los ventiladores no puedan trabajar a la carga requerida o que el sistema de control opere de forma errónea.

En el primer caso, es necesario revisar toda la línea de gas inerte para encontrar la fuga, ya sea por un orificio en la línea o por un elemento del circuito que no es suficientemente estanco (válvulas, unión entre tuberías,...) y reparar o sustituir el trozo de tubería o elemento defectuoso.

En el segundo caso, es necesario reducir el caudal de descarga de las bombas de crudo para que el o los ventiladores puedan rellenar el tanque al mismo ritmo que las bombas lo vacían. Para solucionar el problema se precisa de comprobar los ventiladores y encontrar el fallo (véase el apartado *Fallo del ventilador*).

El tercer caso es debido a un mal funcionamiento del sistema de regulación de presión del gas inerte como, por ejemplo, una operación errónea del actuador de la válvula de control del gas inerte. En cuyo caso es necesario revisar el sistema y encontrar el elemento que provoca el fallo y repararlo o sustituirlo.

1.5.6.3 Congelación del agua dentro del rompedor de presión/vacío

Este problema sucede cuando se navega por latitudes donde la temperatura baja de los 0°C haciendo que el agua presente en el rompedor de presión/vacío se congele y deje de ejercer su función. Para evitar dicho problema es necesario introducir alguna sustancia anticongelante (glicol, por ejemplo) al agua que haga bajar su temperatura de congelación por debajo de la ambiente.

1.5.7 Averías y problemas en el sistema general

1.5.7.1 Alta presión en el sistema

Esta situación se produce cuando se genera gas inerte o se está venteando pero a causa de una obstrucción en las líneas de distribución, el gas o aire no puede fluir hacia los tanques. La solución para dicho problema es buscar y eliminar la obstrucción en las líneas o elementos posteriores a los ventiladores del circuito (válvulas, sello de cubierta, válvula antiretorno,...).

1.5.7.2 Alta concentración de O₂ en el gas inerte

Esta situación es una de las menos deseadas ya que implica un paro del sistema si no revierte el inconveniente de forma rápida. Este problema puede tener varias causas que a continuación se enumeran:

La primera es una combustión pobre en la caldera que se suele dar a bajas cargas. Esto produce que no todo el oxígeno atmosférico reaccione y su concentración en los gases de escape suba. Para solucionar este caso es necesaria una regulación de la entrada de aire en la caldera para que se produzca una combustión correcta.

La segunda causa es la entrada de aire a través de la admisión de los gases de escape cuando hay una demanda de gas inerte superior al caudal que ofrece la caldera. Esta situación es solucionable mediante la subida de la carga de la caldera y, por lo tanto, su caudal de gases de escape aumenta también. Para no generar una subida de la presión en el sistema de vapor debida a la subida de la carga de la caldera, es preciso recircular el vapor excesivo por un condensador para su condensación.

La tercera causa se debe a la entrada de aire a través de un orificio o abertura en la línea que va desde la salida de la caldera y la admisión de los ventiladores. Este contratiempo se solventa mediante la revisión del sistema y posterior tapado del agujero.

La cuarta causa es un mal funcionamiento del detector de oxígeno el cual indica una concentración errónea y que, a pesar de no ser un problema real, impide que la planta pueda funcionar de forma correcta. Para remediar este impedimento hay que reparar o recalibrar el sensor.

La quinta causa es una combustión incorrecta en el generador de gas inerte de apoyo cuya solución es rectificar la cantidad de combustible y/o aire que entra para que la reacción se produzca de forma óptima.

Capítulo 2. Planta de vapor

2.1 Introducción

La planta de vapor de un buque petrolero, o cualquier buque, es el conjunto de sistemas que tienen relación directa con el vapor a bordo. Dichos sistemas se pueden dividir en generadores o consumidores de vapor.

El primer tipo de sistema se llaman calderas y son las dedicadas a calentar agua líquida para transformarla en vapor con las características de presión, temperatura y caudal requeridas por los consumidores. Para hacerlo, hacen uso de diferentes sistemas de calentamiento siendo la quema de combustibles líquidos o el aprovechamiento del calor residual de los gases de escape de los motores del buque los métodos más habituales encontrados a bordo. Si fuese necesario por las características de los consumidores, dichas calderas son capaces de generar vapor a diferentes condiciones de temperatura con una presión constante (normalmente vapor saturado y vapor sobrecalentado).

En este tipo de sistema también se incluye condensadores que condensan el vapor o la mezcla de vapor y agua líquida saliente de los consumidores. Posteriormente, se bombea el condensado hasta la caldera, aumentando su presión hasta la requerida por el sistema.

El segundo tipo son los consumidores de vapor y su función es la de transferir o transformar la energía interna del vapor para su uso en otros sistemas.

El primer tipo de consumidores son los calentadores y su función es la de aumentar la temperatura de los diferentes fluidos (fuel, agua,...) que lo precisan a bordo. Consumen vapor saturado y la energía que transfieren es el calor latente de evaporación. En la figura 12, se representa dicha energía transferida con la línea verde

El segundo tipo de consumidores son máquinas que transforman la energía interna del vapor en energía mecánica usada para el accionamiento de otras máquinas (hélices, bombas, generadores,...). Estos consumidores son turbinas de vapor que requieren de vapor sobrecalentado para su funcionamiento ya que, debido a que la presencia de agua líquida en su interior durante su funcionamiento puede provocar averías, sólo usa la energía procedente del sobrecalentado del vapor. En la figura 12, se representa dicha energía transferida con la línea naranja.

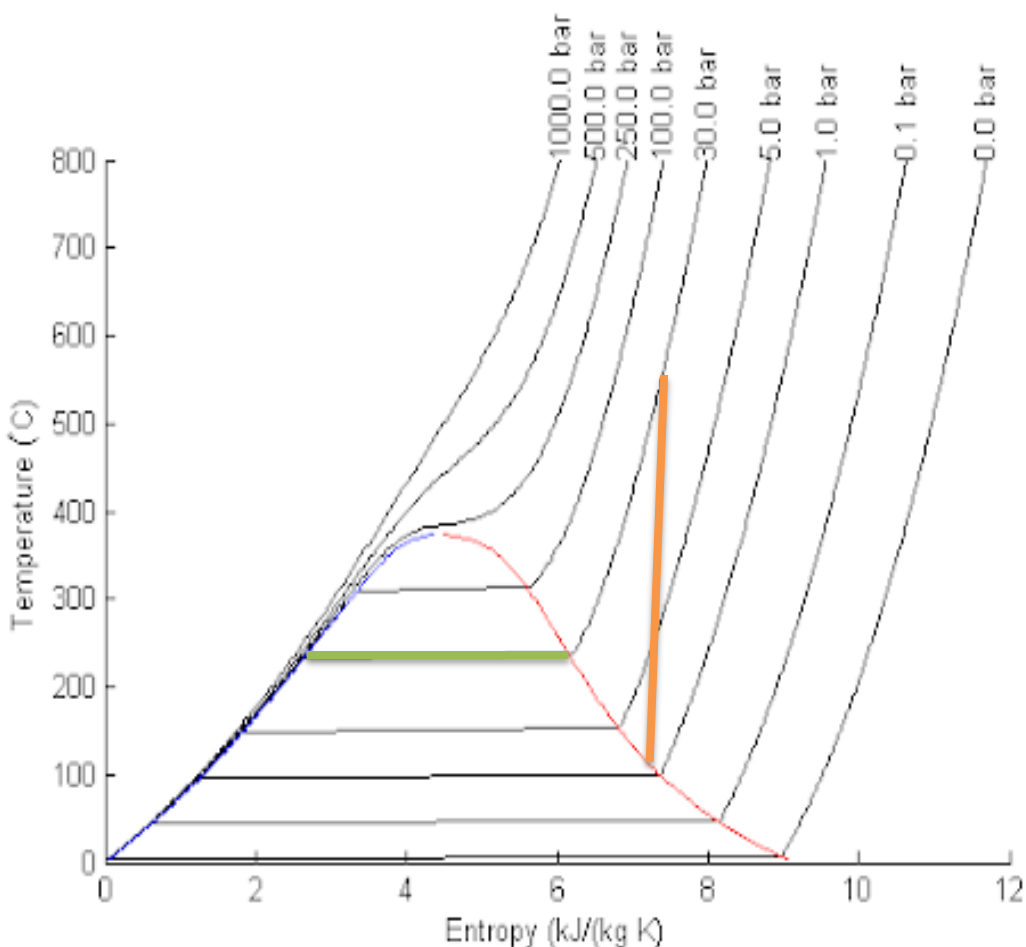


Figura 12: Gráfico de temperatura vs. entropía del agua con líneas isobaras. Fuente [39].

En la figura 12, se representa el estado del agua en un gráfico de temperatura vs entropía con líneas isobaras. A izquierda y derecha del domo, el agua es líquida o gaseosa respectivamente y, dentro del domo, es una mezcla de ambas. En los calentadores, el vapor entra en estado saturado, es decir, con la energía justa para no ser una mezcla. Durante su paso por el calentador cede energía a presión constante y condensa saliendo, idealmente, completamente líquido (al otro lado del domo). En las turbinas, el vapor entra sobrecalentado, es decir, a la izquierda del domo. Durante su paso por la turbina cede energía a entropía constante (idealmente) y sale como vapor saturado o una mezcla con poca cantidad de líquido.

2.2 Descripción del sistema

La planta de vapor del buque del petrolero está dividida en el sistema de generación de vapor y sus consumidores. El sistema de generación consta de diferentes elementos siendo los más importantes los dos generadores de vapor: la caldera auxiliar con quemadores y la caldera de gases de escape. Los consumidores están repartidos en consumidores de vapor saturado y de vapor sobrecalentado. En los primeros, el fluido tiene la función de calentar y en los segundos la de accionar máquinas (turbinas).

Además de la planta de vapor, es conveniente explicar el sistema de combustible que acompaña a la caldera auxiliar ya que su uso está ligado al de la planta de vapor en la arrancada y la operación.

2.2.1 Planta de vapor

El sistema de generación de vapor, tal y como se ha expuesto anteriormente, consta de dos calderas, una con quemador de combustible y la otra que usa el calor de los gases de escape. A parte, para el funcionamiento correcto de ambas, el sistema está compuesto de dos bombas de alimentación para la caldera, dos de circulación, un condensador y un tanque de recogida del condensado.

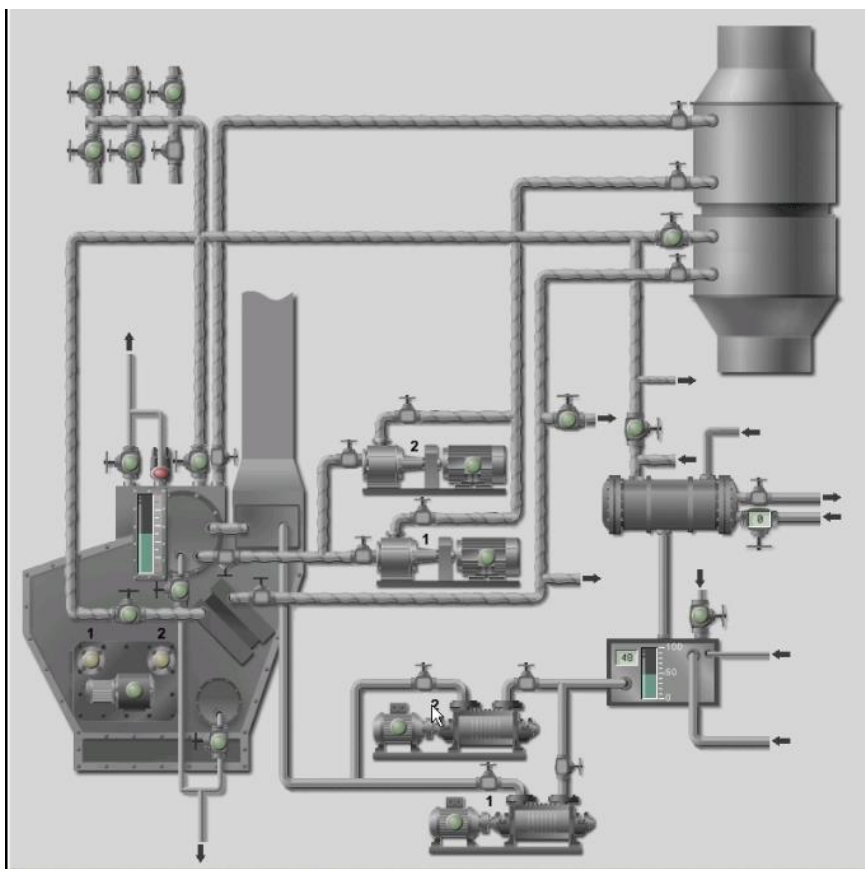


Figura 13: Esquema de la planta de vapor del buque. Fuente [13].

2.2.1.1 Caldera auxiliar y bombas de alimentación

La caldera auxiliar del buque es una caldera acuotubular vertical de doble colector con dos quemadores de combustible líquido (Diésel o Fuel). Su presión de trabajo es de entre 7 y 18 bar con una capacidad de producción de 16 toneladas de vapor por hora. Además incluye un sobrecalentador para aumentar la temperatura del vapor destinado a los consumidores que lo necesitan.

El principio de funcionamiento de la caldera se basa en el calentamiento del agua en los tubos que unen ambos colectores, el superior e inferior, hasta que se produce su evaporación. Para conseguirlo, la caldera dispone de dos quemadores de combustible líquido y un ventilador donde se hace arder el hidrocarburo. Los gases calientes resultantes pasan, primero por el sobrecalentador que calienta el vapor saturado proveniente del colector superior y luego por los tubos evaporadores. Allí, el agua absorbe su calor y se calienta haciendo que, parte de ella, se evapore. Este calentamiento tiene el efecto secundario de disminuir la densidad del agua cosa que genera una diferencia de densidades entre el agua caliente de los tubos evaporadores y el agua presente en los llamados tubos de bajada que están fuera del alcance de los gases calientes y que conectan el colector superior con el inferior. Esta diferencia de densidades causa una circulación natural del agua dentro de la caldera cosa que evita tener una bomba para ello, tal y como se muestra en la Figura 14.

Respecto al vapor generado en los tubos, éste sube hasta el colector superior en forma de burbujas. Allí, es distribuido a los consumidores de vapor saturado o enviado al sobrecalentador para su calentamiento extra y posterior uso en los de vapor sobrecalentado.

El agua que llega al colector superior desciende por los tubos de bajada hasta llegar al colector inferior donde vuelve a subir por los tubos evaporadores, reiniciando el ciclo.

La caldera incorpora también una válvula de seguridad de sobrepresión (teóricamente, siguiendo la regulación, debería haber dos) tarada a 19,5 bar conectada a un venteo que aliviaría una eventual sobrepresión en la caldera. Además, tiene incluida una válvula en cada colector para la eliminación de los lodos que se generan debido al tratamiento previo del agua y la evaporación de la misma. Finalmente, asimismo hay incorporada una válvula de venteo usada durante el llenado de la caldera.

Para la alimentación de agua a la caldera, dos electrobombas suministran agua al colector superior a 20 bar de presión con un caudal de 20 m³ por hora desde el tanque de recogida de condensado. Su funcionamiento está sujeto o a un control manual donde el operador las arranca y las para cuando quiere o a un control automático que las arranca y para según en nivel en el colector.

2.2.1.2 Caldera de gases de escape y bombas de circulación

La caldera de gases de escape es una caldera acuatubular de circulación forzada cuya fuente de calor son los gases de escape que provienen de los motores principales. Incluye, igual que la otra, un sobrecalentador para la generación de vapor sobrecalentado. Su capacidad de generación es de 6 toneladas de vapor por hora con un rango de presiones igual que la caldera auxiliar. Su presencia en el circuito es meramente de apoyo a la caldera auxiliar para aumentar la eficiencia del sistema (ya que no se precisa tanto combustible para generar el vapor), por lo tanto, no es capaz de mantener ella sola toda la planta de vapor.

Su principio de funcionamiento difiere un poco de la auxiliar ya que esta está alimentada desde el colector superior de la caldera auxiliar y el agua pasa dentro de unos tubos evaporadores que forman una helicoide. Los gases calientes de escape de los motores principales pasan por el exterior de dichos tubos y calientan y, en parte, vaporizan el agua. Una vez la mezcla de vapor y agua sale de la caldera, se vuelve a meter en el colector superior de la auxiliar donde se separa el vapor del agua líquida. Si se precisa vapor sobrecalentado, el vapor saturado que sale del colector superior es enviado al sobrecalentador situado en la parte inferior de la caldera de gases de escape (ya que allí es donde los gases tienen más temperatura porque todavía no han cedido energía al agua para su evaporación) y, de allí se manda a los consumidores deseados.

Para el suministro de agua a la caldera y su circulación dentro de la misma, el sistema dispone de dos bombas accionadas por un motor eléctrico que alimenta la caldera agua del colector superior de la caldera auxiliar, tal y como se ha dicho anteriormente, con un caudal de 40 m³/h y un aumento de presión de 1 a 2 bar a la que ya tenían. Al igual que las de alimentación su control puede ser manual o automático que, en este caso, pararían si el nivel del colector superior de la caldera auxiliar bajase demasiado.

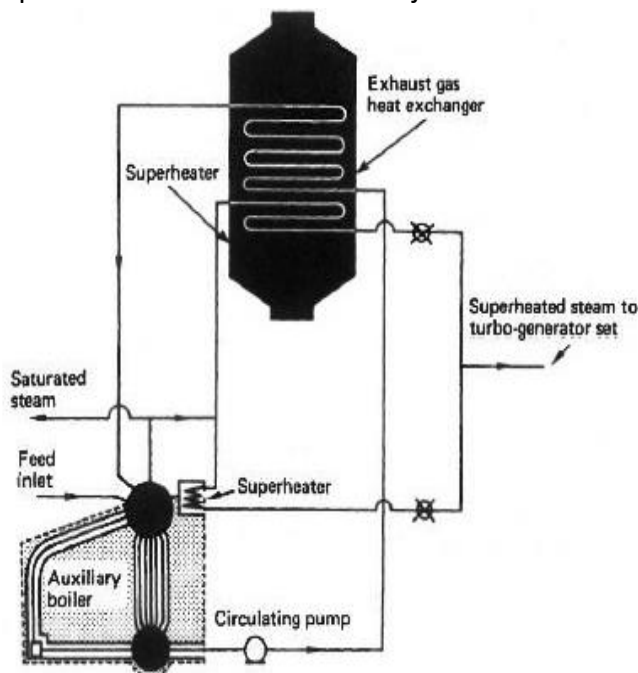


Figura 14: Esquema de planta de vapor con una caldera con quemador y una caldera de gases de escape. Fuente [15].

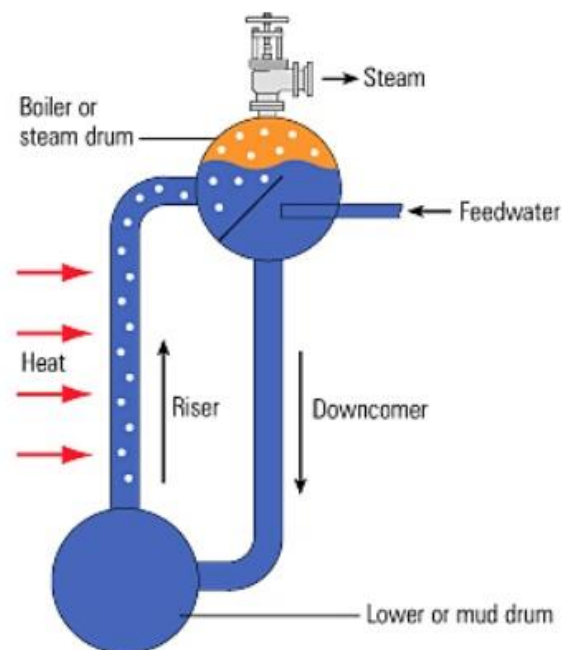


Figura 15: Principio de funcionamiento de la circulación natural en calderas acuatubulares. Fuente [54].

2.2.1.3 Consumidores

Una vez el vapor sale de la o las caldera/s, es dirigido a los consumidores. En este buque hay simulados seis grupos de los cuales se pueden juntar en tres.

El primer grupo corresponde a los consumidores de cubierta y habitación y usa vapor saturado. Su función es la de calentamiento de agua para diferentes usos. Estos consumidores, a pesar de disponer su propia distinción, no están simulados en el buque, por lo tanto, no se puede operar con ellos.

El segundo grupo es de calentamiento del fuel que también usa vapor saturado. Se subdivide en calentamiento de los tanques del hidrocarburo, el calentamiento del fuel antes de poder ser quemado y el calentamiento previo antes de entrar a las depuradoras de combustible. En este caso sí que es “actuable” en todos los consumidores, en consecuencia, si se quiere calentar el fuel en el simulador en cualquier de estas tres situaciones, es preciso tener vapor generándose en la caldera.

El tercer y último grupo corresponde a las turbinas para el accionamiento del turbogenerador de electricidad instalado en el buque y de las turbobombas de descarga del crudo. Al ser elementos que usan el vapor como fluido para generar movimiento requiere que sea sobrecalentado. Al igual que el segundo grupo también es posible su manipulación dentro del simulador con lo que es necesario suministrarles vapor antes de poder operarlas.



Figura 16: Calentador de vapor en un tanque de fuel-oil. Fuente propia.

2.2.1.4 Condensador

El condensador tiene como objetivo condensar todo el vapor que no lo ha hecho en los consumidores (flujo vertical en la Figura 17), antes de volver a entrar en el tanque de recogida del condensado. Para hacerlo, usa agua del mar (flujo horizontal en la Figura 17) cuya temperatura es notablemente inferior a la del sistema. En el caso de que el flujo de agua del mar no fuese el suficiente para la condensación de todo el vapor, el sistema incorpora un indicador del porcentaje de vapor que está saliendo del condensador en relación al total de agua. También incorpora un termómetro que muestra la temperatura dentro del condensador así como un vacuómetro que mide la disminución de presión que se produce dentro del condensador debida a la reducción del volumen del agua que se produce al cambiar de estado gaseoso a líquido.

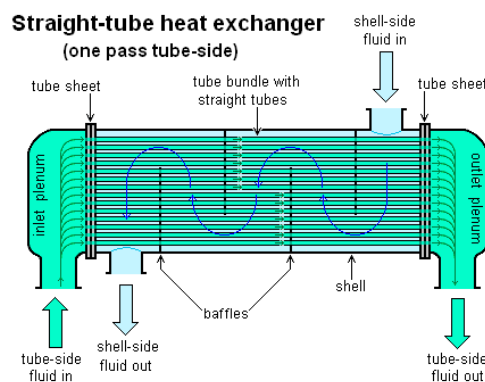


Figura 17: Ilustración de un condensador de carcasa y tubos con su funcionamiento. Fuente [21].

2.2.1.5 Tanque de recogida de condensado

El tanque de recogida de condensado es el elemento que cierra el circuito y es el que almacena el agua en el sistema para su posterior calentamiento y uso. Incorpora una válvula de llenado de agua. Además, aunque no está especificado, debería incorporar una mirilla en su parte superior (orificio redondo en la parte superior de la Figura 18) para poder identificar si hay manchas de hidrocarburos en el agua, síntoma de que algún calentador tiene una fuga por donde el combustible se cuela en el circuito de vapor.



Figura 18: Tanque de recogida de condensado. Fuente propia.

2.2.2 Sistema de combustible de la caldera auxiliar

El sistema de combustible de la caldera es tiene la función de alimentar los quemadores de la caldera auxiliar de tal manera que el proceso de combustión sea el óptimo. Dicho combustible puede ser o fuel pesado o diésel y, en función del fluido escogido, el sistema tendrá un funcionamiento u otro.

Además del suministro a los quemadores, el sistema incorpora una función de circulación continua que mantiene el fuel preparado en el caso de que no se precise una aportación de calor en la caldera.

Para que el fuel pueda ser quemado de forma correcta (con una viscosidad de entre 10 y 15 cSt), el sistema es capaz de calentarlo a 140°C y evita la formación de gases volátiles o espuma manteniendo el combustible a 8 bar.

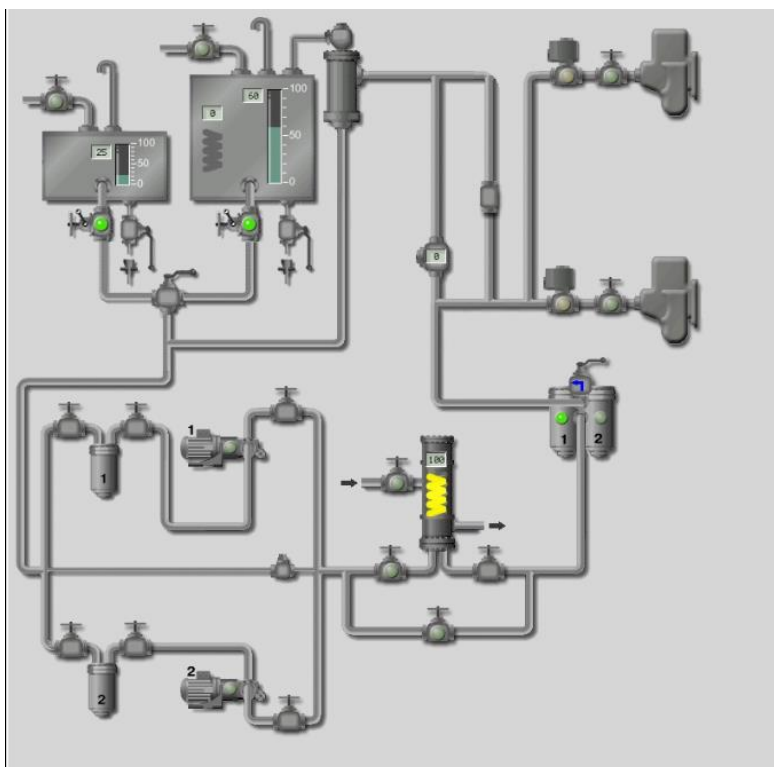


Figura 19: Esquema del sistema de combustible de la caldera auxiliar. Fuente [13]

2.2.2.1 Tanques de Servicio

El sistema dispone de dos tanques de servicio, uno de diésel y otro de fuel. En el de fuel hay un calentador de vapor que lo calienta hasta la temperatura adecuada para ser bombeado.

Ambos tanques tienen conectada su línea de salida a una válvula de tres vías que permite la elección del combustible a usar en el sistema. Además, permite un cambio de combustible lo suficientemente rápido para no ser necesario parar la caldera.

2.2.2.2 Filtros pre-bomba o fríos

Estos filtros, tal y como indica su nombre, están situados antes de las bombas del combustible y sirven para la eliminación de partículas sólidas de un tamaño lo suficientemente grande que pudieran causar algún tipo de avería en las bombas. Están equipados con un sensor de caída de presión que alerta cuando hay un salto demasiado grande (en la Figura 20, se observa los orificios para la colocación de dicho sensor en la parte inferior izquierda).

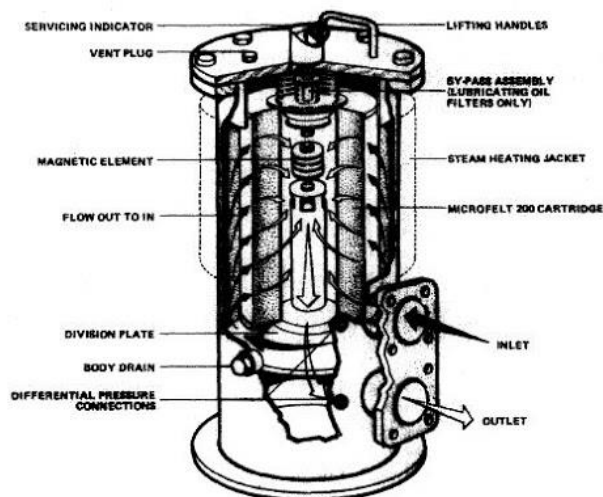


Figura 20: Ilustración de un filtro de fuel-oil y su funcionamiento. Fuente [16].

2.2.2.3 Bombas de combustible

Las dos bombas de combustible de tornillo accionadas por un motor eléctrico cada una y funcionan de forma que una está arrancada y la otra en stand-by para que, en el caso de que la primera no proporcionase suficiente presión debido a un mal funcionamiento, arranque la segunda y mantenga el suministro sin tener que parar el sistema.

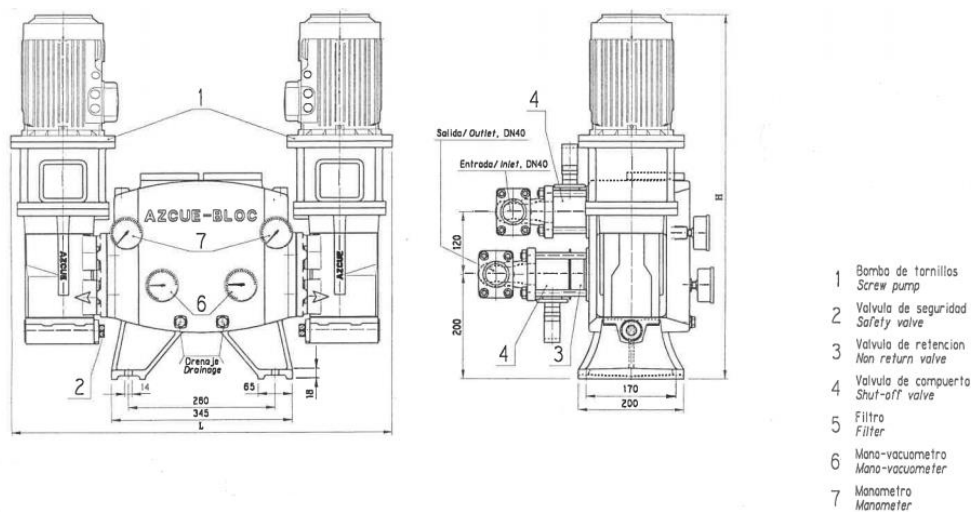


Figura 21: Ilustración de dos bombas de combustible de tornillo Azcue Bloc. Fuente [5].

2.2.2.4 Precalentador de fuel

El precalentador de fuel es un intercambiador de carcasa y tubos y es el elemento que permite que el fuel llegue a la temperatura necesaria para que su viscosidad sea la óptima en el momento de combustión. Para lograrla, el precalentador se nutre del vapor de la caldera cuyo flujo puede ser regulado de forma manual (permitiendo un paso determinado) o automático (abriendo o cerrando el paso para mantener una temperatura constante establecida) en su entrada. Esta característica se muestra en el termostato situado a la entrada del vapor en la Figura 22 (parte superior derecha).

En el caso de usar diésel, ya que este no necesita calentamiento para ser quemado, existe un bypass al calentador que evita que el diésel coja demasiada temperatura en el caso de que se hiciese pasar por el precalentador todavía caliente en un cambio de fuel a diésel. En el caso contrario, el bypass permite el calentamiento del precalentador antes de realizar el cambio de fuel a diésel sin que este último aumente de temperatura.

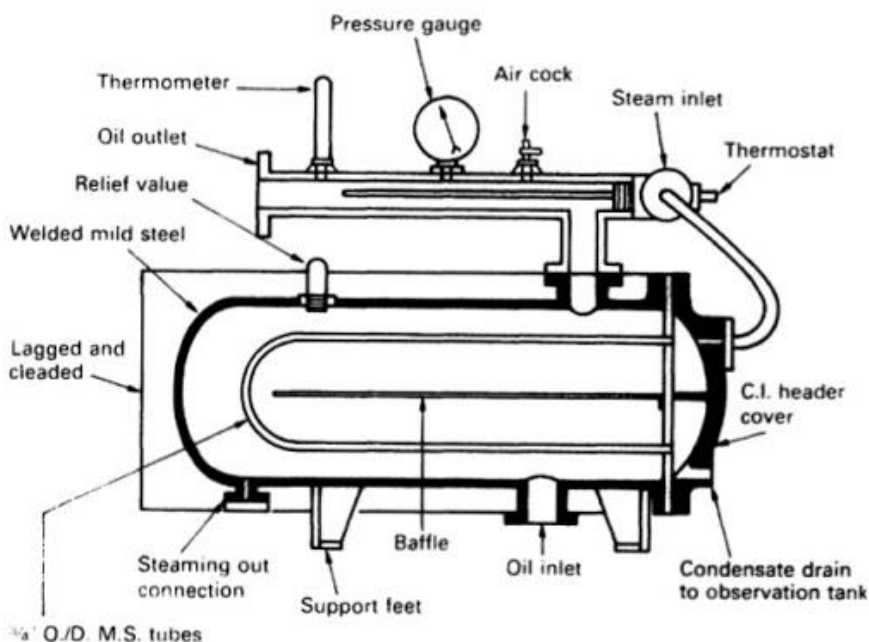


Figura 22: Ilustración de un precalentador de fuel-oil. Fuente [18].

2.2.2.5 Filtros finos o calientes

Los filtros finos o calientes son los últimos elementos antes de los quemadores y son los encargados de retirar del combustible las partículas que pudiera entorpecer el correcto funcionamiento del quemador (de un tamaño superior a 50µm aproximadamente). Su modo de operación es parecido al de las bombas donde uno hace la función de filtrado mientras el otro está en espera. Cuando se produce un llenado de suciedad en el operativo, se cambia al otro sin tener que parar la alimentación a la caldera. Al igual que los filtros fríos, disponen de sensores de caída de presión que alertan cuando, debido a la suciedad, hay una bajada suficientemente grande de la presión en el filtro.

2.2.2.6 Quemadores y ventilador

Los dos quemadores de la caldera son los responsables de atomizar el combustible para su combustión eficaz. A su entrada hay dos válvulas que permiten el paso de fuel, una accionada manualmente que lo aísla del sistema y otra automática que se abre o cierra en función de la necesidad de calor en la caldera.

Para la regulación de la presión en los quemadores hay situado un regulador en la línea de retorno que permite el paso dicho retorno de forma mayor o menor para ajustar la presión del combustible en el quemador.

El ventilador es el elemento encargado de proporcionar el aire requerido para que se produzca el quemado del combustible de forma óptima.

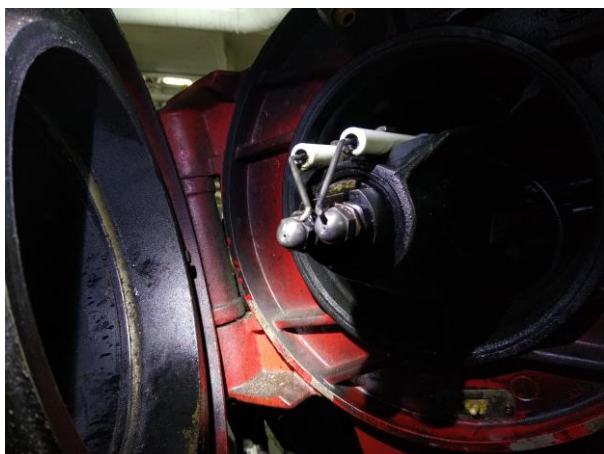


Figura 23: Dos quemadores con encendido por chispa.
Fuente propia.



Figura 24: Motor eléctrico y ventilador de una caldera.
Fuente propia.

2.2.2.7 Tanque de retorno del combustible

El tanque de retorno del combustible es el elemento que cierra el sistema. Su entrada está en paralelo con la línea de distribución a los quemadores y el flujo de combustible está supeditado al regulador de presión de los mismos. Dentro del tanque hay una válvula automática de desaireación que manda los gases presentes en el combustible hacia el tanque de fuel donde son evacuados a través de su venteo. La salida de dicho tanque está conectada con la entrada de los filtros fríos, en paralelo con la línea que proviene de los tanques de servicio.

2.3 Análisis de la normativa aplicable al sistema

A continuación se expondrá toda la normativa de la IMO relacionada con el diseño y operación de la planta de vapor aplicable al buque tratado.

2.3.1 Regulación 32 del Capítulo II-1 del SOLAS

La regulación 32 estipula una serie de requisitos que las calderas en los buques deben cumplir de forma obligatoria. En este caso, todos los párrafos son aplicables excepto el 3.

En primer lugar dicta que toda caldera debe incluir en su diseño dos válvulas de seguridad con capacidad suficiente de evacuación. Seguidamente dice que todas las calderas no operadas de forma manual, es decir, de forma automática, deben tener una seguridad que cierre el flujo de combustible al quemador en caso de que la alarma de un bajo nivel de agua en la caldera, un fallo en la alimentación de aire a la caldera o apagado de la llama.

Posteriormente, expone que toda caldera que proporcione servicios esenciales para el buque debe tener dos bombas de alimentación de agua con medidas de protección contra sobrepresiones separadas aunque su entrada a la caldera puede producirse en un solo orificio. También indica que dichas calderas deben incluir al menos dos elementos que muestren el nivel de agua en la caldera y uno de ellos tiene que ser un nivel de cristal con lectura directa.

Finalmente, obliga a que todas las calderas tengan medidas para que se pueda controlar la calidad del agua así como evitar, en la medida de lo posible, la entrada de fuel u otros contaminantes en dicha agua.

2.3.2 Regulación 33 del Capítulo II-1 del SOLAS

La regulación 33 determinar los requisitos que deben cumplir todo el sistema de tuberías por donde circula el vapor.

Primeramente, dicta que todas las tuberías de vapor y elementos del circuito deben estar diseñados, construidos e instalados para poder soportar la presión máxima a la que serán sujetas.

Seguidamente, estipula que se deben instalar medidas adecuadas para drenar el agua de todas las tuberías donde haya peligro que se produzcan golpes de ariete.

Finalmente, indica que, en el caso de que una tubería o elemento del circuito con una presión nominal inferior a la presión del vapor que eventualmente pueda recibir, se debe instalar un set formado de una válvula reductora de presión, una válvula de seguridad y un manómetro.

2.3.3 Regulación 52 del Capítulo II-1 del SOLAS

La regulación 52 indica que se debe incluir un sistema de seguridad en tipo de maquinaria o caldera que la pare de forma parcial o total automáticamente en caso de una avería grave.

2.4 Descripción del procedimiento de arranque y operación del sistema

El arranque de la planta de vapor depende básicamente del arranque del sistema de generación de vapor y, más en concreto, de la caldera auxiliar ya que la caldera de gases de escape no es capaz de generar suficiente vapor para satisfacer las necesidades de los consumidores.

En este apartado se expondrán los procesos de arrancada y operación de la caldera auxiliar, el cambio de tipo de hidrocarburo (diésel o fuel) para su combustión en dicha caldera y el uso de la caldera de gases de escape para complementar la carga de la auxiliar y así mejorar la eficiencia de la planta. En el anexo I se pueden encontrar tres vídeos explicativos de los procedimientos descritos en este apartado.

2.4.1 Arranque y operación de la caldera auxiliar

2.4.1.1 Consideraciones previas antes del arranque

1. Comprobar que la caldera tiene agua en su interior. Si no es así, abrir la válvula de venteo y arrancar una de las bombas de alimentación para que la llene con el agua del tanque de recogida de condensado. Si éste tampoco tiene suficiente agua, rellenarlo a través del sistema de agua dulce del buque. Una vez la caldera esté llena, cerrar la válvula de venteo.
2. Seleccionar el modo automático en las bombas de alimentación para que rellenen paulatinamente la caldera cuando baje demasiado el nivel.

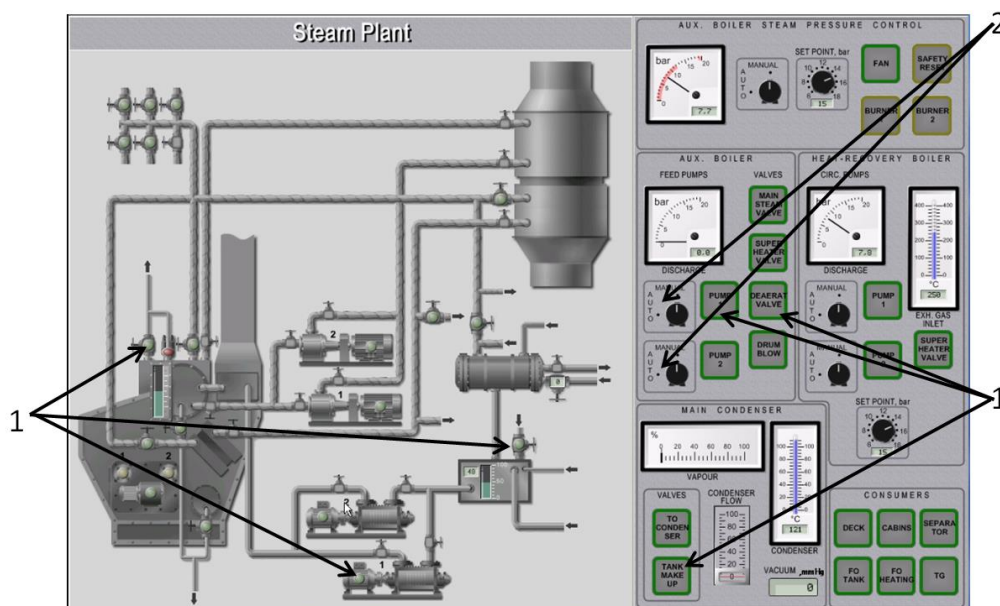


Figura 25: Procedimiento previo al arranque de la caldera auxiliar. Fuente [13]

2.4.1.2 Sistema de combustible

1. Comprobar el nivel de los tanques de combustible. Si estuviesen bajos, rellenarlos a través del sistema de transferencia de combustible.
2. Seleccionar el diésel como combustible para la caldera.
3. Abrir la válvula del bypass del precalentador de fuel.
4. Seleccionar la presión de salida del diésel mediante la regulación de la válvula de control de presión de los quemadores situada en el retorno de combustible
5. Abrir las válvulas de entrada de combustible a los quemadores.
6. Arrancar una de las bombas de combustible y seleccionar el modo automático para que la otra esté en stand-by.
7. Si el filtro frío de la bomba que se ha arrancado marca una alta caída de presión, seleccionar el modo manual, parar la bomba y arrancar la otra. Si, por el contrario, el filtro caliente es el que marca una caída de presión elevada, cambiar el filtro en servicio.

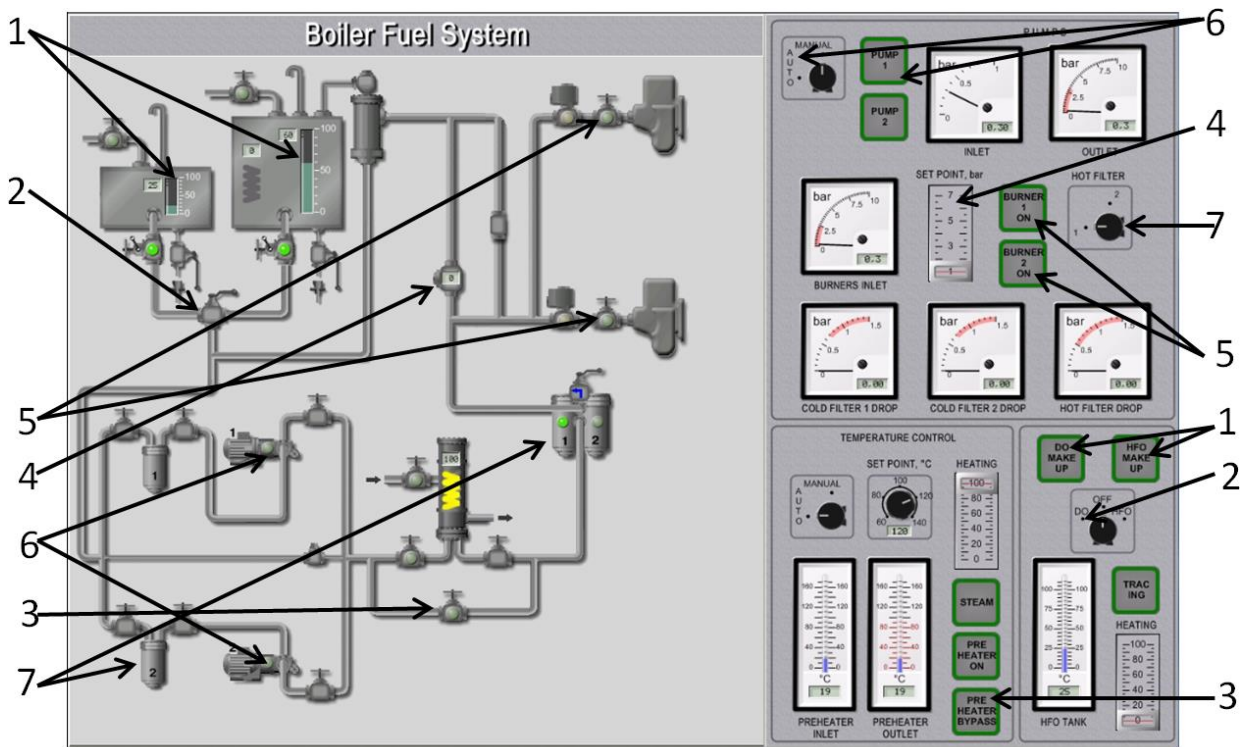


Figura 26: Procedimiento de arranque del sistema de combustible de la caldera auxiliar. Fuente [13]

2.4.1.3 Servicio de vapor

1. Comprobar que las válvulas de salida del vapor de la caldera están cerradas para no perder la presión. Si la presión en la caldera es inferior a la atmosférica, abrir la válvula de desaireación para evacuar el aire que pudiera haber entrado en ella.
2. Seleccionar el modo manual de control de la caldera.
3. Arrancar el ventilador de la caldera.
4. Dar la orden de encendido de los quemadores y comprobar que la llama aparece.
5. Escoger el valor de presión al cual se quiere que la caldera trabaje y seleccionar el modo automático de control de la caldera. De esta forma, el sistema de control apagará o encenderá los quemadores en función de las necesidades de calor para mantener la presión del vapor constante.
6. Esperar a que la presión del vapor suba hasta el punto donde los consumidores puedan trabajar normalmente.
7. Abrir las válvulas de comunicación entre la caldera y los consumidores deseados.
8. Abrir la válvula de salida del vapor de la caldera.
9. Si se precisa vapor sobrecalentado, abrir el paso de vapor saturado saliente del colector de la caldera al sobrecalentador y, de allí, permitir su paso a los consumidores que lo requieren.
10. Subministrar agua de refrigeración al condensador para que la mezcla de vapor y agua saliente de los consumidores se condense antes de llegar al tanque de recogida de condensado.
11. Pasado un tiempo después de su arracada, realizar regularmente una limpieza de los lodos y precipitados del agua de la caldera mediante la apertura de la válvula de purga.

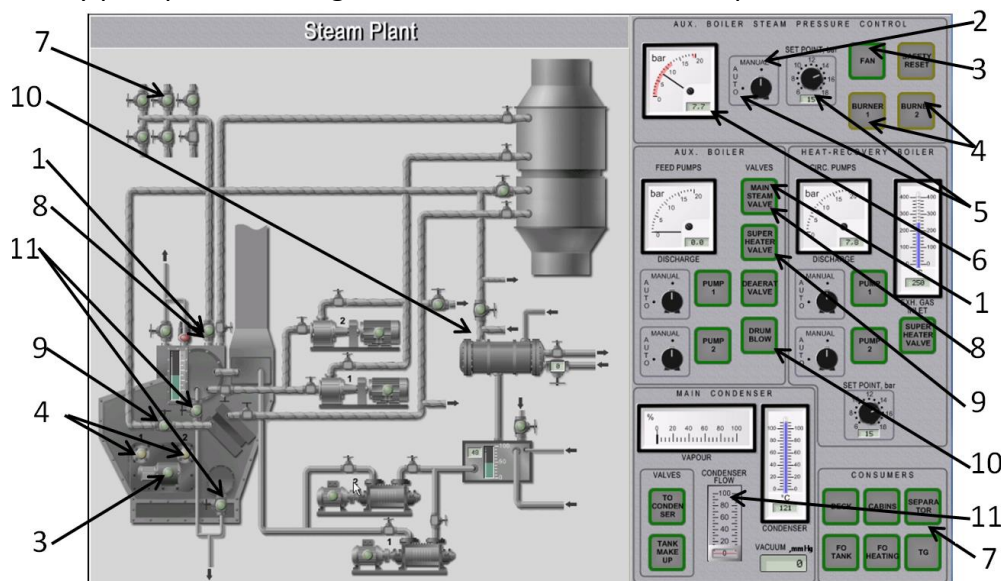


Figura 27: Procedimiento de arranque de la caldera auxiliar. Fuente [13]

2.4.2 Cambio de combustible de diésel a fuel

Con la caldera arrancada con diésel, se precisa cambiar el combustible a fuel ya que su precio de compra es muy inferior al del diésel y, por lo tanto, su uso baja mucho los costes de operación del buque. A continuación se describe el proceso para hacerlo de forma segura sin tener que parar la caldera.

1. Revisar el nivel de fuel en el tanque de servicio de la caldera y rellenarlo si no está suficientemente lleno.
2. Permitir la entrada de vapor al calentador del tanque de servicio de fuel de la caldera.
3. Esperar que la temperatura del fuel dentro del tanque sea lo suficientemente alta para poder ser bombeado.
4. Abrir el paso de vapor al precalentador de fuel del sistema de combustible y al acompañamiento de vapor de las tuberías de fuel. Seleccionar el modo automático del precalentador junto con la temperatura requerida
5. Abrir la entrada de combustible al precalentador, cerrar la válvula del bypass de dicho calentador y cambiar la selección de combustible de diésel-oil a fuel-oil.

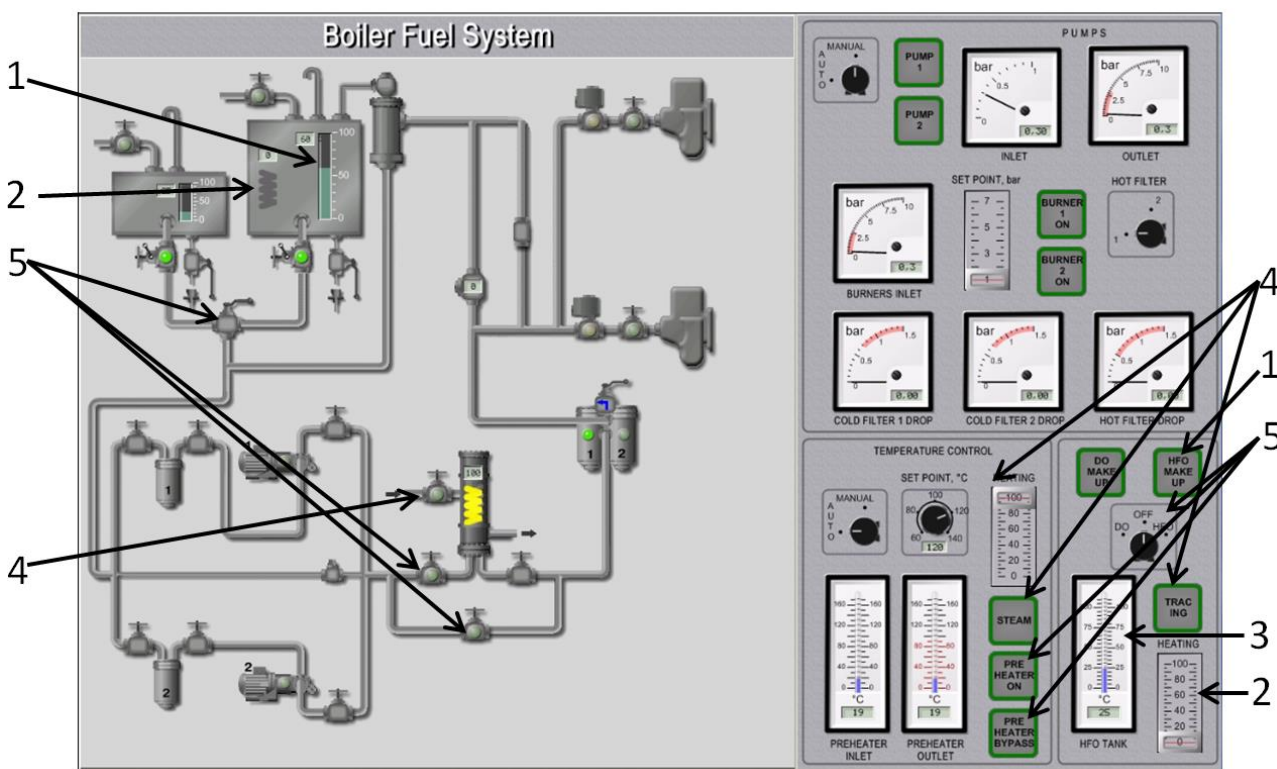


Figura 28: Procedimiento de cambio de diésel-oil a fuel-oil en el sistema de combustible de la caldera auxiliar. Fuente [13]

2.4.3 Operación de la caldera de gases de escape

Para mejorar la eficiencia de la planta de vapor, se pone en funcionamiento la caldera de gases de escape que, en función del buque, puede sostener toda la carga de la planta durante la navegación o, como es el caso del buque descrito, es un mero apoyo a la caldera auxiliar en la generación del vapor. A continuación se explica que proceso hay que seguir para tener ambas en funcionamiento

1. Comprobar que el nivel del colector superior de la caldera tiene un nivel de agua lo suficientemente alto.
2. Arrancar una de las bombas de circulación de la caldera de gases de escape en modo manual y seleccionar el modo automático de ambas para que arranquen y paren en función del nivel del colector.
3. Si se precisa vapor sobrecalentado, abrir el paso del vapor al sobrecalentador de la caldera de gases de escape y, al igual que con la caldera auxiliar abrir las válvulas de entrada a los consumidores.

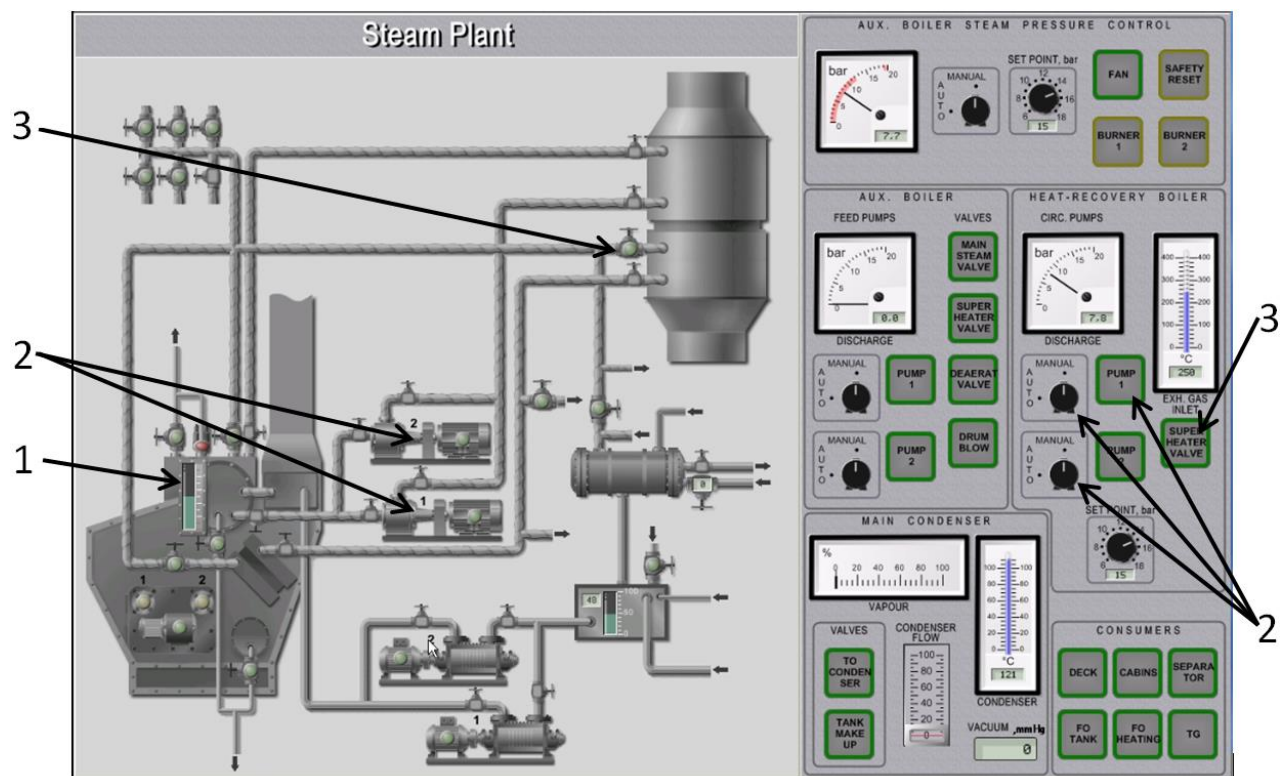


Figura 29: Procedimiento de puesta en operación de la caldera de gases de escape. Fuente [13]

2.5 Descripción de posibles averías o problemas y su resolución

Durante el periodo de tiempo de arranque o durante el tiempo de funcionamiento de la planta de vapor cabe la posibilidad de que se produzcan averías en los elementos del sistema causando una operación del sistema afectada defectuosa que, si es suficientemente grave, puede producir la parada total del sistema. En este apartado se exponen las averías más comunes que se producen en este tipo de sistemas junto con sus causas y sus soluciones.

2.5.1 Caldera auxiliar y caldera de gases de escape

2.5.1.1 Apagado de la llama del quemador

El apagado de la llama del quemador de la caldera puede tener su origen en diferentes fallos. Cabe decir que cuando se produce esta situación, el sistema de seguridad de la caldera cierra automáticamente la válvula automática de alimentación de combustible al quemador para evitar que éste entre en la caldera sin ser quemado ya que si eso se produjese, el mismo calor de la caldera o una arrancada posterior podrían inflamarlo de forma descontrolada y causar daños personales o al generador de vapor.

En primer lugar, la causa puede ser el cierre de la válvula automática de alimentación de combustible al quemador debido a un fallo en el sistema de control. La solución a esta primera causa es la revisión de la válvula para discernir si el problema tiene su origen allí y, si es el caso, desmontarla y repararla o sustituirla. Si no fuese ese el origen, es preciso revisar el sistema de control hasta encontrar el fallo en el controlador.

En segundo lugar, un apagado de la llama puede ser debido a la presencia de agua en el combustible. La existencia de agua en el sistema de combustible de la caldera puede ser causada por una fuga en el calentador de vapor del fuel, una entrada de agua por los venteos ya sea debida al mal tiempo o un baldeo descuidado en la cubierta o una mala separación en las depuradoras de fuel. Para solucionar este problema es necesario volver a depurar el combustible contaminado para asegurar la eliminación de toda el agua y tomar medidas preventivas para que no vuelva suceder como, por ejemplo, reparar el calentador de fuel si estuviese dañado, comprobar la operación de las depuradoras de fuel o proteger los venteos de los tanques afectados.

En tercer lugar, la causa puede ser el atascamiento o avería del quemador. Esto puede tener su origen en un uso de combustible de baja calidad con una alta presencia de partículas sólidas o un calentamiento insuficiente del combustible que produce una obstrucción en el quemador que impide la entrada de más combustible en la caldera. La solución se basa en desmontar y limpiar el quemador y, si está dañado, repararlo o sustituirlo. Si la causa del problema es la calidad del combustible, depurarlo durante más tiempo y si, por el contrario, la causa es una temperatura baja, revisar que el calentador de fuel está trabajando de forma correcta.

Finalmente, la extinción de la llama puede ser producida por una parada inesperada del ventilador de la caldera. Esto causa que no entre aire en la zona de combustión y, por ende, el apagado de la llama. La causa de esto es una avería en el motor eléctrico o en los propios impeler del ventilador. Para solucionar el problema es necesario hallar en que elemento del sistema está el fallo y solventarlo mediante reparación o sustitución el elemento.

2.5.1.2 Rotura de un tubo vaporizador o del sobrecalentador

Una rotura en uno de los tubos de la caldera, ya sea vaporizador o del sobrecalentado, tiene su causa en un deterioro del material del tubo que puede ser producido por diferentes sucesos como la corrosión, el sobrecalentamiento del material o la erosión del tubo. Para subsanar temporalmente el problema es necesario vaciar la caldera y taponar dicho tubo para que no entre agua hasta que la caldera pueda ser reparada. Esta avería también es posible que se de en la caldera de gases de escape

2.5.1.3 Alto nivel en el colector superior de la caldera

Que el nivel en el colector superior de la caldera implica una entrada de agua de alimentación mayor que la que sale de vapor.

La causa de este problema está relacionada con un fallo en el sistema automático de parada de las bombas que, a pesar de que el nivel en el colector es lo suficientemente alto para que el sistema de la orden de parada, siguen arrancadas. Esta situación es solucionable mediante la revisión y reparación o sustitución de los elementos de control dañados, ya sea el nivel del colector que no manda la información de forma correcta, el controlador que no procesa bien dicha información y manda una señal errónea a las bombas o el sistema de arranque de la bomba que malinterpreta dicha señal.

2.5.1.4 Bajo nivel en el colector superior de la caldera

Un bajo nivel en el colector superior de la caldera es síntoma de que una cantidad superior de vapor está saliendo de ésta comparado con la entrada de agua de alimentación. Este problema causa la activación del sistema de seguridad de la caldera, haciendo que se corte el suministro de fuel a los quemadores para evitar que la poca cantidad de agua todavía presente en la caldera no sea evaporada, cosa que si se produjese, podría resultar en un sobrecalentamiento de los tubos vaporizadores los cuales correrían el riesgo de deteriorarse. Esto puede ser debido a diversas causas.

En primer lugar, la causa puede ser una avería de la bomba de alimentación. Esto hace que no entre agua en el colector de la caldera y paulatinamente se quede sin agua. La acción correctiva en este caso es revisar la bomba y/o el motor en busca del fallo y repararlo o sustituir el elemento dañado o la bomba entera.

En segundo lugar, el percance puede ser causado por un fallo en el sistema de control de arranque de las bombas de alimentación, ya sea que el nivel del colector no proporciona una lectura correcta al controlador o que el propio controlador no envía la señal de arrancada a las bombas. En este caso, es necesario revisar los elementos del sistema de control para encontrar el defectuoso y repararlo o sustituirlo.

En tercer lugar, el contratiempo puede tener su causa en un fallo en el sistema de control de parada de las bombas de circulación de la caldera de gases de escape. Al contrario que la causa anterior, el funcionamiento erróneo del sistema produce que las bombas de circulación no paren, haciendo bajar el nivel del colector demasiado

Finalmente, el problema puede ser causado por una rotura o fuga en alguno de los tubos o colectores de la caldera. En este caso, se pueden presenciar otros síntomas como una llama irregular con un chisporroteo causado por la evaporación instantánea del agua que cae cuando entra en contacto con la llama. La solución en este caso, al igual que cuando se produce una rotura de alguno de los tubos de dentro de la caldera, se debe vaciar la caldera y, dependiendo de la gravedad de la fractura y de los medios a bordo, reparar la fuga o dejar la caldera fuera de servicio hasta que pueda ser reparada correctamente.

2.5.1.5 Alta presión del vapor en la caldera

Una alta presión de vapor es el resultado de un aporte excesivo de calor por parte o del quemador o de los gases de escape lo que hace que se genere más vapor del que se precisa en los consumidores. Esta situación si se mantiene demasiado tiempo puede producir la apertura de las válvulas de seguridad para evitar que la caldera estalle. A continuación se enumeran las causas posibles para este problema.

En el primer caso, el problema se debe a que los quemadores no se apagan de forma automática cuando la presión del vapor llega al valor establecido. Esto causa que demasiada agua se vaporice, causando dicha subida de presión. La solución en este caso es, primeramente, seleccionar el modo manual en la caldera para poder parar los quemadores y, posteriormente, revisar el sistema de control de la presión para encontrar el elemento que falla y repararlo o sustituirlo, ya sea el presostato que no manda la información correctamente al controlador, el controlador que no interpreta bien la información o que el actuador de la válvula de entrada del combustible no efectúa en orden de cerrado cuando se le manda.

En el segundo caso, la causa de la alta presión es un flujo excesivo de gases de escape que calientan demasiado el agua en la caldera de gases de escape. Es en este caso, no es posible regular dicho flujo de gases de escape por lo tanto, es necesario redirigir este vapor sobrante hacia el condensador directamente sin pasar por los consumidores. Esta situación puede ser debida a una excesiva temperatura de los gases de escape del motor causada por un mal enfriamiento del aire de admisión.

2.5.1.6 Baja presión del vapor en la caldera

Al contrario que el problema anterior, una baja presión del vapor en la caldera es causada por una aportación insuficiente de calor. Esto causa una baja producción de vapor que, si se mantiene durante un tiempo excesivo, puede producir problemas graves en otros sistemas del buque, especialmente en de combustible, pudiendo causar una parada de los motores principales y auxiliares o de la caldera misma a causa de un calentamiento insuficiente del fuel. Seguidamente, se exponen las principales causas a este problema.

Primeramente, el origen de este contratiempo puede ser un fallo en el sistema de control del encendido de los quemadores los cuales no arrancan cuando la presión baja del valor establecido, causando esta bajada. La solución en este caso es, antes que nada, seleccionar el modo manual de la caldera y arrancar los quemadores para que la presión vuelva a subir y, posteriormente, inspeccionar dicho sistema de control para encontrar y reparar o sustituir el elemento dañado ya sea el presostato de la caldera, el controlador del sistema de control o el mecanismo de encendido del quemador.

En segundo lugar, este problema puede ser debido a una alta cantidad de hollín y suciedad adherida en los tubos vaporizadores. Esto causa una transmisión de calor pobre entre los tubos y los gases calientes de la combustión que desemboca en la baja producción de vapor. La solución se basa en realizar un soplado del hollín para deshacerse de la suciedad y, en caso de dicho soplado no se haya hecho durante el tiempo suficiente para que el hollín cristalice, es preciso proceder con una limpieza manual más exhaustiva para retirarlo. Esta situación también se puede dar en la caldera de gases de escape

Finalmente, una baja presión de vapor en la caldera puede ser el resultado de una fuga de vapor en alguna parte del sistema, ya sea dentro de la caldera auxiliar o la de gases de escape o en el circuito de distribución de vapor. En momentos en los que hay una demanda de vapor elevada, una fuga de un tamaño considerable puede producir este descenso de la presión ya que la caldera no es capaz de generar el suficiente vapor para compensar dicha fuga. Para revertir esta situación es necesario encontrar la fuga y remediarla.

2.5.2 Bombas de alimentación y circulación

2.5.2.1 Baja presión en la descarga de las bombas de alimentación o circulación

Que la presión en la descarga de las bombas de agua, alimentación o circulación, indica que se ha producido alguna avería dentro de la bomba o en el motor y, por lo tanto, no es capaz de levantar la presión del agua. La solución de esta situación, en primer lugar, es arrancar, si fuese necesario, la otra bomba de alimentación para que la caldera auxiliar no se vacíe de agua o que se pare la circulación en la de gases de escape. Si el problema está en la caldera de gases de escape, arrancar la otra bomba de circulación. Seguidamente, es preciso revisar la bomba y su

motor para encontrar el elemento averiado y, finalmente, repararlo o sustituirlo o sustituir toda la bomba si el daño es demasiado importante.

2.5.3 Condensador y tanque de recogida de condensados

2.5.3.1 Alta salinidad del agua de alimentación

Una alta concentración de sal en el agua puede ser un problema potencialmente grave si se produjese un depósito de sal en alguna de las tuberías del circuito de alimentación o tubo de la caldera lo inutilizaría completamente.

La causa de esta alta cantidad de sal en el agua se debe a una fuga en el condensador donde el agua salada, que tiene más presión, se introduce en el circuito del condensado con una presión inferior. La solución se basa en el desmontaje del condensador y su posterior revisión para encontrar la fuga que deberá ser subsanada.

2.5.3.2 Presencia de vapor a la salida del condensador

Que a la salida del condensador haya vapor implica que el agua de refrigeración en el condensador no es capaz de condensar todo el vapor que entra. Puede haber diferentes causas a esta falta de enfriamiento.

En primer lugar, el problema puede deberse a un fallo en la bomba de agua salada de refrigeración que no es capaz de suministrar el caudal necesario para dicho enfriamiento. En este caso, es necesario revisar la bomba para encontrar la avería y repararla o sustituir el elemento dañado o la bomba entera.

En segundo lugar, la causa puede ser debida a un mal posicionamiento de la válvula de regulación del caudal de refrigeración que no permite que el flujo necesario de agua salada entre en el condensador, imposibilitando un enfriamiento óptimo. La solución en este caso es revisar dicha válvula y determinar la causa de dicho mal posicionamiento ya sea por un agarrotamiento debido a los depósitos de sal o por un elemento dañado. En cualquier caso, es necesario reparar la válvula o sustituirla.

Finalmente, un mal enfriamiento en el condensador puede ser causado por suciedad o incrustaciones de vida marina en las superficies de transferencia del calor en la zona de agua salada. Eso reduce considerablemente el flujo térmico entre los dos fluidos causando la baja refrigeración en el condensador. Para deshacerse de este problema es necesario desmontar el condensador y limpiarlo.

2.5.3.3 Baja temperatura a la salida del condensador

Una temperatura excesivamente baja a la salida del condensador es causada por un exceso de refrigeración de la misma. La consecuencia de esto es una disminución de la producción de vapor en la caldera ya que ésta necesita más energía térmica para evaporar el agua debido a que su temperatura es inferior a lo estimado.

La causa, al igual que con la misma situación del problema anterior, es un mal posicionamiento de la válvula de regulación del caudal de refrigeración que deja pasar demasiada agua salada al condensador, haciendo que el condensado se enfríe demasiado. La solución este caso, es la revisión de dicha válvula y eliminar los depósitos de sal o reparar o sustituir el elemento dañado.

2.5.3.4 Bajo nivel en el tanque de recogida de condensado

Un bajo nivel de agua en el tanque de recogida de condensado implica que hay una pérdida de vapor o agua en algún lugar del sistema que produce una disminución de la cantidad de agua en el sistema. Para solucionar dicho problema es preciso encontrar dicha fuga, ya sea de vapor o agua, y remediarla.

2.5.3.5 Alto nivel en el tanque de recogida de condensado

La causa de que se produzca un alto nivel en el tanque de condensado es la entrada indeseada de agua en el sistema que puede tener diversas causas.

En primer lugar, el problema puede ser debido a un funcionamiento erróneo del sistema de control de la bomba de relleno del tanque el cual mantiene la bomba arrancada después de que el nivel de agua sea el suficiente. El remedio en este caso es la revisión de dicho sistema de control para encontrar el elemento que falla, ya sea el nivel del tanque, el controlador o el sistema de arranque de la bomba.

En segundo lugar, la causa puede ser la entrada de agua en algún consumidor, como un calentador de agua sanitaria, o en el condensador. En este caso, también es posible que se detecte un aumento en la salinidad del agua presente en el circuito. La solución pasa por encontrar la fuga en el elemento que introduce agua en el circuito, ya sea un consumidor o el condensador, y repararla.

2.5.3.6 Presencia de hidrocarburos en el tanque de recogida de condensado

La presencia de hidrocarburos en el tanque de recogida de condensado es debida una fuga en la parte final (ya que allí el fuel tiene más presión que la mezcla de vapor y agua) de alguno de los calentadores de fuel o aceite. Esta situación es detectable gracias a la mirilla del tanque colocada a una altura igual que el nivel estimado dentro del tanque ya que el combustible fugado, al tener menor densidad, se sitúa en la superficie del agua formando una película de color oscuro fácilmente reconocible. Este problema se debe solucionar de forma rápida ya que si el compuesto oleoso entra en la caldera puede causar una bajada en la transferencia del calor entre los tubos de la caldera y el agua, pudiendo producir un quemado de los tubos.

Dicha solución se basa en parar y despresurizar la caldera para poder acceder al colector superior y revisar que no hay hidrocarburos en la superficie del agua. Si lo hubiese, es preciso vaciar la caldera hasta que el nivel llegue a la parte inferior del colector superior. Una vez allí, limpiar todos los restos de fuel y volver a rellenar la caldera. Posteriormente, es necesario realizar el mismo procedimiento con el tanque de recogida de condensado para eliminar el combustible allí presente. Finalmente, es necesario revisar todos los calentadores de fuel y reparar las grietas y fugas.

2.5.4 Sistema de combustible de la caldera

2.5.4.1 Alta presión del combustible

Una alta presión del combustible no es indicativo que dicha presión sea superior a la del diseño del sistema, sino que hace referencia a que la presión en el sistema es superior a la establecida en el regulador de presión del retorno de combustible. La causa de este problema es un mal funcionamiento de dicho regulador de presión que no permite el suficiente flujo de combustible al tanque de retorno, haciendo que se acumule en el sistema y, por ende, suba la presión. Diversos motivos pueden causar esta avería del regulador.

En primer lugar, puede deberse a un agarrotamiento del regulador que no le permite cambiar de posición para dejar pasar más fuel. En este caso, la primera acción a tomar es cambiar el combustible de fuel a diésel. Esto hará que, si el atascamiento ha sido producido por los componentes altamente viscosos del fuel, se disuelva el tapón y que el regulador recupere sus funciones. Si este paso no surge el efecto esperado, es necesario desmontar el regulador y limpiarlo. Si existe un daño permanente en algún elemento, es preciso sustituirlo.

En segundo lugar, la causa puede ser un fallo en el sistema de control de dicho regulador. Como en otros sistemas de control, el problema puede ser debido a que el potenciómetro de selección de presión no manda la indicación correcta al controlador, o que el controlador no interpreta bien la información y manda una orden incorrecta al regulador o que el actuador del regulador no lee de forma correcta la orden del controlador. La solución se basa en la revisión del sistema de control para encontrar el elemento que falla y repararlo o sustituirlo.

2.5.4.2 Baja presión de combustible

Una situación de baja presión de combustible implica que, o bien las bombas no están operando de forma correcta o que algún elemento o fuga en el circuito está reduciendo la presión.

En el primer caso, el problema tiene su raíz en alguna avería en las bombas o su motor que impide que suba la presión del combustible. Si el problema es este, lo necesario entonces es arrancar la otra bomba, revisar la que está averiada para encontrar el elemento dañado para que pueda ser reparado o sustituido o, si el daño es demasiado importante, sustituir la bomba o el motor entero.

En el segundo caso, los elementos que pueden entorpecer el paso del combustible y, por lo tanto, hacer que caiga su presión son el regulador de presión o el filtro caliente. Si el problema estuviese en el regulador, la causa y el modo de proceder para su solución es el mismo que el expuesto en el primer caso de la situación de *alta presión de combustible*. En cambio, si el problema está situado en el filtro, la causa más probable es un atascamiento debido a la suciedad y partículas sólidas presentes en el fuel. La solución en este caso es poner en servicio el otro filtro caliente y retirar el filtro sucio para su limpieza. Una vez limpio, es recomendable revisar el filtro en busca de daños.

Finalmente, la presencia de una fuga en alguna parte del sistema puede llegar a producir dicha bajada de presión. En este caso lo preciso es revisar el circuito en busca de ella y repararla.

2.5.4.3 Alta temperatura del combustible

Una subida excesiva de la temperatura del combustible se debe a un calentamiento desmesurado del mismo, ya sea en el tanque o en precalentador. La causa de esto es una avería en algún elemento del sistema de control de la temperatura el cual permite un paso demasiado grande de vapor al calentador. Dicha avería puede estar situada en la válvula de regulación del caudal de vapor al calentador, en el sensor de temperatura, en el controlador del sistema o en el selector de la temperatura. Al igual que con los sistemas automáticos anteriormente explicados, lo necesario es revisar el sistema para encontrar el componente dañado y repararlo o sustituirlo.

2.5.4.4 Baja temperatura del combustible

Una bajada excesiva de la temperatura del combustible se debe a una falta de calentamiento causada por una avería en los calentadores del combustible presentes en el circuito.

En primer lugar, al igual que con el problema de una *alta temperatura de combustible*, el causante puede ser un fallo en el sistema de control de temperatura, con la diferencia de que, en este caso, no permite un paso suficiente de vapor. La solución de esta situación es idéntica al problema especificado.

En segundo lugar, una pérdida de vapor antes de llegar al calentador debida a una fuga produce un caudal de vapor inferior en el calentador, resultando en un pobre calentamiento del fuel. En este caso, lo necesario es revisar el sistema de distribución del vapor a los consumidores para encontrar el lugar de la fuga y repararla.

Finalmente, un fallo en el cerrado en la válvula de bypass del precalentador de fuel puede causar que una parte del combustible que se bombea a los quemadores pase por dicho bypass y, por lo tanto, no se caliente. Si dicha cantidad de fuel es considerablemente grande puede hacer que, al volver a ser mezclado con el fuel que sí ha sido calentado, baje la temperatura de la mezcla lo suficiente para que no pueda pasar correctamente por el filtro caliente o por los quemadores. Las acciones correctivas en este caso son el desmontaje de la válvula, su limpieza y revisión para encontrar la causa del cerrado incompleto y reparar o sustituir el elemento dañado o sustituir la válvula entera si el daño demasiado importante.

2.5.4.5 Bajo nivel en el tanque de fuel o diésel

Un bajo nivel en el tanque de fuel o diésel, en principio, no tiene porqué ser debida a una avería a causa del consumo de los quemadores. Sin embargo, si se produce más a menudo de lo que se estima o el nivel, después de rellenar el tanque, baja demasiado rápido, la causa puede ser una fuga de fuel en algún lugar del sistema. Por lo tanto, para revertir esta situación, es necesario revisar el circuito de combustible para encontrar la fuga y repararla.

Capítulo 3. Turbo-bombas para la carga

3.1 Introducción

Para la descarga del crudo en el puerto, el buque dispone de un sistema de bombeo el cual debe tener la potencia suficiente para vaciar los tanques de carga en el menor tiempo posible. Para hacerlo, es necesario un tipo de máquinas para su accionamiento que desarrollen una gran potencia (de entre 1 y 10 MW) pero que, a la vez, no tengan un tamaño extremadamente grande. Estos rangos de potencias impiden que el accionamiento de dichas bombas sea producido por motores eléctricos ya que, para producir suficiente electricidad para operar dichos motores de tal potencia, se precisaría un sistema de generación eléctrica demasiado grande. El uso de motores de combustión interna como accionamiento también se descarta ya que para conseguir tales potencias son necesarios motores demasiado grandes. Por lo tanto, la única solución para mover las bombas para la descarga son las turbinas de vapor ya que su relación potencia/tamaño es mucho mayor que cualquier otra máquina motriz.

Dichas turbinas funcionan mediante la transformación de la presión y temperatura del vapor en energía cinética en las toberas situadas en el estator de la turbina. Una vez el vapor tiene una alta velocidad, es conducido por los álabes, donde choca con ellos y les transmite parte de esta energía cinética. Esto causa que las coronas de álabes se empiecen a mover, haciendo girar el eje de la turbina. Esta doble transformación se muestra en la Figura 30.

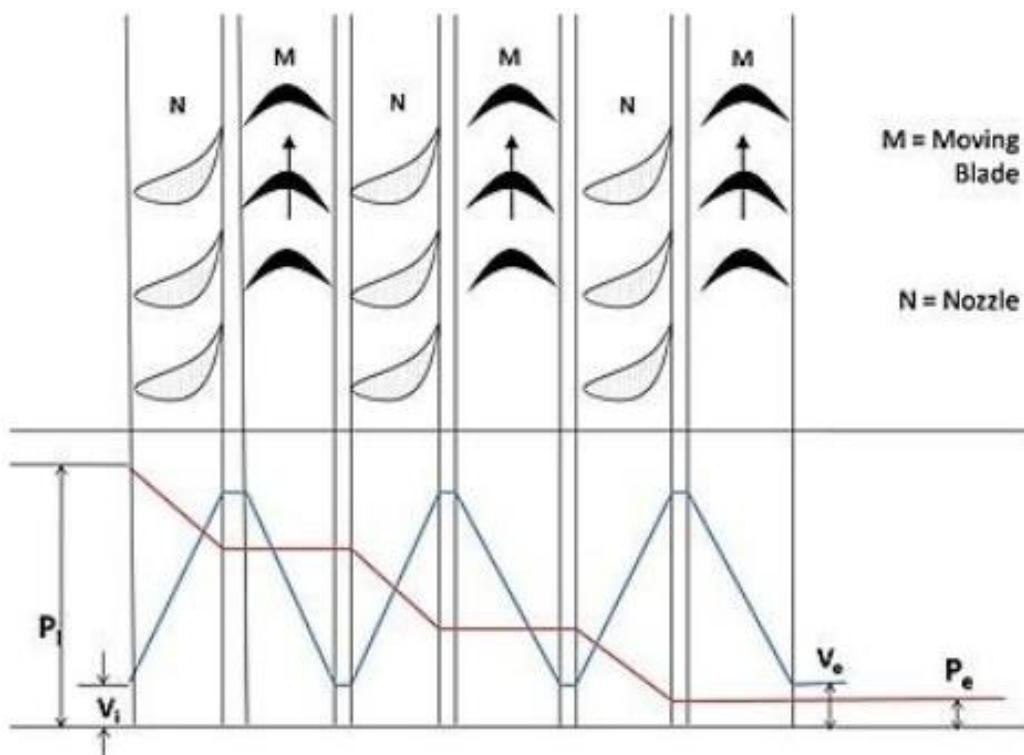


Figura 30: Proceso de transformación de la energía del vapor en una turbina. Fuente [60].

En lo referente a las bombas, suelen ser bombas centrífugas ya que, a diferencia de su contraparte, las bombas alternativas, tienen una cantidad inferior de elementos en su composición (válvulas de aspiración y descarga, pistones, sellos de los pistones, etc.). Esto repercute en la necesidad de un menor mantenimiento. Otra razón por la cual se usan bombas centrífugas es que su relación entre capacidad de descarga y su tamaño es más alto en comparación con otro tipo de bombas y, por lo tanto, pueden ser situadas más fácilmente a bordo.

El espacio donde están situadas las bombas se llama, convenientemente, sala de bombas y, debido a que por la bomba circula el crudo, es considerado un espacio de carga. Esto impide que las turbinas estén en el mismo espacio ya que está prohibida la presencia de maquinaria en los espacios de carga. Por lo tanto, las turbinas están situadas en un espacio de máquinas adyacente a la sala de bombas con ambos espacios separados por un mamparo hermético por el cual atraviesan los ejes de transmisión de las bombas, tal y como se muestra en la figura 31. Para mantener el hermetismo del mamparo los ejes lo traspasan dentro de un pasamamparo. La localización de dicha sala de bombas en el buque suele ser entre la sala de máquinas y los tanques de carga con las bombas situadas lo más bajo posible para tener una buena succión de la carga.

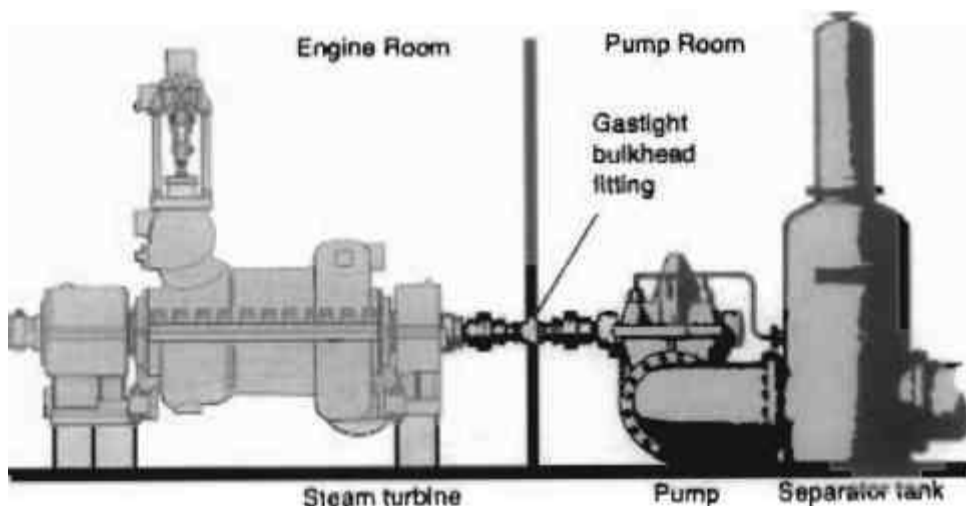


Figura 31: Ilustración de un conjunto de turbina y bomba de descarga de crudo en un petrolero. Fuente [49].

3.2 Descripción del sistema

El sistema de turbo-bombas para la descarga del crudo consta principalmente de dos turbo-bombas accionadas por una turbina de vapor cada una a través de una reductora de velocidad. A parte de las turbinas, el sistema incorpora un servicio de aceite para la lubricación de los elementos de la turbina y los de la reductora.

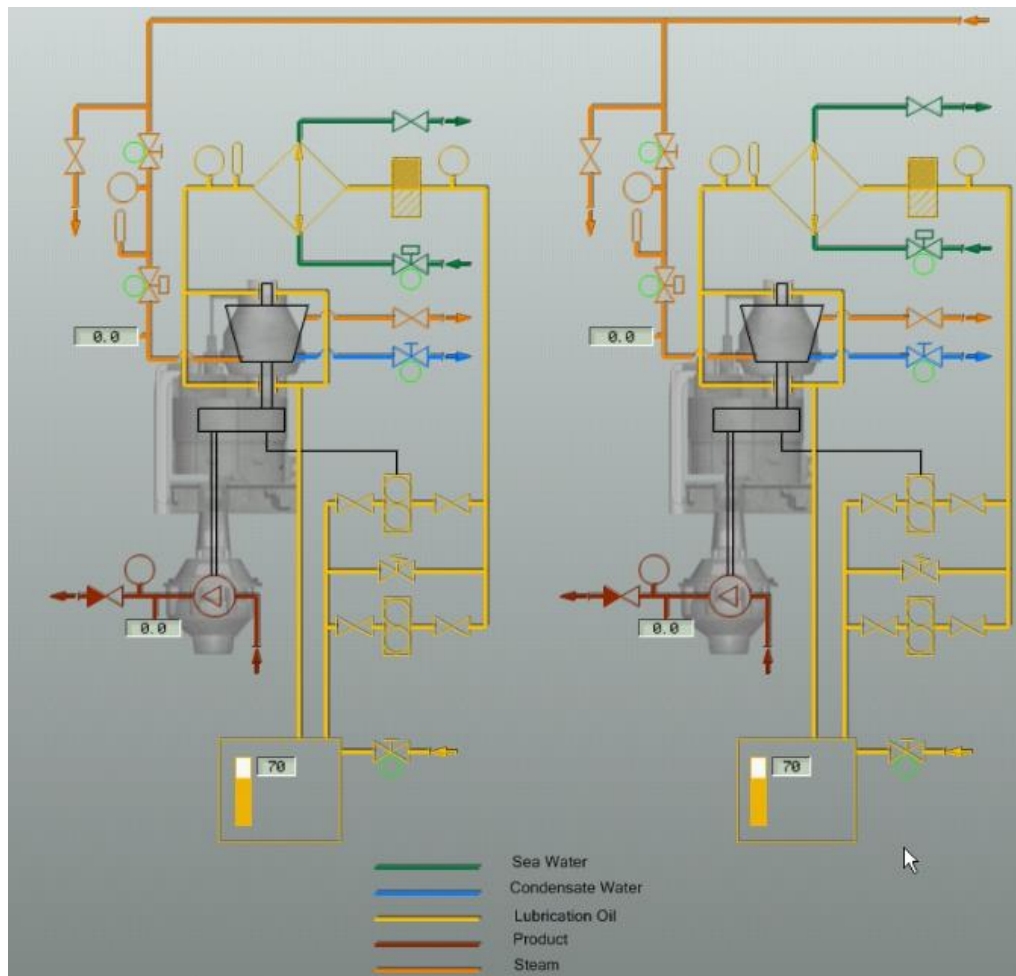


Figura 32: Esquema del sistema de las turbo-bombas para la descarga del crudo del buque. Fuente [13]

3.2.1 Turbinas

Las turbinas de vapor que accionan las bombas son de acción con una presión de entrada del vapor de entre 6 y 16 bar con una temperatura de entre 200 y 225°C.

El rango de velocidades de rotación en operación normal de las turbinas es de 0 a 8000 rpm. Si dicha velocidad supera las 8100, el sistema de seguridad por sobrevelocidad se activaría y pararía la turbina de forma automática. Para establecer la velocidad de giro deseada, cada turbina dispone de un sistema de control gobernado por un selector el cual es usado por el operador para controlar la rotación

Cada turbina incorpora una válvula de drenaje por donde se evacua el condensado que se pudiera haber generado dentro de la turbina después de su uso. Este elemento tiene su importancia ya que, si no se drena la turbina antes de arrancar, el vapor entrante arrastra el agua haciéndola chocar contra los álabes, pudiendo causar averías importantes ya que las paletas de una turbina están no diseñadas para recibir impactos de agua a alta velocidad y su integridad estructural se podría ver afectada de forma considerable.

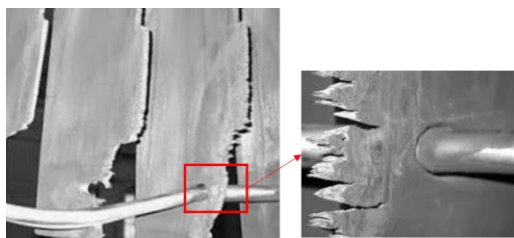


Figura 33: Paletas de una turbina de vapor erosionadas a causa del impacto de gotas de agua líquida. Fuente [4].

Las turbinas también dispone la entrada del vapor en la turbina previa a la arrancada y un virador cuya función es la de calentar de forma uniforme todos los elementos de la máquina para que, al ser arrancada, no se produzcan vibraciones causadas por la fricción entre componentes debida a la contracción de los materiales todavía fríos. Es indispensable la presencia del virador para hacer que el calentamiento sea uniforme por el mismo motivo ya que un calentamiento parcial de la turbina puede causar que solo parte de una pieza se dilate produciendo flexiones que pueden resultar en rozamientos. El sistema de seguridad también para de forma automática si detecta demasiada vibración en la turbina en su arranque.

Aunque no está especificado en las características de las turbinas, deben llevar incorporadas una serie de sellos de laberinto en el principio y a la salida del eje de la turbina que evitan las fugas de vapor y la entrada de aire en la turbina mediante el ranurado de dicho eje al principio y a la salida junto con otro ranurado en el estator que encaja con el primero, tal y como se muestra en la Figura 34. Esto produce que el vapor saliente o aire entrante deba pasar por un conducto con muchos cambios de dirección que causa la bajada de energía cinética y, por lo tanto, puedan entrar ni salir de la turbina.

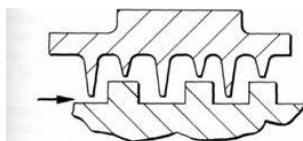


Figura 34: Ilustración de un sello de laberinto. Fuente [41].

Finalmente, el vapor saturado o un poco húmedo (mezcla de vapor y una pequeña parte de agua que ha condensado dentro la turbina) que sale de la turbina es enviado al condensador de la planta de vapor donde vuelve a su estado líquido para su regreso a la caldera. Cuando hay turbinas arrancadas, es muy importante la vigilancia el caudal de agua de mar en dicho condensador ya que un flujo demasiado pequeño de agua de refrigeración puede producir que no todo el vapor condense. Esto ocasiona una pérdida del vacío dentro del condensador que se transmite a la salida de la turbina haciendo que la presión de descarga del vapor suba y que, por lo tanto, la potencia generada en la turbina disminuya a causa de que el salto de presiones a la entrada y a la salida es inferior a lo esperado.

3.2.2 Reductora y bombas de descarga

Acoplado al eje del rotor de la turbina hay un sistema de reducción de la velocidad de giro mediante engranajes. Esto se debe a que, para la operación de la bomba, es necesaria una velocidad muy inferior (de entre 1000 y 1500 rpm), es decir, una reducción de 5:1, similar a la mostrada en la Figura 35. La reductora también está acoplada a la bomba del circuito de aceite de la turbina para mantener la presión del lubricante sin depender de bombas con un accionamiento externo. Dicho circuito de aceite también discurre por la reductora para evitar que sus componentes entren en contacto metal contra metal y se averíen a causa de la alta fricción debida a las fuerzas ejercidas sobre ellos.

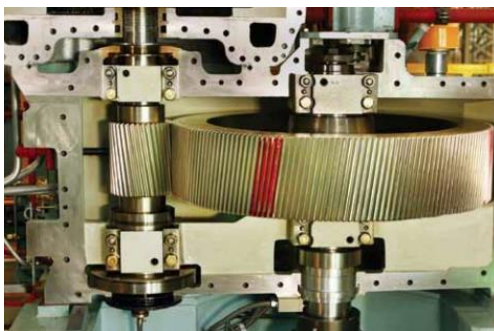


Figura 35: Reductora de una turbo-bomba. Fuente [6].

Las bombas son bombas centrifugas con un caudal de descarga de aproximadamente 1300 m³/h con una velocidad de rotación de aproximadamente 1500 rpm.

A pesar de no tener las especificaciones exactas de su composición, las bombas de descarga probablemente tengan rodets dobles (dos rodets en el mismo eje de la bomba) y sean de doble aspiración (el fluido entra al rodete por dos sitios distintos), como la gran mayoría de bombas de descarga de crudo de buques petroleros reales. La primera característica (rodets dobles) permite un aumento de caudal de descarga manteniendo su altura de impulsión. La segunda (doble aspiración) consigue un repartimiento de los esfuerzos axiales en la bombas así como una menor altura de aspiración comparado con una bomba con una sola aspiración.

Sus carcasas seguramente estén divididas en dos volutas o espiral con un ángulo entre ellas de 180° con la intención de compensar las cargas radiales en el impeler y minimizar los esfuerzos radiales en los cojinetes.



Figura 36: Modelo de una bomba centrifuga con doble aspiración y doble voluta. Fuente [7].

3.2.3 Sistema de lubricación

El sistema de lubricación es el encargado de proporcionar aceite lubricante con una temperatura y presión adecuadas a todas las partes móviles de la turbina y la reductora.

El sistema está compuesto de un tanque de almacenamiento de aceite, una bomba de pre-lubricación, una bomba de lubricación acoplada a la reductora, dos filtros de aceite en paralelo y un enfriador de aceite que utiliza agua salada como refrigerante.

3.2.3.1 Tanque de almacenamiento de aceite

El tanque de almacenamiento es donde cae el aceite por gravedad después de salir de la turbina o reductora y es de donde las bombas lo aspiran. Su nivel es constantemente monitoreado y dispone una línea para poder ser rellenado.

3.2.3.2 Bomba de pre-lubricación

La bomba de pre-lubricación es elemento que hace circular el aceite lubricante por todo el circuito antes de la puesta en marcha de la turbina o cuando, una vez arrancada, todavía no tiene suficientes revoluciones para accionar la bomba de lubricación. Es una bomba de engranajes con una presión de descarga de 1,2 bar accionada por un motor eléctrico.

3.2.3.3 Bomba de lubricación

La bomba de lubricación es una bomba también de engranajes con una presión de descarga de entre 1,3 y 2 bar (en función de la carga de la turbina). Está accionada por la turbina mediante su acoplamiento a la reductora, por lo tanto, necesita que la turbina esté girando a ciertas revoluciones para que su funcionamiento correcto. Dicho accionamiento previene el tener una bomba eléctrica funcionando durante toda la operación de la turbo-bomba.

3.2.3.4 Filtros de aceite

Después de las bombas, el aceite por un filtro que retiene las impurezas sólidas presentes en él provenientes de la maquinaria o generadas por la degradación de dicho aceite. En el sistema hay dos filtros en paralelo para que, cuando haya una alta caída de presión o una avería en el filtro en operación, se pueda poner a trabajar el otro sin tener que parar la turbo-bomba.

3.2.3.5 Enfriador de aceite

Antes de entrar en la turbina o la reductora, el aceite pasa por un enfriador de agua salada que baja su temperatura. El caudal de agua salada que entra en el enfriador se regula mediante el grado de apertura de la válvula de entrada al enfriador, el cual es seleccionado manualmente por el operador. También incorpora un sistema automático que varía dicho grado de apertura de la válvula en función de la temperatura de salida del aceite la cual es seleccionada por el operador.

3.3 Análisis de la normativa aplicable al sistema

En este apartado se tratará la normativa de la IMO en lo que respecta al lugar donde se sitúan turbo-bombas para la carga: la sala de bombas para la carga.

3.3.1 Párrafo 5 de la regulación 4 del capítulo II-2 del SOLAS

En este párrafo explica específicamente las medidas necesarias para evitar la generación de una fuente de ignición en la zona de carga de los petroleros. Como es de suponer, no todos los apartados hablan específicamente de la sala de bombas para la carga, así que solo se expondrán aquellos que si sean aplicables a dichas zonas.

En primer lugar, el apartado 5.1.1 especifica que toda sala de bombas para la carga debe estar situada a proa de cualquier espacio de máquinas.

Seguidamente, en el apartado 5.2.5 se indica que los elementos de iluminación dentro de la sala de bombas para la carga deben ser herméticos así como tener una resistencia suficiente para que no comprometan ni la integridad ni la hermeticidad de los mamparos o cubiertas donde están situados.

El apartado 5.4.1 hace referencia a las medidas de ventilación dentro de dichas salas. Primeramente, dicta que la ventilación debe ser mecánica por ventiladores anti-chispas con una capacidad de renovación de aire de 20 veces el volumen total de la sala por hora. También indica que la descarga de dicha ventilación se debe producir en una zona segura por encima de la cubierta principal. Finalmente, especifica que las aspiraciones de la ventilación deben estar distribuidas de tal manera que haya una buena ventilación en todo el espacio.

Finalmente, el apartado 5.10 se explican las normas en lo referente a la protección dentro de las salas de bombas. En primer lugar, dicta que todas las bombas instaladas en dicho espacio y que están accionadas a través de ejes que atraviesan los mamparos de la sala de bombas para la carga deben incorporar sensores de temperatura en los cojinetes, los sellos del eje en el mamparo y en las cubiertas de las bombas. Seguidamente, indica que el encendido de la iluminación (exceptuando la de emergencia) y el de la ventilación debe estar interconectado para que cuando se encienda la luz en el espacio, la ventilación arranque. También dice que un fallo en la ventilación no debe causar el apagado de la iluminación. Finalmente, informa de que debe haber un sistema de monitorización del nivel de sentinas y de la concentración de hidrocarburos en la sala de bombas para la carga. Este último debe tener los sensores situados de forma que se detecten las fugas de hidrocarburos de forma inmediata y que active una alarma en la sala de bombas para la carga, sala de máquinas, sala de control de carga y en el puente cuando haya una concentración de hidrocarburos gaseosos superior al límite preestablecido el cual nunca puede ser superior al 10% de la concentración mínima para que sea inflamable.

3.3.2 Párrafo 2.4 de la regulación 9 del capítulo II-2 del SOLAS

En el párrafo 2.4 de la regulación 9 hace referencia a la integridad contra el fuego de los mamparos y cubiertas de las salas de bombas así como la especificación, en el apartado 2.4.2.6, que las claraboyas de dichos espacios deben estar hechas de acero y no de cristal y se deben poder cerrar desde el exterior de la sala de bombas para la carga.

A continuación se incluyen las especificaciones de integridad contra el fuego de los mamparos y cubiertas de las salas de bombas dependiendo del espacio que hay adjunto.

Espacio	Sala de bombas
Estaciones de control	-
Pasillos	-
Zonas de acomodación	-
Escaleras	-
Espacios de servicio (riesgo bajo)	-
Espacios de máquinas con categoría A	A-0
Otros espacios de máquinas	A-0
Sala de bombas	*
Espacios de servicio (riesgo alto)	-
Cubierta exterior	*

Tabla 3: Clasificación de la integridad contra el fuego de las cubiertas de la sala de bombas en función del espacio adyacente. Fuente [34]

Espacio	Sala de bombas
Estaciones de control	A-60
Pasillos	A-60
Zonas de acomodación	A-60
Escaleras	A-60
Espacios de servicio (riesgo bajo)	A-60
Espacios de máquinas con categoría A	A-0 ^d
Otros espacios de máquinas	A-0
Sala de bombas	*
Espacios de servicio (riesgo alto)	A-60
Cubierta exterior	*

Tabla 4: Clasificación de la integridad contra el fuego de los mamparos de la sala de bombas en función del espacio adyacente. Fuente [34]

Notas:

A-x: Las categorías A-x implican mamparos hechos de acero, endurecidos adecuadamente, no deben dejar pasar humo o llamas durante una hora del test estándar de incendio con un aislamiento ignifugo que no permita que la temperatura en el lado opuesto al fuego del mamparo suba más de 139°C respecto la temperatura inicial y que la temperatura en cualquier punto del mamparo no suba más de 181°C respecto la temperatura inicial durante el tiempo estipulado por el valor de x en minutos.

d: Los mamparos especificados que tengan prensaestopas por donde pasen ejes deben ser herméticos con una lubricación suficiente para que el sellado no se vea comprometido.

*: Los mamparos o cubiertas especificadas deben ser de acero pero no es obligatorio que sean de categoría A

-: Los espacios que separan los mamparos o cubiertas especificados no pueden estar adjuntos.

3.3.3 Párrafo 9 de la regulación 10 del capítulo II-2 del SOLAS

El párrafo 9 de la regulación 10 trata sobre los elementos obligatorios para la lucha contra incendios en una sala de bombas para la carga.

En primer lugar, dicta que toda sala de bombas para la carga debe tener un sistema de extinción de incendios o por CO₂, que deberá tener una alarma auditiva cuando se active y no se podrá usar como método de inertización del espacio, o por espuma de alta expansión o por rociamiento de agua a través de rociadores fijos.

Finalmente, especifica que si el sistema de extinción es común con otro espacio, no es necesario que la cantidad de agente antincendios o su caudal sea igual en la sala de bombas para la carga que en el espacio más grande que comparte el sistema de extinción.

3.3.4 Regulación 22 del capítulo 4 del anexo I del Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL)

La regulación 22 estipula que todo petrolero de igual o más de 5000 toneladas deben incluir un doble fondo en las salas de bombas siempre y cuando la distancia entre el suelo de la sala y la línea base del buque sea inferior a una quinceava parte de la manga del buque o 2 metros (se aplica la distancia más pequeña de las dos).

3.4 Descripción del procedimiento de arranque y operación del sistema

Para realizar la descarga de la carga de forma segura es imprescindible seguir ciertos procedimientos antes, durante y después al arranque de las turbo-bombas ya que un error en el proceso puede producir graves daños a la maquinaria del buque, al personal de abordo y/o tierra o al medio ambiente si se derramase la carga.

En este apartado se explicaran los procedimientos de arrancada, operación y parada de las turbo-bombas para la descarga del crudo así como las acciones previas y posteriores a la descarga. En el anexo I se pueden encontrar un vídeo explicativo de los procedimientos descritos en este apartado.

3.4.1 Acciones previas a la descarga del crudo

1. Una vez las mangueras de conexión buque-tierra para la carga están debidamente acopladas, abrir, por este orden, la válvula de entrada al tanque de tierra y las intermedias hasta la válvula de conexión de tierra con el buque que también se deberá abrir la última.
2. Abrir, por este orden, la válvula de descarga del tanque, las válvulas intermedias hasta la sala de bombas, la válvula maestra de la sala de bombas y las válvulas intermedias antes de la aspiración de las bombas y, por último, las válvulas de aspiración de cada bomba.

3.4.2 Arranque y operación de las turbo-bombas

1. Una vez realizadas las acciones previas a la descarga, comprobar que en la planta de vapor las válvulas de salida del vapor de la caldera y de entrada y salida al sobrecalentador están abiertas así como las válvulas de la línea de distribución de vapor a las turbo-bombas.
2. Comprobar el nivel del tanque de almacenamiento de aceite y arrancar la bomba de aceite pre-lubricación de la turbina. Abrir el circuito de refrigeración del enfriador del aceite y seleccionar el modo automático de regulación del caudal de agua de refrigeración para tener el aceite a la temperatura correcta.
3. Abrir la válvula de drenaje de condensados de la turbina.
4. Abrir un poco la válvula de entrada de vapor con el selector de revoluciones a 0 para que la turbina se caliente. Dicha apertura debe ser lo más lentamente posible para evitar golpes de ariete. Durante el calentamiento, hacer girar la turbina mediante su virador para que el calentamiento sea uniforme en todo el rotor. Una vez la turbina tiene la temperatura suficiente, parar el virador.

5. Asegurarse de que la terminal está preparada para recibir la carga y que el sistema de gas inerte está preparado.
6. Seleccionar una velocidad de rotación muy baja de la turbina para que un caudal mínimo de vapor la empiece a hacer girar. Comprobar que no haya vibraciones excesivas en la turbina.
7. Incrementar muy poco a poco la velocidad en el selector del controlador.
8. Cuando la presión del crudo a la descarga de las bombas sea la suficiente, detener la subida de velocidad de la turbina y abrir las válvulas intermedias entre la descarga de la bomba y la conexión a tierra. Abrir la válvula de descarga de la bomba de forma gradual.
9. Una vez la terminal confirma que la descarga se produce sin problemas, cerrar la válvula de drenaje de condensados y volver a incrementar, también de forma paulatina, la velocidad de la turbina.
10. Cuando la turbina tenga las revoluciones suficientes para accionar la bomba acoplada de aceite y que esta genere una presión adecuada, parar la bomba de pre-lubricación.
11. Finalmente, incrementar la velocidad de rotación de la turbina hasta llegar al valor de presión de descarga del crudo estipulado en el contrato para que dicha descarga se produzca en el tiempo requerido.
12. Comprobar que la temperatura del aceite a la salida del enfriador, la caída de presión en los filtros del aceite y las vibraciones en la turbina tienen valores correctos.
13. Comprobar que haya un vacío adecuado y un suficiente flujo de agua de refrigeración en el condensador del circuito de vapor así como que no salga vapor a su salida.

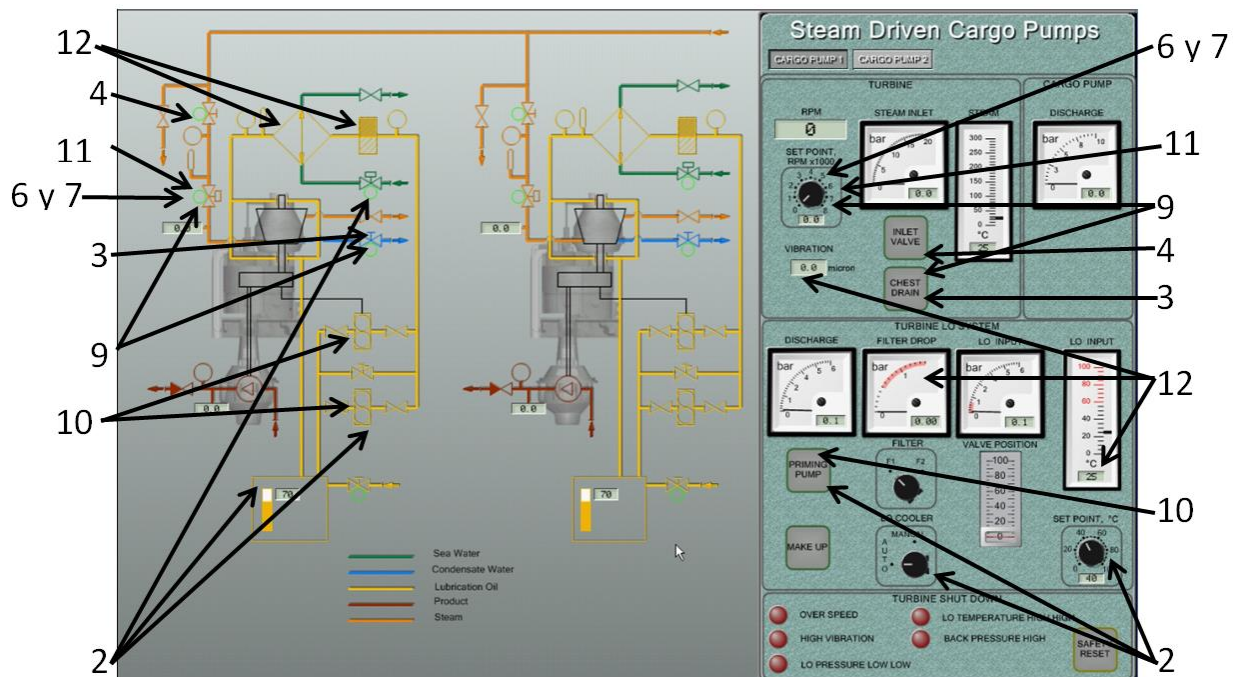


Figura 37: Procedimiento de arranque de las turbo-bombas para la descarga de crudo. Fuente [13]

3.4.3 Parada de las turbo-bombas

Cuando empieza a entrar aire en la bomba debido a que el nivel del crudo está cerca de la aspiración del tanque, es preciso parar la turbo-bomba ya que si hay una entrada de aire en la bomba puede causar cavitación y dañarla. Para finalizar la descarga, entonces, se usan las bombas de *stripping* de menor capacidad que las turbo-bombas pero capaces de bombear el resto del crudo del tanque.

1. Bajar gradualmente la velocidad de la turbina hasta pararla. Si, debido a dicha bajada, la bomba acoplada de aceite no es capaz de mantener la presión, arrancar la bomba de pre-lubricación.
2. Una vez la turbina se ha parado, si no se ha arrancado antes, arrancar y dejar funcionar un tiempo prudencial la bomba de pre-lubricación y el enfriador de aceite para que la turbina se enfríe lentamente.
3. Cerrar las válvulas de la línea de distribución de vapor a las turbo-bombas y, si no se está usando el vapor sobrecalentado para ningún otro consumidor, cerrar la entrada de salida de vapor al sobrecalentador.
4. Con la turbina fría, parar la bomba de pre-lubricación y detener el flujo de agua de refrigeración en el enfriador de aceite.

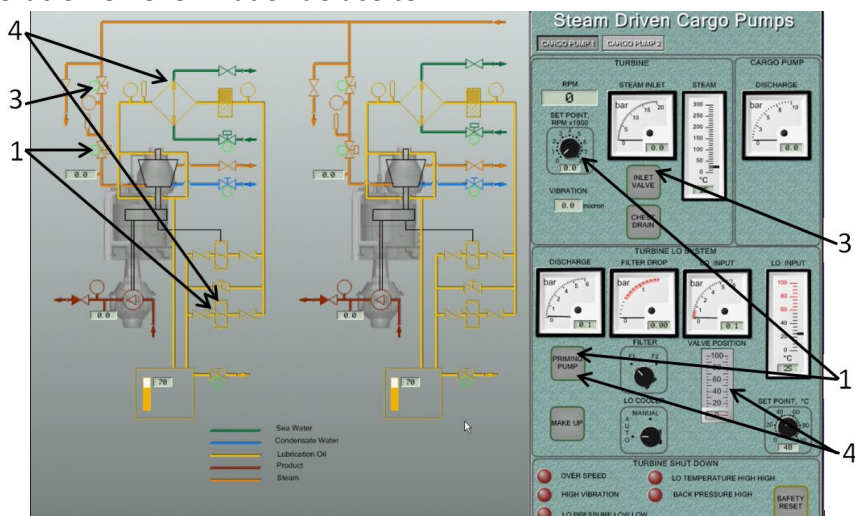


Figura 38: Procedimiento de parada de las turbo-bombas de descarga de crudo. Fuente [13]

3.4.4 Final de la descarga del crudo y acciones posteriores

1. Arrancar las bombas de stripping (no simuladas en el buque tratado) la cuales conducen el crudo a uno de los tanques de *slop*.
2. Cuando todos los tanques están vacíos y las líneas del buque han sido vaciadas por gravedad al *slop*, descargar el *slop* con las bombas de *stripping* a través de la línea de menor diámetro del buque.
3. Cerrar todas las válvulas del circuito de descarga del crudo.

3.5 Descripción de posibles averías o problemas y su resolución

Durante la arrancada u operación de las turbobombas pueden presentarse anomalías en el funcionamiento de alguno de los elementos del sistema debido a averías. En este apartado se recogen las principales así como su causa y solución para que el sistema pueda seguir con su operación normalmente

3.5.1 Turbinas

3.5.1.1 Sobrevelocidad de la turbina

Que la velocidad de la turbina supere el límite (en este caso 8100 rpm) es debido a un problema de algún elemento del sistema de control del caudal de vapor de entrada a la turbina. Cuando este problema se produce, el sistema de seguridad de la turbina la para de forma automática.

El primer elemento que es posible que falle es la válvula de regulación de caudal de vapor. En este caso, el problema sería que la válvula no interpreta bien la orden del grado de apertura del sistema de control, haciendo que demasiado vapor entre en la turbina, haciendo que su velocidad suba demasiado. Para este caso, lo necesario es revisar el actuador de la válvula y el obturador. El primer elemento puede dar el problema de que no traduzca bien la señal eléctrica al movimiento mecánico y, por lo tanto, se debe reparar o sustituir. El problema más seguro en el obturador puede ser que se haya encallado, no permitiendo el cierre de la válvula. En este caso, se precisa reparar o sustituirlo.

En segundo lugar, la causa del problema puede ser el propio sistema de control. En esta ocasión, el inconveniente podría ser debido a varios elementos dentro del controlador, ya sea una mala lectura del sensor de velocidad del sistema el cual envía una señal de velocidad más baja que la real, haciendo que entre demasiado vapor en la turbina y, por ende, se produzca la sobrevelocidad. Si se produjese esta situación, es necesario cambiar o reparar el sensor.

Otra causa plausible puede ser un mal procesamiento de la indicación de velocidad por parte del controlador que manda una señal de apertura errónea a la válvula de regulación produciendo la excesiva cantidad de vapor en la turbina y, seguidamente, la sobrevelocidad. En este caso, sería necesario encontrar la zona del controlador que no funciona con normalidad y repararla o sustituirla.

3.5.1.2 Vibración excesiva en el rotor

Una vibración excesiva en el rotor de la turbina puede tener origen en diferentes partes de la turbina. En este caso, si se produce, el sistema de seguridad también para la turbina.

En primer lugar, es posible una presencia de agua dentro de la turbina. Durante la arrancada de la turbina, el vapor a alta velocidad que entra en la turbina arrastra estas pequeñas gotas haciendo que choquen contra los álabes produciendo golpes de ariete los cuales hacen vibrar el rotor. Para solucionarlo es preciso revisar la línea o válvula de desagüe de la turbina para observar si está obstruida, lo cual impediría la evacuación del vapor condensado dentro de la turbina en el momento de la parada. Si lo estuviese, es necesario remediar dicha obstrucción mediante la reparación o sustitución del trozo de tubería o válvula donde se haya producido. Si no hubiese ningún atasco, entonces es preciso dejar entrar el vapor dentro de la turbina sin arrancarla durante más tiempo para asegurarse de que todo el líquido ha abandonado la turbina.

En segundo lugar, una vibración excesiva puede ser causada por un calentamiento irregular del rotor la turbina. Esto produce que partes de dicho rotor se doblen y rocen con elementos estáticos que no deberían entrar en contacto con la parte móvil. La solución se basa en bajar la velocidad de la turbina y esperar a que el calentamiento se homogenice en todo el rotor.

Finalmente, la causa de la vibración puede ser la rotura de alguna de los elementos del rotor (álabe, elementos de los cojinetes,...). Esto produce una desalineación del eje la cual lo hace rozar con elementos estáticos y producir las vibraciones. Para solucionarlo es necesario abrir la turbina, encontrar la pieza o elemento roto, revisar si ha producido algún tipo de daño a la turbina y sustituir el elemento y reparar la turbina si estuviese dañada.

3.5.1.3 Alta presión de vapor a la salida de la turbina

Una alta presión de vapor a la salida de la turbina es debida a un vacío demasiado bajo en el condensador produciendo una bajada de la potencia que desarrolla la turbina y una posible rotura en los álabes del final del rotor ya que no están diseñados para soportar una presión excesiva. Este problema hace activar la parada por parte del sistema de seguridad de la turbina.

Este bajo vacío es debido a una falta de refrigeración en el condensador que provoca que no todo el vapor condense, aumentando la presión dentro. Este aumento de presión se traslada a la salida de la turbina a causa de su conexión directa con la entrada del condensador. Para solucionar este inconveniente es preciso revisar las bombas para asegurarse de que proporcionan el caudal suficiente para una refrigeración correcta y si no lo hacen, encontrar el elemento dañado y repararlo o sustituirlo. Si las bombas funcionan de forma correcta, entonces es necesario buscar y eliminar las obstrucciones (vida marina) presentes en la zona de agua salada que impiden una transferencia de calor entre los fluidos correcta.

3.5.2 Sistema de lubricación

3.5.2.1 Baja presión del aceite lubricante

Una presión baja del aceite lubricante es indicativo de un fallo en el suministro de este a la turbina. Este problema hace actuar al sistema de seguridad de la turbo-bomba, haciéndola parar. Su causa más probable es una avería en alguna de las bombas de accionamiento del aceite, ya sea la accionada por la propia turbina o la de cebado. En este caso, es necesario revisar la bomba que se estaba usando en el momento de la indicación de baja presión, repararla o sustituirla.

3.5.2.2 Alta temperatura del aceite lubricante

Una temperatura alta en el aceite lubricante es sinónimo de que no se está produciendo un enfriamiento eficaz del aceite y puede ser debido a diversas causas. Al igual que los problemas anteriores, este fallo también hace que el sistema de seguridad pare la turbina.

En primer lugar, una causa puede ser una avería en el enfriador de aceite, como un pinchazo en alguna parte del enfriador (ya sea aceite o agua) o el atascamiento de alguno de los tubos. Esto provoca que el flujo de calor del aceite al agua no sea el suficiente y, pasado un tiempo, produzca una subida gradual de la temperatura del aceite. Para solucionarlo es necesario parar la turbo-bomba, revisar el enfriador y repararlo.

En segundo lugar, el causante del problema puede ser un mal funcionamiento del sistema de control de temperatura del aceite que envía una señal de apertura a la válvula de entrada de agua salada errónea. Debido a esto, la válvula no permite el paso de suficiente agua para enfriar de forma correcta el aceite. Para solucionar dicho problema se precisa la reparación o sustitución del elemento que da el fallo en el controlador.

Finalmente, el problema puede venir de una mala regulación de la válvula de entrada de agua salada, ya sea por un defecto en el actuador de la válvula o por un atascamiento del obturador que no deja pasar suficiente agua. Para remediar esta situación, es necesaria una revisión del sistema de control y de la válvula para encontrar el elemento deteriorado y repararlo o sustituirlo.

3.5.2.3 Bajo nivel de aceite en tanque de recogida

Un bajo nivel súbito en el tanque de recogida del aceite es síntoma de que, en algún lugar del sistema, hay una fuga relativamente grande de aceite ya que, a pesar de que en la propia operación de la turbo-bomba hay pequeñas pérdidas, no es normal que se produzca un descenso tan acusado del nivel de aceite en el tanque. Las medidas que se deben tomar son las de parar la turbo-bomba (en el caso de que el problema se dé con ésta arrancada), revisar el circuito de aceite hasta encontrar la fuga y repararla.

3.5.2.4 Caída de presión excesiva en el filtro

Una caída de presión excesiva en el filtro de aceite es sinónimo de que dicho filtro está demasiado sucio para poder seguir operando. La solución para poder seguir utilizando la turbina sin tener que pararla es redirigir el aceite al otro filtro en paralelo. Una vez la máquina esté parada, es necesario desmontar el filtro sucio y limpiarlo.

3.5.2.5 Indicios de emulsión de agua y aceite

Cuando se produce una emulsión de agua y aceite en el sistema de lubricación es indicativo que en algún lugar del circuito hay una fuga de agua que entra en el circuito del aceite. El lugar más probable donde esto ocurra es el enfriador de aceite donde el lubricante y el agua pueden ser mezclados en caso de que alguno de los tubos se haya perforado, permitiendo la entrada del agua. La solución consiste en revisar el enfriador para encontrar el punto de la fuga y repararla. Si la afectación al aceite es grave y ha perdido demasiadas propiedades es necesario, entonces, sustituir el aceite del sistema por aceite nuevo.

Capítulo 4. Sistema de sentinas

4.1 Introducción

El sistema de sentinas de un buque tiene la función de recoger, tratar y evacuar el agua mezclada con otros componentes cuyo origen son las fugas, drenajes o limpiezas (llamados efluentes) que se producen en el espacio de máquinas, bodegas de carga seca o cofferdams de abordado, o, en el caso de inundación en la sala de máquinas, achicar el agua entrante.

Para el achique de otros espacios dedicados a carga líquida o lastre, su propio sistema es el encargado de realizar el “secado” de dichos espacios. Para la habilitación, el sistema de tratamiento de aguas residuales es el encargado de tratar con esta tarea.

Debido a que dicha agua está mezclada con otros componentes, principalmente hidrocarburos como fuel, diésel o aceites, no está permitido su descarga directa al mar en condiciones normales ya que, en caso de hacerse, la contaminación resultante puede producir una afectación grave al ecosistema marino del lugar donde se produce la descarga y, a causa de que los hidrocarburos no son solubles en agua, dicha afectación se puede prolongar en el tiempo debido a su lenta disipación, si no se aplican medidas para hacerlo, tal y como se muestra en la Figura 39.



Figura 39: Fotografía aérea del vertido de hidrocarburos provocado por el buque *MV Wakashio* cerca de la costa de Mauricio. Fuente [44].

Para poder deshacerse de dicha agua se aplica un proceso de separación de los hidrocarburos, los cuales son almacenados en el buque para su posterior descarga a una instalación de tratamiento en tierra.



Figura 40: Camión de recogida de residuos oleosos procedentes de buques de una instalación portuaria. Fuente [14].

4.2 Descripción del sistema

El sistema de sentinas del buque simulado consta de diferentes pocetes de sentinas situados a lo largo de la sala de máquinas y son los encargados de recoger el agua aceitosa que fluye hasta la parte inferior de la misma. Su achique se produce a dos bombas, la de tipo alternativa de agua de sentinas o alternativa y la de emergencia. De la bomba se manda al tanque de sentinas de donde es aspirada para entrar al separador. Allí, se disocian en agua y los hidrocarburos que se mandan, el caso del agua con una concentración de aceite lo suficientemente pequeña, al mar y los hidrocarburos al tanque de aceite.

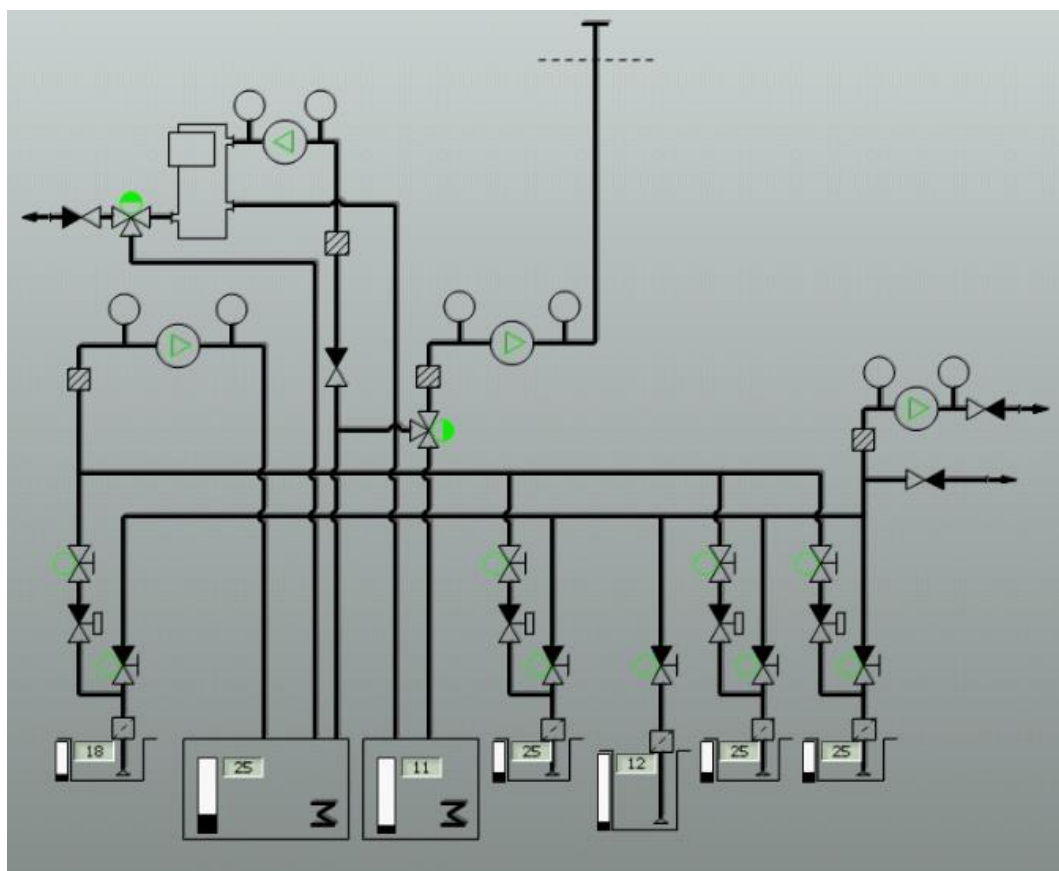


Figura 41: Esquema del sistema de sentinas del buque. Fuente [13]

4.2.2 Pocetes de sentinas

Los pocetes de sentinas son cavidades situadas a lo largo y ancho de la sala de máquinas que tienen la función de recoger las filtraciones y derrames que se producen en ellas.

Su distribución es tal que, con todas las situaciones de escora y/o asiento del buque, son capaces de recoger dicha agua para poder ser detectado. En este caso, hay uno situado a popa de la sala de máquinas, otro en el medio y dos más a proa de ésta así como un pocete más profundo justo debajo del motor principal cuya función se limita a la recogida de agua en el caso de inundación de la sala de máquinas.

Justo después de la aspiración de la tubería de achique, hay situada una caja de fangos que desempeña la labor de acumular los residuos sólidos que pudieran haber caído en el pocete para evitar que entren en la bomba, tal y como se aprecia en la Figura 42.

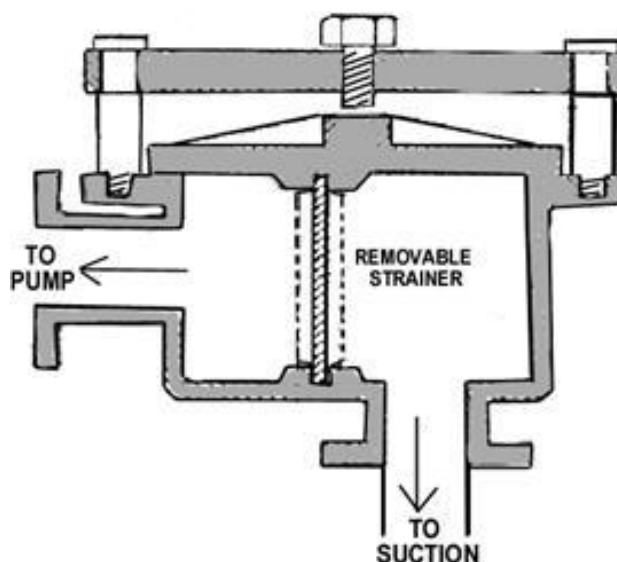


Figura 42: Ilustración del interior de una caja de fangos con filtro desmontable para su limpieza. Fuente [22].

Posteriormente, la línea de achique se divide en dos: un ramal se dirige a la bomba alternativa y el otro a la bomba de emergencia. En el primer ramal hay colocadas dos válvulas, una de accionamiento remoto por aire comprimido que es la que se acciona de forma habitual para abrir o cerrar la succión al pocete en cuestión si fuese necesario y una de accionamiento manual que sirve para aislar el pocete y cuya posición, con un funcionamiento normal del sistema, es abierta. En el otro ramal solo hay una válvula de accionamiento remoto por aire comprimido con el mismo cometido que la del primer ramal. Cada ramal está conectado al colector específico de cada ramal (uno de achique normal y otro de emergencia)

4.2.3 Bomba alternativa de agua de sentinas

La bomba alternativa de agua de sentinas es una bomba, tal como su nombre indica, alternativa de pistones accionada por un motor eléctrico y el porqué de que sea de este tipo se debe a dos motivos: su cebado se produce de forma mucho más rápida que una bomba centrífuga y que una bomba alternativa es capaz de operar normalmente si aspira aire, al contrario que una centrífuga que una aspiración continuada en el tiempo de aire puede provocar averías. Con esto en mente, y teniendo en cuenta que la aspiración de la bomba suele ser de poco fluido y que durante la aspiración de los pocetes es muy probable la entrada de aire en la línea, que sea alternativa es la opción más eficaz.

La bomba aspira del colector de sentinas y, antes de su aspiración, ésta tiene un filtro que recoge los elementos solidos que la caja de fangos no ha sido capaz de acumular así como un vacuómetro que indica el decremento en la presión de la línea cuando está funcionando. De igual forma, en su descarga hay instalado un manómetro que mide la presión a su salida. Una vez impulsada, el agua aceitosa es mandada al tanque de sentinas.

Su arrancada puede controlarse de forma manual cuando el operador considere que se debe vaciar uno o varios pocetes o de forma manual que, en cuyo caso, cuando hay un nivel alto en alguno de los pocetes, la válvula automática se abre y la bomba arranca y achica hasta que lo vacía.



Figura 43: Bomba alternativa de sentinas con los actuadores de sus válvulas de aspiración (derecha) y descarga (izquierda).
Fuente propia.

4.2.4 Tanque de sentinas

En este tanque se almacena el agua con hidrocarburos provenientes de los pocetes. Allí se produce una primera separación por gravedad. En el tanque también hay instalado un calentador eléctrico cuya función es la de calentar la mezcla con la intención de reducir su viscosidad a causa de la presencia de hidrocarburos muy pesados en la misma. Tiene dos aspiraciones: la que conduce la mezcla al separador y la que conduce a la bomba de transferencia.

4.2.5 Separador de sentinas

El separador de sentinas es el elemento que permite evacuar el agua limpia al mar y no tener que retenerla a bordo durante todo el viaje. Su funcionamiento se basa en la separación del agua y los hidrocarburos mezclados mediante el uso de placas hechas de materiales oleofílicos (véase Figura 44) donde las partículas pequeñas de aceite en suspensión se adhieren y, al juntarse unas con otras, forman gotas lo suficientemente grande para ser empujadas hacia arriba por efecto de la diferencia de densidades entre los dos líquidos. Una vez llegan a la parte superior del separador, se acumulan y los hidrocarburos separados se mandan al tanque de aceite de sentinas.

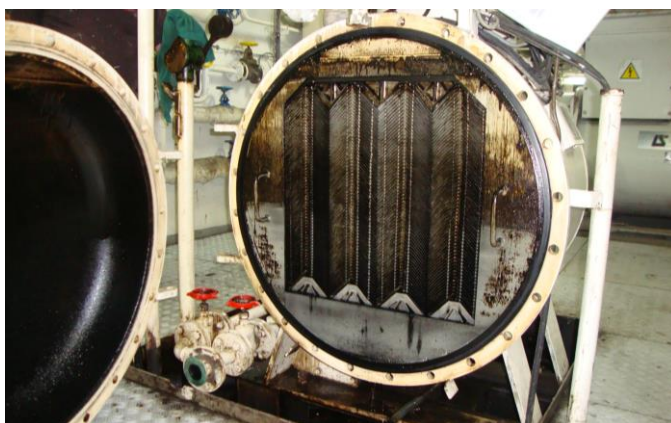


Figura 44: Separador de sentinas abierto dónde se ve las placas de separación de material oleofílico. Fuente propia.

Por lo que respecta al agua, se hace circular por todo el separador para quitar el máximo de aceite posible y, a la salida pasa por un oleómetro que determina la cantidad de hidrocarburos presentes todavía en el agua mediante un análisis óptico comparativo del agua, es decir, compara la opacidad el flujo de agua saliente con una referencia, tal y como se muestra en la Figura 45. Si la concentración de aceite en el agua no supera el valor establecido por el operador (entre 5 y 15 ppm), el agua es evacuada al mar a través de una válvula de tres vías. En el caso de que se superase dicha concentración, la válvula cambia de posición para enviar el agua saliente del separador de vuelta al tanque sentinas para que vuelva a pasar por el separador.

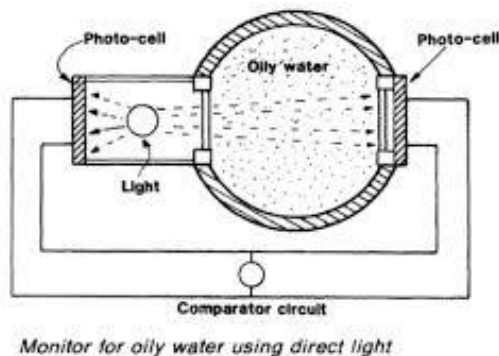


Figura 45: Ilustración del principio de funcionamiento de un oleómetro óptico. Fuente [47].

Para que la mezcla de agua y aceite llegue al separador, el separador tiene su propia bomba.

4.2.6 Tanque de aceite de sentinas (lodos)

El tanque de sentinas es el encargado de almacenar los hidrocarburos que el separador ha agrupado para su posterior achique a una planta de tratamiento en tierra. Al igual que el tanque de sentinas, también dispone de un calentador eléctrico que baja la viscosidad del aceite para su bombeo.

4.2.7 Bomba de transferencia

La bomba de transferencia tiene la función de aspirar o bien los hidrocarburos separados o la mezcla de agua y aceites de sentinas para su posterior descarga a una instalación de tratamiento en tierra.

4.2.8 Bomba de sentinas de emergencia

La bomba de sentinas de emergencia es la dedicada al uso exclusivo del achique de agua en caso de que se estuviese produciendo una inundación en la sala de máquinas. Su aspiración se produce desde el colector de emergencia con los pocetes que recogen el agua, abiertos. La descarga de la bomba se manda por la borda (aunque en condiciones normales está prohibido, la normativa lo permite en caso de emergencia).

En el caso de que la bomba tuviera un mal funcionamiento o que no fuese capaz de achicar lo suficiente, el sistema está conectado a la bomba de agua salada del sistema de enfriamiento del motor principal, sistema aceptado por la normativa como apoyo, entre otros (la Figura 46 muestra la conexión entre el sistema de sentinas y el de lastre).



Figura 46: Bomba centrífuga de sentinas de emergencia. Fuente propia.

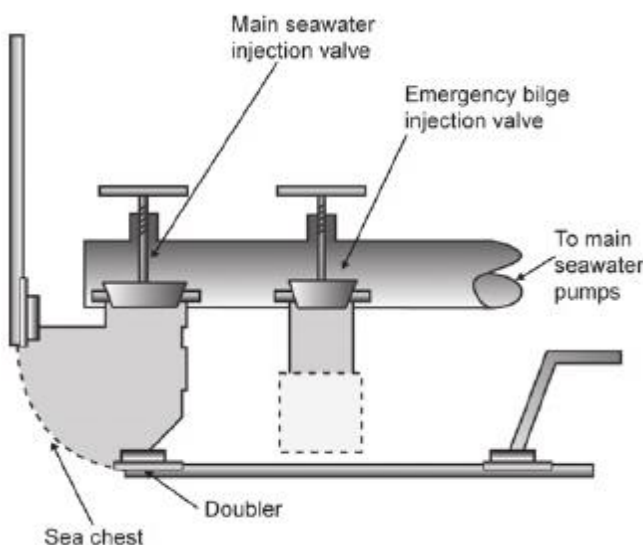


Figura 47: Ilustración de una válvula de conexión entre el sistema de sentinas y el de lastre. Fuente [58].

4.3 Análisis de la normativa aplicable al sistema

A continuación se expondrán las diferentes regulaciones y normas que afectan a las características de diseño y operación del sistema de sentinas aplicables al buque en cuestión.

4.3.1 Regulación 35-1 del capítulo II-1 del SOLAS

Esta regulación expone la normativa referente a la disposición del sistema de bombeo de las sentinas.

En primer lugar, especifica que el sistema de sentinas debe ser capaz de vaciar cualquier espacio estanco del buque que no esté destinado al almacenamiento de cualquier otro tipo de líquido (carga, lastre,...) con su propio sistema de bombeo.

Seguidamente, explica que las bombas de agua sanitaria, de lastre o de servicio general pueden ser usadas como bombas de sentinas si tienen las conexiones al sistema de sentinas adecuadas.

Posteriormente, dicta que todas las tuberías usadas debajo de espacio de máquinas o de tanques de combustible deberán de ser de acero, así como que la distribución del sistema no deberá permitir que ni el agua del mar ni de lastre pase a los espacios de carga o de máquinas.

Finalmente, la norma dice que al menos dos bombas deberán estar conectadas al sistema de sentinas, una de las cuales puede tener su accionamiento mediante el motor principal.

4.3.2 Regulación 48 del capítulo II-1 del SOLAS

Esta regulación indica las normas para la protección en caso de inundación.

En primer lugar, la norma dicta que los pocetes de sentinas en salas de máquinas desatendidas deben estar situados y monitorizados de tal forma de que sea posible detectar una acumulación de líquidos dentro ellos con unos ángulos normales de asiento y/o escora así como un tamaño lo suficientemente grande para alojar todo el líquido que proviene de drenajes habituales durante la operación normal de la maquinaria durante el periodo que la sala está desatendida.

Seguidamente, expone que los buques con bombas de sentinas que tengan incluido un sistema de arrancado automático deberán incluir alguna indicación para cuando la entrada de fluido en los pocetes sea superior a la capacidad de achique de la bomba o si la bomba está en funcionamiento un periodo de tiempo superior a lo esperado. También indica que, en caso de que se tenga este sistema automático, se permite el uso de pocetes más pequeños con una capacidad suficiente para admitir líquido durante un tiempo razonable. Asimismo, regula que cuando haya instalado este sistema de arranque automático se debe aumentar la atención a los requisitos de prevención de la contaminación por hidrocarburos.

Finalmente, expone que los controles de las válvulas que regulan el paso de tomas de mar, descargas de líquido por debajo de la línea de flotación o entradas al sistema de sentinas deberán estar situados a una altura lo suficientemente grande para que sean accesibles y operables durante el tiempo estimado de respuesta en caso de inundación con el buque plenamente cargado. Si esto no fuese posible, se deben tomar medidas para situar dichos controles a una altura superior.

4.3.3 Regulación 12 del capítulo 3 del anexo I del MARPOL

Esta regulación indica la normativa referente a los tanques para la recogida de hidrocarburos separados para buque de más de 400 GT (unidades de arqueo bruto).

En primer lugar, dicta que todo buque deberá ser capaz de mandar a las instalaciones receptoras de tierra los lodos de hidrocarburos a través de una conexión estandarizada o quemar dichos lodos en incineradores, calderas u otro tipo de maquinaria preparada para poder hacerlo.

Seguidamente, expone que se debe tener un tanque de recogida de lodos lo suficientemente grande, teniendo en cuenta el tipo de maquinaria y la duración estimada de los viajes junto con un sistema de bombeo para poder mandar los lodos a tierra.

Posteriormente, prohíbe que el tanque tenga conexiones con ninguna parte del sistema de sentinas con la excepción de que tenga drenajes con válvulas manuales y mirilla conectados al tanque de sentinas y que el tanque de sentinas y el de lodos estén conectados con una misma tubería para su descarga a tierra pero que, en ningún caso, esta tubería sirva para mandar lodos al tanque de sentinas. También impide que el tanque de lodos tenga otra conexión al exterior del buque que no sea la de descarga a tierra especificada anteriormente.

Finalmente, expone que su diseño y construcción se hará con la intención de que sea fácil limpiarlo y vaciarlo a tierra.

4.3.4 Párrafos 2 y 7 de la regulación 14 del capítulo 3 del anexo I del MARPOL

La regulación 14 establece que buques deben llevar un equipo de separación de hidrocarburos y sus características en función de su GT. En el caso del buque tratado, su GT es superior a 10.000 por lo tanto los párrafos aplicables de la regulación son el 2 y el 7.

Conjuntamente, dichos párrafos estipulan que todo buque de más de 10000 GT deberá tener un equipo de separación de hidrocarburos que en cuya descarga al mar haya una concentración de aceite en el agua inferior a 15 ppm. Este equipo debe tener incluido también un sistema de medida de la concentración del efluente de salida del equipo que, cuando la concentración de componentes oleosos sea superior a dichas 15 ppm, pare automáticamente la descarga al mar.

4.3.5 Regulación 15 del capítulo 3 del anexo I del MARPOL

La regulación 15 estipula que las descargas al mar de sustancias oleosas están prohibidas si no se hacen en las condiciones que dicha regulación establece.

En primer lugar, dicta que es posible descargar hidrocarburos o mezclas de estos con otros líquidos en zonas consideradas no especiales (menos en aguas árticas) si se cumple que: el buque está en ruta, la descarga ha sido procesada por un equipo de separación con los requisitos establecidos por la regulación 14 del Anexo I del MARPOL, la concentración de aceite en el efluente de descarga no es superior a 15 ppm, y que, en el caso de petroleros, la mezcla oleosa no proviene de la sala de bombas para la carga o que dicha mezcla no contiene residuos de la carga del buque.

Seguidamente, explica las condiciones para la descarga de hidrocarburos o mezclas con otros líquidos en zonas consideradas especiales las cuales son idénticas a las expresadas en párrafo anterior con la excepción que el equipo de separación de hidrocarburos mencionado debe cumplir con el párrafo 7 de la regulación 14 del anexo I del MARPOL.

Posteriormente, la regulación indica que no está permitida la descarga de sustancias químicas o de cualquier otro tipo en cantidades o concentraciones que dañen el ecosistema marino o que tengan la función de eludir las restricciones de descarga estipuladas en dicha regulación.

Finalmente, expresa que los residuos oleosos que no cumplen con las condiciones antes expresadas y, por lo tanto, no pueden ser descargados al mar, deberán mantenerse en el buque hasta la llegada a puerto donde podrán ser descargadas en una instalación adecuada para su tratamiento.

4.3.6 Regulación 4 del capítulo I del anexo I del MARPOL

Esta regulación establece las excepciones a la aplicación del párrafo 1.1.1 de la parte II-A del Código Polar y a las regulaciones 15 y 34 del Anexo I del MARPOL.

En primer lugar, expone que las normas antes mencionadas no deberán ser aplicadas en caso de que la descarga al mar de hidrocarburos o mezclas con otras sustancias tenga la intención de mantener la seguridad del buque o evitar poner en riesgo la vida humana en el mar.

Seguidamente, dicta que las normas antes mencionadas no deberán ser seguidas si la descarga al mar de aceite o mezclas con otras sustancias es consecuencia de que el buque o su equipamiento ha sido dañado. Esta excepción es válida siempre que se hayan tomado todas las precauciones para prevenir dicha descarga después del suceso dañino para el buque o el descubrimiento de la descarga y sin que el armador o el capitán hayan actuado de forma intencional o temeraria a sabiendas de que cabía la posibilidad de que dicho daño se produjese.

Finalmente, indica que están permitidas las descargas de sustancias que contengan hidrocarburos dedicadas a la mitigación de los daños causados por un accidente relacionado contaminantes. Dichas descargas deben ser aprobadas por el gobierno que tenga la jurisdicción del lugar donde se hará la descarga.

4.4 Descripción del procedimiento de arranque y operación del sistema

Para poder realizar funciones del sistema de sentinas como recoger, tratar y evacuar el agua oleosa es necesario seguir ciertos procedimientos para que se haga acorde con las regulaciones de seguridad a bordo y de protección del medio ambiente.

A continuación se exponen los diferentes modos de actuación para cada uno de los procesos que se llevan a cabo en el sistema de sentinas. En el anexo I se pueden encontrar 3 vídeos explicativos de los procedimientos descritos en este apartado.

4.4.1 Vaciado de los pocetes

El proceso de vaciado de los pocetes varía en función de la situación del buque: operación normal o emergencia

4.4.1.1 Vaciado de los pocetes en situación de operación normal

1. Abrir la válvula neumática del ramal para el achique normal del pocete a vaciar y cerciorarse de que la válvula manual de aislamiento está abierta
2. Abrir la válvulas de la aspiración y la descarga de la bomba alternativa junto con la de entrada al tanque de sentinas.
3. Arrancar la bomba alternativa para achicar el agua del pocete hasta el tanque de sentinas. Revisar que la presión de descarga y el vacío en la aspiración son correctos.
4. Una vez el pocete está casi vacío, parar la bomba alternativa. La parada se realiza antes del vaciado completo del pocete para evitar que la bomba aspire aire y se descebe. Aunque la bomba es alternativa y pueda trabajar aspirando de forma habitual sin riesgo de averiarse, esto se hace para evitar tener que volver a cebar la bomba cuyo proceso puede ser largo y tedioso.
5. Cerrar las válvulas de aspiración y descarga de la bomba así como la válvula neumática del pocete y la de entrada al tanque de sentinas.

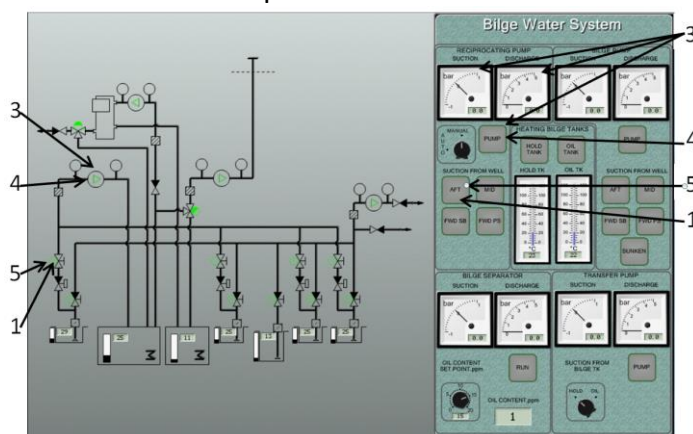


Figura 48: Procedimiento de vaciado de los pocetes de sentinas en situación normal. Fuente [13]

4.4.1.2 Vaciado de los pocetes en situación de emergencia

1. Abrir la válvula neumática del ramal para el achique de emergencia de cada pocete donde se está recogiendo el agua de la inundación.
2. Abrir las válvulas de aspiración y descarga de la bomba de emergencia junto con la de descarga al mar.
3. Arrancar la bomba de emergencia para achicar el agua que entra a causa de la vía y revisar su presión de descarga y el vacío en la aspiración. En el caso de una avería en la bomba o de que el caudal de entrada de agua es superior a la capacidad de la bomba, conectar el colector de sentinas de emergencia con el sistema de bombeo alternativo, en este caso, el sistema de agua salada de refrigeración del motor principal.
4. En el caso de parar la inundación y volver a una situación de operación normal, parar la bomba de emergencia, cerrar las válvulas de los pocetes abiertas anteriormente y la descarga al mar y realizar el proceso de vaciado de los pocetes en situación de operación normal.

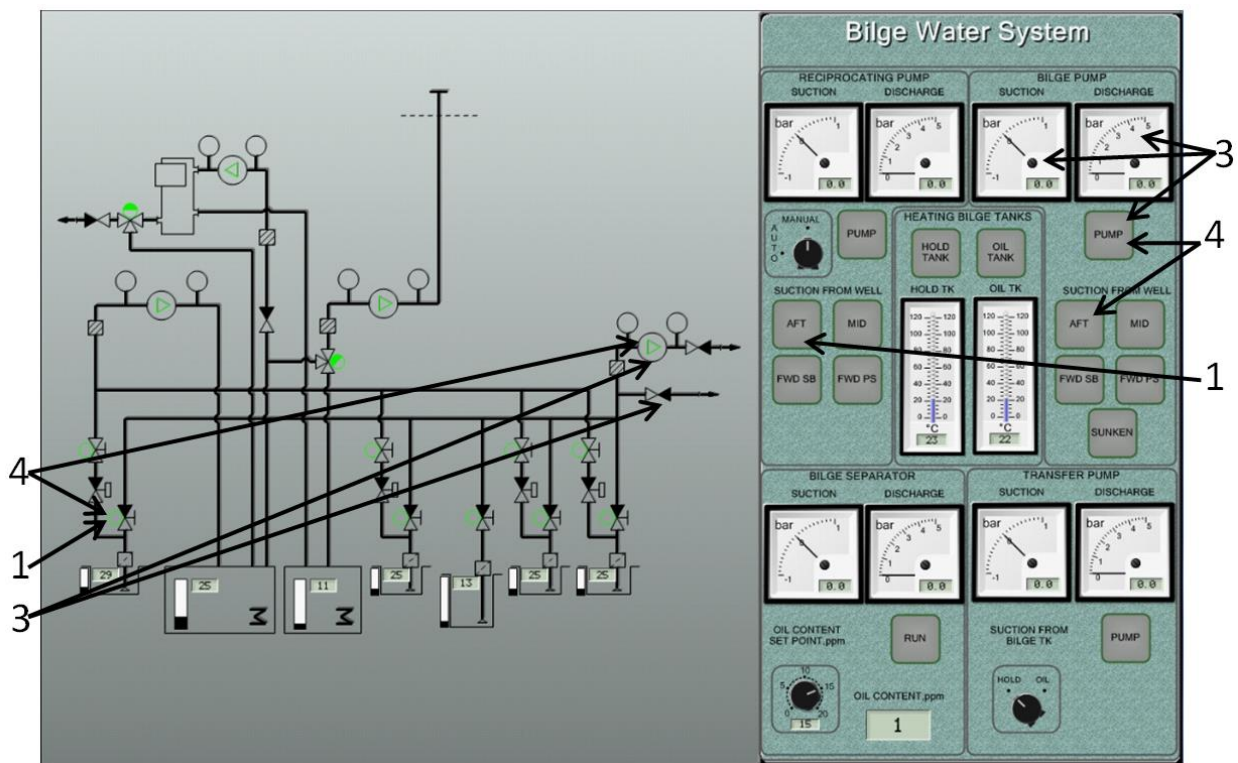


Figura 49: Procedimiento de vaciado de los pocetes de sentinas en situación de emergencia. Fuente [13]

4.4.2 Separador de sentinas

1. Abrir la válvula de salida del tanque de sentinas junto con la de entrada al tanque de lodos, así como la de aspiración y descarga de la bomba del separador, si las hubiese.
2. Arrancar la bomba del separador. Comprobar que el efluente que sale tiene una concentración inferior a lo estipulado en el selector (el límite legal son 15 ppm) y que es descargado al mar. Si su concentración es superior, debería sonar la alarma de alto contenido de aceite en el efluente y redirigirlo otra vez al tanque de sentinas.
3. Alimentar el calentador eléctrico de la zona de lodos del separador para que su viscosidad baje y pueda drenar hasta el tanque de lodos.
4. Cuando el nivel del tanque de sentinas sea lo suficiente bajo, parar la bomba del separador y cerrar las válvulas enunciadas en el punto 1 de este apartado.

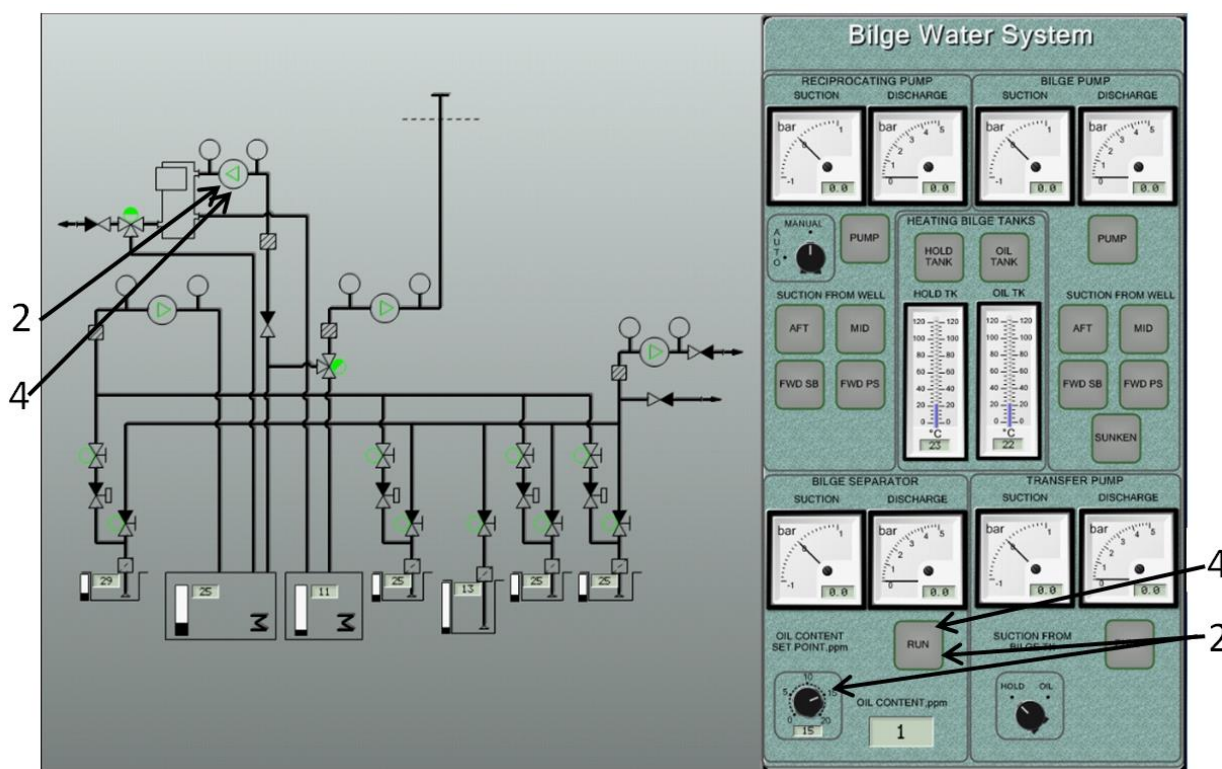


Figura 50: Procedimiento de Operación del Separador de Sentinas. Fuente [13]

4.4.3 Descarga a tierra

1. Si solo se dispone una bomba para la descarga a tierra de los fluidos procedentes de las sentinas, seleccionar que tanque se quiere vaciar, el de sentinas o el de lodos. Si la temperatura del residuo no es suficientemente alta para ser bombeado, abrir el paso de vapor al calentador del tanque y esperar a que se caliente.
2. Abrir las válvulas de salida del tanque a descargar junto con la de conexión a la descarga a tierra así como la de aspiración y descarga de la bomba de transferencia.
3. Conectar la descarga a tierra con la instalación receptora y cerciorarse de que la conexión es segura y estable.
4. Arrancar la bomba de transferencia. Durante todo el período de tiempo que la bomba está arrancada el responsable debe estar presente en el lugar de la conexión para que, en caso de que se produzca una desconexión inesperada, pueda actuar de forma inmediata parando la descarga.
5. Cuando se termina la descarga, parar la bomba de transferencia y cerrar las válvulas enunciadas en el punto 2 de este apartado.

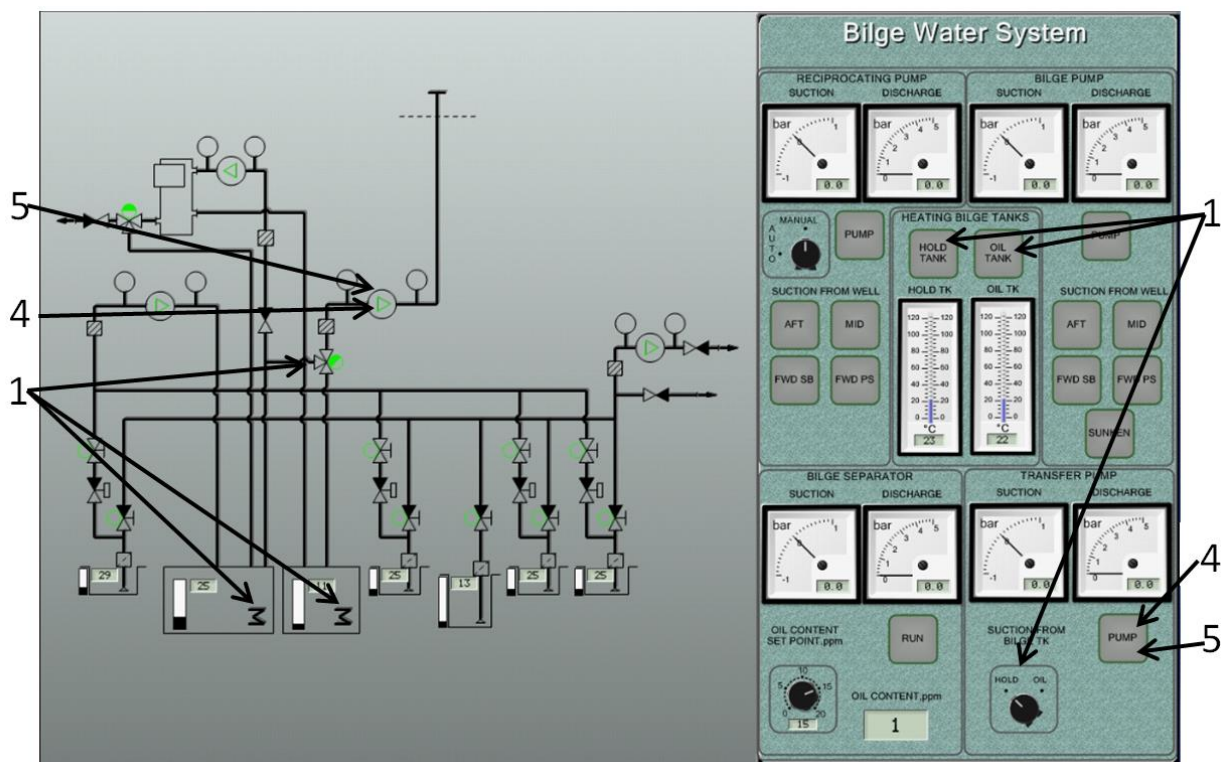


Figura 51: Procedimiento de descarga a tierra del contenido de dentro de los tanques de sentinas. Fuente [13]

4.5 Descripción de posibles averías o problemas y su resolución

Durante el achique, separación o evacuación de alguno de los fluidos presentes en el sistema de sentinas es posible que se surja algún tipo de funcionamiento erróneo debidos a averías que cause que una parte o todo el desarrollo del sistema se vea afectado. En este apartado se recogen las averías principales en el sistema de sentinas así como sus causas más probables y su solución.

4.5.1 Pocetes

4.5.1.1 Poca succión en un pocete

Una succión insuficiente en alguno de los pocetes puede ser debido a diferentes situaciones.

La primera causa es que algún otro pocetes tiene la válvula automática de aspiración abierta y, por lo tanto, la bomba no es capaz de succionar el agua del pocete junto con el aire que entra por el pocete mal cerrado. La solución se basa, en primer lugar, en la identificación y aislamiento del pocete con la válvula automática estropeada mediante el cierre de la válvula de aislamiento manual. Una vez aislado, se debe vaciar el pocete lleno. Finalmente, desmontar y reparar o sustituir la válvula automática dañada y volver a abrir la válvula de aislamiento del pocete en cuestión.

La segunda causa se debe a la presencia de alguna obstrucción en la línea entre la succión del pocete y la aspiración de la bomba. Lo más probable en este caso es una acumulación de suciedad sólida en la caja de fangos como, por ejemplo, trapos, que impiden que el fluido sea aspirado por la bomba. También es posible que alguna de las válvulas no esté completamente abierta y esto produzca una pérdida de succión en el pocete.

4.5.2 Bombas

4.5.2.1 Bajo vacío en la succión de alguna de las bombas

Un bajo vacío en la succión alguna bomba implica que hay una obstrucción en la línea de aspiración. Lo más probable es que dicha obstrucción se haya producido en el filtro previo a la bomba y, por lo tanto, es necesario parar el proceso que se está realizando con la bomba (achique de un pocete, separación de las aguas oleosas, descarga a tierra del aceite), desmontar el filtro, limpiarlo o sustituirlo y volver a arrancar el proceso. En el caso de que este bajo vacío se produzca en la bomba de emergencia cuando hay una inundación, es imprescindible conectar el sistema de sentinas con el de refrigeración del motor principal para poder seguir achicando agua.

4.5.2.2 Baja presión de descarga en alguna de las bombas

Una presión baja en la descarga de alguna de las bombas es signo de que la bomba no es capaz de subir la presión lo suficiente a causa de una avería dentro de ella, ya sea en el impeler de la bomba en las centrifugas o un problema en la válvula de descarga en la rotativa que impide que la presión suba hasta lo esperado. Para solucionar este problema se debe, al igual que con el caso de bajo vacío en la succión, parar el proceso que se está realizando (achique de un pocete, separación de las aguas oleosas, descarga a tierra del aceite), revisar la bomba hasta encontrar el fallo y, entonces, reparar o sustituir el elemento dañado. Igualmente que con la situación de bajo vacío en la succión de la bomba de emergencia, es imperativo conectar el sistema de sentinas al de refrigeración del motor principal para poder seguir achicando agua en caso de inundación.

4.5.3 Separador

4.5.3.1 Alto contenido de aceite a la salida del separador

La presencia de demasiado aceite a la salida del separador no tiene por qué ser síntoma de una avería ya que es posible que la mezcla de agua e hidrocarburos sea muy aceitosa y, por lo tanto, el separador no es capaz de disociar ambos completamente en una pasada. El problema surge cuando esta situación se produce de forma muy continuada en el tiempo o se comprueba que la cantidad de aceite presente en el agua de sentinas no lo suficientemente grande para que el separador no pueda realizar su trabajo en una sola separación. Las causas de este contratiempo son diversas.

En primer lugar, la avería puede ser que el oleómetro no sea capaz de detectar de forma correcta la cantidad de aceite presente en agua que sale del separador, ya sea porque el sensor tenga algún tipo de problema o que el sistema de control no mande la orden correcta al separador de que concentración límite está establecida por el operario (por ejemplo, que el agua salga con una concentración de 12 ppm, operador indique una concentración límite de 15 ppm y el oleómetro interprete erróneamente que la una concentración límite sea de 10 ppm). En este caso, lo necesario es revisar el sensor del oleómetro para ver si tiene algún tipo de avería o mala calibración y, si es el caso, repararlo o sustituirlo. Si el sensor funciona de forma correcta, lo preciso entonces es encontrar que elemento del controlador o del oleómetro genera la falsa señal y repararlo o sustituirlo.

La segunda causa posible es una avería dentro del separador que impide su función de filtrar el agua del aceite como, por ejemplo, un rotura en las placas hechas de material oleofílico. En esta ocasión, lo preciso es explorar el separador para encontrar la zona o zonas dañadas y sustituir las.

Capítulo 5. Sistema de tratamiento y retención de aguas sucias

5.1 Introducción

La definición de aguas sucias, o aguas negras, de la IMO es cualquier desagüe proveniente de los inodoros y urinarios, zonas médicas o zonas con animales o ganado vivo de abordaje. Viendo el origen de dichas aguas residuales, se puede suponer que dichos desagües llevan consigo una alta cantidad de suciedad orgánica e inorgánica que, si descargara al mar sin ningún tipo de regulación, podría provocar una afectación muy negativa en el ecosistema marino del lugar de la descarga, especialmente en las zonas cercanas a la costa. Por lo tanto, existe la obligación de que los barcos lleven algún sistema de tratamiento y/o retención de este tipo de aguas sucias.

La función, entonces, de dichos sistemas es la de lidiar con las aguas negras de acorde con la legislación. Para hacerlo, la normativa permite dos opciones para deshacerse de ellas.

En primer lugar, permite la descarga al mar sin tratamiento con la obligación de que se haga lejos de la costa para reducir al máximo el impacto en el ecosistema costero o la descarga en tierra a una instalación de tratamiento. Esta opción puede ser problemática para buques que realizan operaciones de cabotaje y no se alejan demasiado de la costa por lo que deben descargar en puerto, con el coste que conlleva. Además, esta opción puede resultar negativa para la imagen de la naviera del buque ya que una imagen de un buque rodeado de aguas sucias no es precisamente la mejor publicidad, tal y como se puede observar en la figura 52.



Figura 52: Rastro del efluente proveniente de la limpieza de la cubierta de un buque de transporte de ganado. Fuente [56].

En segundo lugar, la normativa permite la descarga de las aguas negras más cerca de la costa siempre y cuando hayan sido tratadas debidamente. La distancia a tierra a la que se permite descargar depende de la calidad del tratamiento, es decir, que aun buque con un equipamiento que elimine más impurezas de las aguas sucias le será permitido descargar más cerca del litoral. Esta opción, como es de suponer, implica una complejidad técnica y operacional en el buque superior a la primera opción pero generalmente los buques están equipados con algún tipo de sistema de tratamiento, especialmente para evitar los problemas y riesgos de no llevarlo.

5.2 Descripción del sistema

El sistema de tratamiento y retención de aguas sucias presente en el buque petrolero simulado consta de partes principales: la planta de tratamiento y el tanque de retención. La planta de tratamiento tiene la función de separar los lodos sólidos del agua así como desinfectarla para poder descargarla al mar con el mínimo impacto medioambiental en lugar de la descarga. Por otro lado, el tanque de retención tiene la función almacenar las aguas sucias para su posterior envío a la planta de tratamiento, descarga a tierra o descarga al mar (siempre que sea posible).

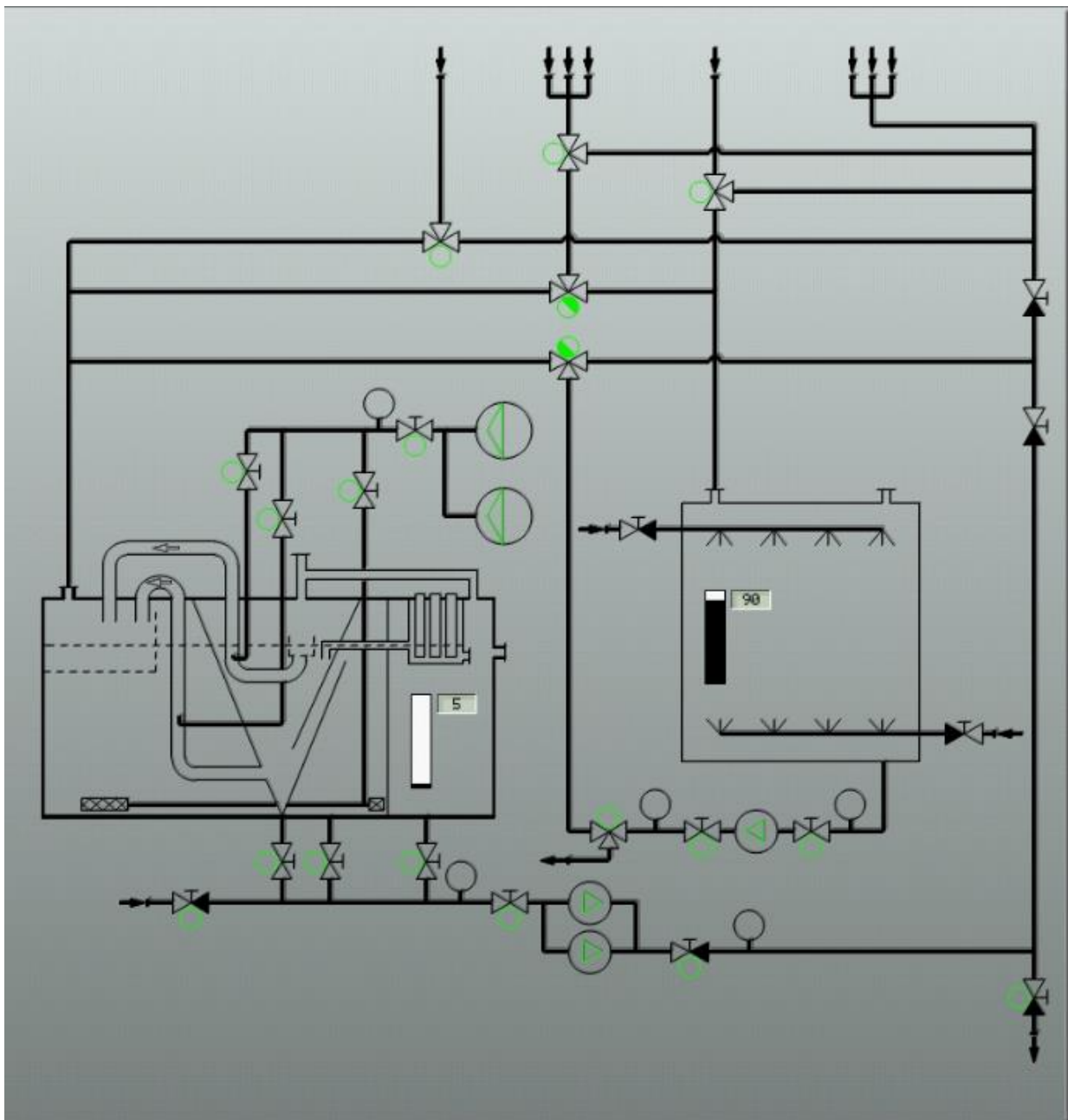


Figura 53: Esquema del sistema de tratamiento y retención de aguas sucias del buque. Fuente [13]

5.2.1 Ramales y colectores

Los ramales y colectores del sistema de aguas sucias son un conjunto de tuberías que tienen la función de transportar dichas aguas sucias de su punto de origen (inodoros y urinarios, zonas médicas) hasta el sistema de tratamiento y retención. El buque también incorpora un ramal que discurre desde la cocina o fonda hasta el sistema. El agua procedente de allí, aunque legalmente no está considerada como aguas sucias o aguas negras, puede ser tratada para separar parte del aceite que pudiera llevar.

Dicho transporte puede ser por gravedad, como en el buque tratado, o por la generación de vacío en dichas tuberías.

Todos los ramales del mismo origen se juntan en un colector. Una vez allí, el operario de la planta puede decidir donde mandar el agua, ya sea al tanque de retención, a la planta de tratamiento o descargarla al mar.

5.2.2 Planta de tratamiento

La planta de tratamiento de aguas sucias está compuesta por tres tanques: el de aireación, el de clarificación y el de cloración. Cada uno con una función en el tratamiento. La planta también incluye dos bombas y dos soplantes para la evacuación y tratamiento de las aguas.

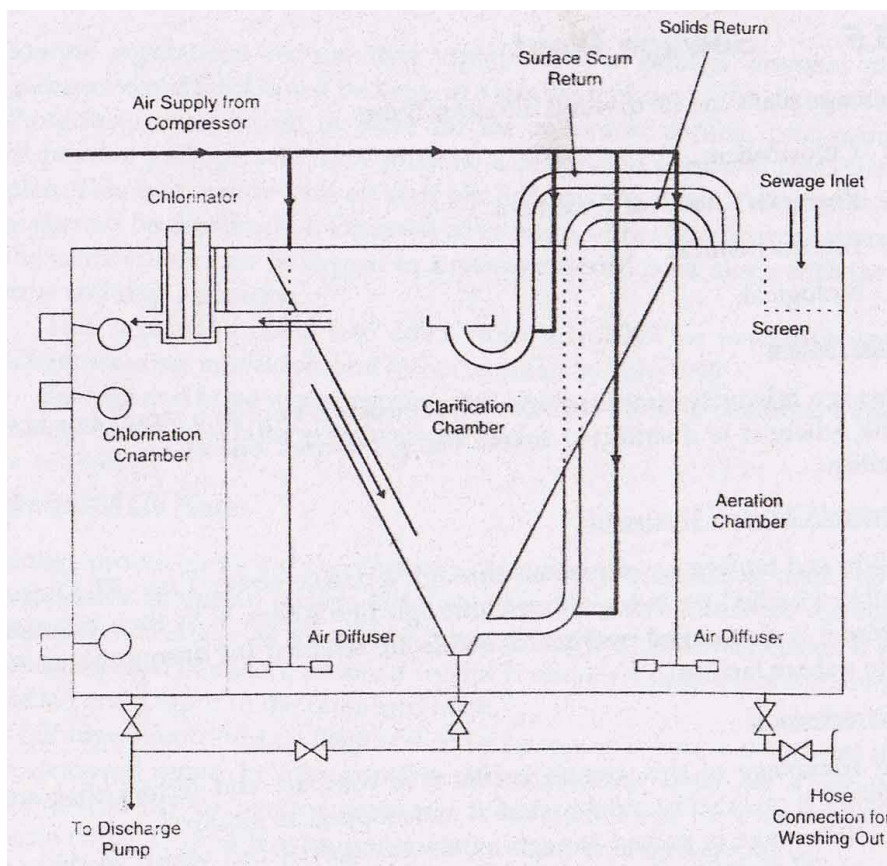


Figura 54: Ilustración de una planta de tratamiento de aguas sucias. Fuente [17].

5.2.2.1 Tanque de aireación

El tanque de aireación es el primer tanque de la planta es donde llegan las aguas sin tratar todavía. Su función es la de, mediante la insuflación de aire atmosférico a las aguas, activar las bacterias aeróbicas presentes en las aguas sucias que fagocitan los residuos sólidos en suspensión. El residuo sobrante se agrupa formando bloques de materia inerte de mayor tamaño llamados lodos y, a causa de su mayor masa, precipitan.

Como se puede comprobar en la figura 55, el gráfico muestra una cantidad muy superior de formación de lodos inertes (columna roja) durante un proceso aeróbico que con un proceso anaeróbico. Además, se observa que la producción de metano (columna verde), un gas tóxico y altamente inflamable, es inexistente en un proceso aeróbico, a diferencia del proceso anaeróbico, lo cual aumenta la seguridad operacional de la planta.

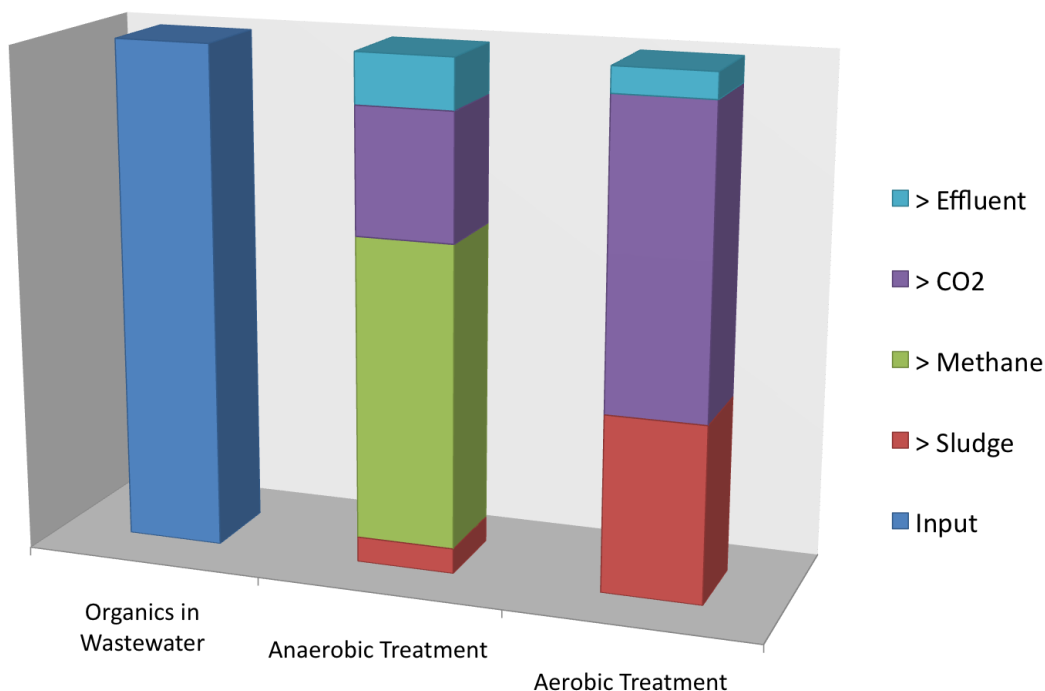


Figura 55: Representación de los componentes resultantes de la descomposición anaeróbica y aeróbica de la materia orgánica presente en las aguas sucias. Fuente [1].

5.2.2.2 Tanque de clarificación

Posteriormente, el agua pasa al tanque de clarificación cuya función es la de decantar los residuos sobrantes para así separarlos del agua. Suele tener una forma similar a una tolva para que dichos residuos fluyan hasta el fondo y no se queden pegados en las paredes.

Entre el tanque de clarificación y el de aireación existen dos tuberías transparentes que los conectan. Estas tuberías sirven para que los lodos que precipitan y los residuos que flotan el tanque de clarificación vuelvan al de aireación para que las bacterias presentes en ellos sigan realizando su acción biológica en el de aireación. Para que dichos residuos se muevan de un tanque a otro, se usa aire comprimido.

5.2.2.3 Tanque de cloración

Una vez el agua está libre de partículas sólidas, pasa al tanque de cloración. El tanque de cloración es el último paso del tratamiento. Allí, mediante la adición de cloro, ya sea en pastillas, como es el caso del buque tratado, o en una solución acuosa, se desinfecta el agua. Este paso es importante para no introducir bacterias peligrosas en el lugar de la descarga.

5.2.2.4 Soplantes

La planta incorpora dos soplantes cuya función es la de generar y mandar todo el aire comprimido necesario para el buen funcionamiento de la planta: proporcionar aire al tanque de aireación para la activación bacteriana y el accionamiento de los residuos sólidos en las tuberías de comunicación entre el tanque de clarificación y el de aireación.

Su funcionamiento puede ser en modo manual, es decir, que el operador las arranca o para cuando lo precisa, o en modo automático que implica que, cuando una soplante está funcionando, la otra está en stand-by, arrancando si la otra no es capaz de generar suficiente presión de aire.

5.2.2.5 Bombas de descarga

Las bombas centrifugas de descarga son las encargadas de evacuar el agua ya tratada de la planta al mar. La aspiración puede hacerse desde cualquier de los tres tanques ya que todos tienen una válvula de descarga, pero lo habitual es que dicha descarga se haga desde el tanque de cloración ya que es allí donde se finaliza el tratamiento.

Al igual que las soplantes, pueden funcionar en modo manual y en modo automático, es decir, cuando una arranca, la otra se pone en stand-by.

En el conducto de aspiración de la bomba de descarga también hay una válvula que permite el paso de agua salada y su función principal es la de el llenado de los tanques, siempre y cuando se abran sus válvulas de descarga, para su limpieza.

5.2.3 Tanque de retención y bomba de transferencia

El tanque de retención de aguas sucias tiene la función de almacenar las aguas sucias para una posterior descarga a tierra, descarga al mar o para mandarla a la planta de tratamiento.

Está equipado con rociadores de agua salada para evitar que los residuos sólidos se queden pegados a las paredes así como tuberías de aire comprimido en la parte inferior del tanque para evitar los residuos sólidos que precipiten sedimentos.

La salida de tanque está conectada con la aspiración de la bomba centrífuga de transferencia cuya función es la de impulsar el agua del tanque. Después de la bomba, existen un par de válvulas de tres vías en serie. La primera manda el agua a la descarga a tierra o la conduce a la otra válvula. La segunda la manda o bien a la planta de tratamiento o directamente al mar.

5.3 Análisis de la normativa aplicable al sistema

5.3.1 Párrafo 3 de la Regulación 1 del Anexo IV del MARPOL

El párrafo 3 de la regulación 1 define el término “aguas sucias” como cualquier desagüe procedente de inodoros o urinarios, zonas consideradas médicas y zonas con animales vivos. También incluye en esta definición los efluentes que han sido mezclados con los desagües que provienen de los espacios enunciados arriba.

5.3.2 Párrafo 1 de la Regulación 9 del Anexo IV del MARPOL

El párrafo 1 de la regulación 9 expone que todo buque de más de 400 GT o que pueda llevar 15 personas o más, debe estar equipado con uno de los siguientes sistemas de tratamiento de las aguas sucias:

- 1- Una planta de tratamiento de aguas sucias acorde con los estándares de la IMO.
- 2- Un sistema de desmenuzado y desinfección de aguas sucias con la capacidad de almacenar temporalmente las aguas sucias generadas cuando el buque está a menos de 3 millas náuticas de tierra firme
- 3- Un tanque de retención de aguas sucias cuya capacidad, diseño y construcción esté acorde con la cantidad de personas a bordo y las condiciones de operación del buque, entre otros factores relevantes. También debe tener algún sistema para la observación de la cantidad de contenido dentro tanque.

5.3.3 Parte A y C de la Regulación 11 del Anexo IV del MARPOL

La parte A de la regulación 11 aplica a todos los buques que no son de pasajeros y a los de pasajeros cuando están fuera de zonas especiales.

Esta parte dicta que las descargas de aguas sucias al mar están prohibidas a no ser que:

- 1- El buque disponga y haga uso de un sistema con las características del punto 2 de la regulación 9 de este anexo, esté situado a más de 3 millas náuticas de la costa con una velocidad no inferior de 4 nudos y con un caudal de descarga moderado.
- 2- La descarga de aguas sea sin desmenuzar y desinfectar, el buque esté situado a más de 12 millas de la costa con una velocidad no inferior de 4 nudos y con un caudal de descarga moderado
- 3- El buque disponga y haga uso de un sistema con las características del punto 1 de la regulación 9 de este anexo y que la descarga se haga de tal manera que no se produzcan sólidos visibles o una decoloración del agua adyacente a la descarga.

La parte C de la regulación 11 aplica a todos los buques englobados en este anexo.

Esta parte explica que cuando las aguas sucias mezcladas con efluentes o desechos mencionados en los otros anexos del MARPOL, se deben aplicar las regulaciones de este anexo junto con las del otro.

5.3.4 Regulación 3 del anexo IV del MARPOL

La regulación 3 inhibe la aplicación de la regulación 11 de este anexo o del párrafo 4.2 del capítulo 4 del Código Polar siempre y cuando la descarga de aguas sucias tenga la intención de asegurar la seguridad del buque y de aquellos a bordo o que la descarga es consecuencia de que el buque o su equipamiento ha sido dañado y que se hayan tomado medidas razonables antes y después del suceso dañino para prevenir o minimizar la descarga.

5.3.5 Párrafo 10 a) del Anexo I de la Convención sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimientos de Desechos y otros materiales (London Convention)

El párrafo 10 a) de dicho anexo prohíbe la incineración en el mar de los lodos resultantes del tratamiento de aguas sucias.

5.4 Descripción del procedimiento de arranque y operación del sistema

En este apartado se expondrá la manipulación del contenido del tanque de retención en función de la situación de buque así como el procedimiento de puesta en marcha y operación de la planta de tratamiento de aguas sucias. En el anexo I se pueden encontrar un vídeo explicativo de los procedimientos descritos en este apartado.

5.4.1 Manipulación del contenido del tanque de retención

1. Si, por algún motivo, la planta de tratamiento es incapaz de admitir las aguas sucias, ya sea por una avería, llenado excesivo o mantenimiento, conducir los desagües al tanque de retención mediante la apertura y el cierre de las válvulas correspondientes en los ramales y los colectores.
2. Abrir el paso de aire comprimido al tanque y arrancar el compresor o soplante que lo suministra.
3. Cuando el tanque esté lleno, abrir las válvulas de aspiración y descarga de la bomba de transferencia así como establecer el donde se quiere mandar el contenido del tanque, :
 - Si se está en puerto, conectar la descarga de la bomba a la instalación portuaria responsable de las aguas sucias.
 - Si se está a menos de 12 millas náuticas de la costa, establecer que la descarga de la bomba de transferencia sea a la planta de tratamiento.
 - Si se está a más de 12 millas náuticas de la costa y la planta de tratamiento está llena también, establecer que la descarga de la bomba de transferencia sea al mar y abrir la válvula de descarga al mar. Si la planta de tratamiento todavía tiene espacio, establecer que la descarga sea a la planta de tratamiento.
4. Arrancar la bomba de transferencia y comprobar que el manómetro en la descarga y el vacuómetro en la aspiración son correctos. Abrir el paso del agua salada a los rociadores para la limpieza del tanque.

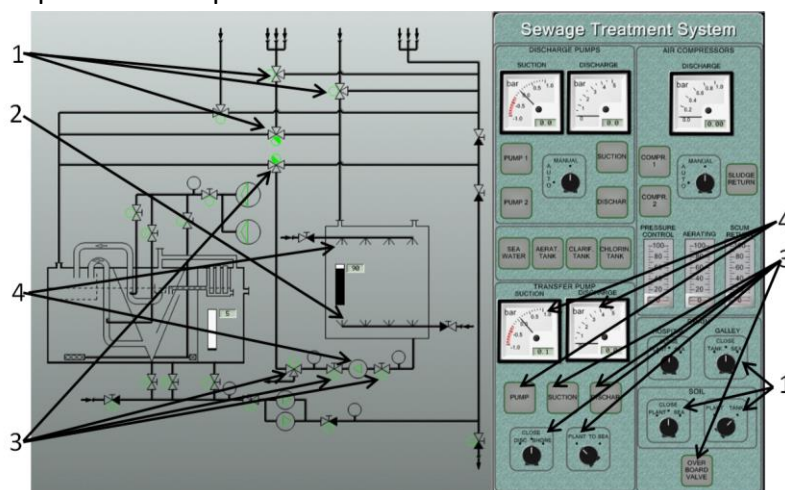


Figura 56: Procedimiento de manipulación del contenido del tanque de retención. Fuente [13]

5.4.2 Puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas sucias

1. Abrir la válvula de agua salada y las válvulas de descarga de los tanques de aireación y clarificación para limpiar los lodos precipitados presentes.
2. Conducir los desagües hasta la planta de tratamiento mediante la apertura y el cierre de las válvulas correspondientes en los ramales y los colectores y esperar que se llene.
3. Abrir la válvula de aire comprimido del tanque de aireación así como las válvulas de aire de las tuberías de retorno de los lodos y residuos flotantes del tanque de clarificación.
4. Seleccionar el modo manual de las soplantes y arrancar una de las dos. Seleccionar el modo automático para que la otra esté en stand-by.
5. Comprobar que se produce el retorno de dichos lodos y residuos flotantes al tanque de aireación.
6. Comprobar que hay producto para el tanque de cloración, ya sean pastillas o en solución acuosa.
7. Abrir las válvulas de aspiración y descarga de las bombas de descarga junto con la válvula de descarga al mar.
8. En función si se quiere descargar de forma automática la planta cuando llegue a cierto nivel de llenado, seleccionar el modo automático de las bombas de descarga. Por el contrario, si se quiere descargar a voluntad del operario, seleccionar el modo manual.
9. Analizar regularmente la concentración de cloro así como la presencia de sólidos en suspensión en el agua del tanque de cloración.

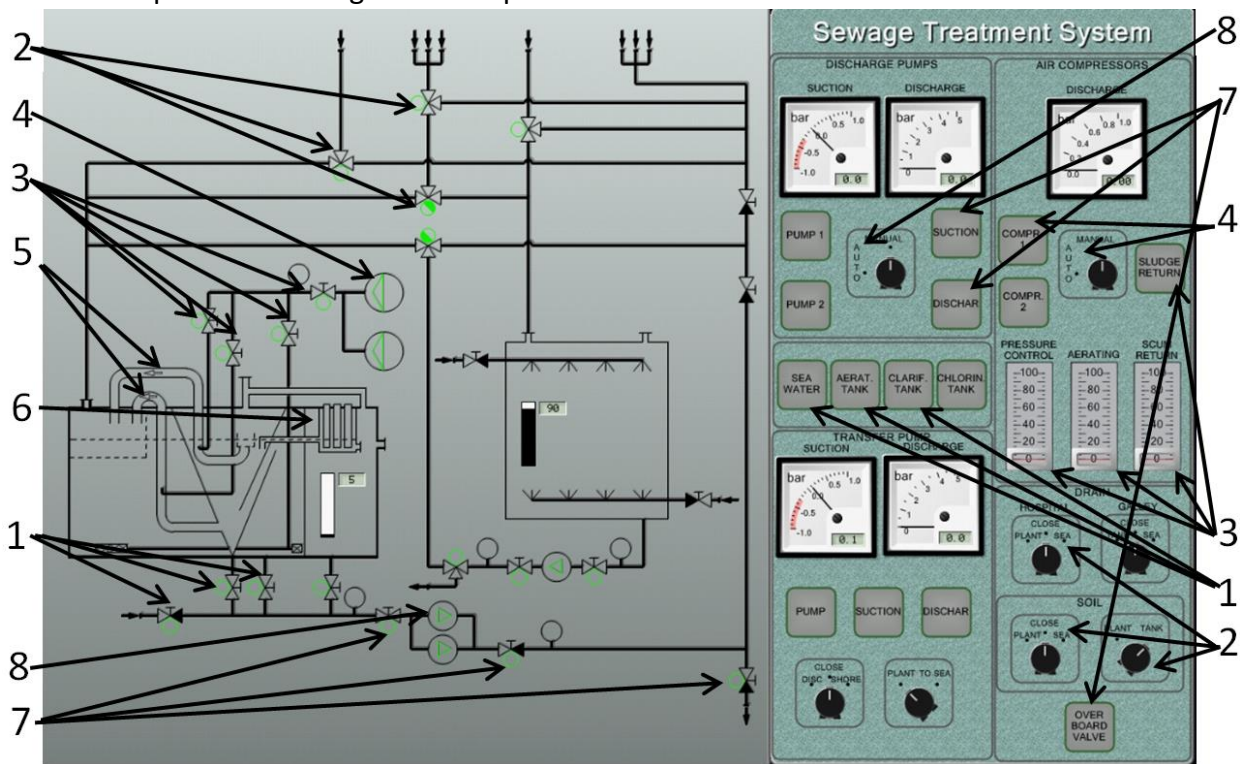


Figura 57: Procedimiento de arranque y operación de la planta de tratamiento de aguas sucias. Fuente [13]

5.5 Descripción de posibles averías o problemas y su resolución

5.5.1 Ramales y colectores

5.5.1.1 Imposibilidad de desagüe en alguna parte del sistema

Si los elementos recolectores de las aguas sucias son incapaces de mandarlas al sistema de tratamiento y retención puede suponer reboses e inundaciones de alguna parte de la habitación.

Una falta de desagüe de las aguas negras implica que hay un atasco en algún ramal o colector. Para solucionarlo, es preciso identificar el punto donde haya el taponamiento y eliminarlo. El modo más efectivo y rápido para localizarlo es identificar cuáles son los elementos que no desaguan. Esta información indica, entonces, que el lugar de la obstrucción es donde los ramales de todos estos elementos convergen.

5.5.1.2 Caudal de aguas negras inferior a lo esperado

Un caudal de aguas sucias inferior a lo supuesto puede implicar que, en alguna parte del sistema, haya una pérdida por donde los desagües fuguen. La solución a este problema es buscar el escape y repararlo.

5.5.2 Aire Comprimido

5.5.2.1 Baja presión en el circuito

Una baja presión en el circuito de aire comprimido puede ser problemático ya que, si perdura mucho en el tiempo, puede suponer un descenso en el crecimiento de las bacterias aeróbicas causando que la descomposición de los residuos sólidos se produzca mediante bacterias anaeróbicas, generando un problema de generación de gases tóxicos y lodos no inertes y corrosivos.

La causa de este problema tiene su origen en que haya una avería en las soplantes con el resultado de que no puedan subir la presión del circuito. La solución pasa por revisar las soplantes en busca del elemento averiado y repararlo o sustituirlo. Si el daño es demasiado grande, puede ser mejor opción sustituir toda la soplante.

5.5.2.2 Presión excesiva en el circuito

Una presión excesiva en el circuito tiene su origen en algún atasco en alguna de las tuberías, lo cual produce que el caudal de aire que sale por los conductos se incrementa. Esto puede tener consecuencias negativas especialmente en la tubería de aire del tanque de aireación ya que un incremento en la cantidad de aire implica un crecimiento demasiado acelerado de las bacterias aeróbicas que puede resultar en un desequilibrio en la reacción de descomposición.

El atasco seguramente sea causado por una acumulación de residuos sólidos en una tubería o por la rotura de una válvula. La solución se basa en encontrar el lugar de la obstrucción y eliminarla. En el caso de que se haya producido en una válvula, es necesario desmontarla, encontrar el elemento dañado y repararlo o sustituirlo.

5.5.3 Tanque de aireación y clarificación

5.5.3.1 Alta cantidad de lodos precipitados

La presencia de una gran cantidad de lodos en cualquiera de los dos tanques puede causar problemas de atascamiento en las tuberías de retorno al tanque de aireación así como una disminución de la capacidad de recogida de la planta.

Esta gran acumulación de lodos es consecuencia de un funcionamiento ininterrumpido de la planta demasiado largo o de un pobre mantenimiento durante los periodos de tiempo que ha estado parada. La solución es una limpieza concienzuda de dichos lodos con agua salada así como, si fuese necesario, una modificación del plan de mantenimiento que reduzca el tiempo entre limpiezas.

5.5.3.2 Caudal escaso de aire en el tanque de aireación o en las tuberías de retorno de lodos

Un caudal insuficiente de aire comprimido en el tanque de aireación o en las tuberías de retorno de lodos, tal y como se explica anteriormente, puede afectar a la reacción biológica de forma negativa, ya sea por una falta de aire para el correcto crecimiento de la población bacteriana o una falta de renovación de los lodos en el tanque de aireación que cause un decrecimiento de la cantidad de microorganismos. La causa principal de esta falta de aire se debe o bien a que hay una obstrucción en el circuito de aire comprimido o a que hay una fuga.

Ambos problemas tienen soluciones similares que se basan en identificar el lugar de la obstrucción o de la fuga y eliminar el problema mediante la eliminación del atasco o la reparación de la fuga.

5.5.4 Tanque de cloración

5.5.4.1 Alto nivel en el tanque de cloración

Un alto nivel en el tanque de cloración no tiene porqué indicar alguna avería o problema ya que solo es la indicación de que el tanque está lleno y que es necesario vaciarlo o parar su llenado, únicamente si la planta está en modo manual y es responsabilidad del operario hacerlo. A pesar de esto, si la planta está en modo automático y/o las bombas de descarga están arrancadas, un alto nivel en el tanque de cloración y, por ende, de los dos otros tanques de la planta de tratamiento implica que hay algún tipo de fallo que puede, si no se remedia a tiempo, provocar en un rebose de la planta o incluso una avería en las soplantes debido a la inundación de los conductos y, posteriormente, del ventilador de la soplante. La causa del problema puede tener varios orígenes.

En primer lugar, una obstrucción en la línea de descarga a causa de una válvula dañada no permite la evacuación del agua a través de la bomba. Si esta fuese la causa, habría un vacío bajo en la aspiración de la bomba de descarga. Si este es el problema, es necesario parar la bomba inmediatamente para evitar que trabaje en vacío durante un periodo largo y se averíe. La solución pasa por la identificación de la válvula atascada, su revisión para determinar el elemento averiado y su reparación o sustitución.

En segundo lugar, la causa puede ser una avería en las bombas de descarga que les impida descargar el caudal necesario para vaciar la planta. Para solucionar el problema, es necesario identificar el elemento averiado de la bomba o del motor eléctrico y repararlo o sustituirlo. Si el daño fuese demasiado grande, la única opción es sustituir la bomba entera.

Finalmente, el problema puede ser debido a un mal funcionamiento del sistema de control de arranque de las bombas que impida que se dé la orden de arranque cuando el nivel en el tanque está lo suficientemente alto. La avería puede ser que el sensor no indique el nivel de forma correcta, que el controlador no interprete bien la información del sensor o que el circuito de arranque de las bombas no interprete bien la orden del controlador. Para solucionar el problema es encontrar el elemento averiado y repararlo o sustituirlo.

5.5.4.2 Concentración incorrecta de cloro en el agua

Una concentración de cloro incorrecta en el agua puede resultar en, si es inferior a la que debería ser, una desinfección insuficiente del agua del tanque. Por otro lado, si es superior a la supuesta, puede producir un problema de contaminación por cloro que puede afectar negativamente al ecosistema del lugar de la descarga.

La causa de este problema radica en un mal funcionamiento del dosificador de adición de cloro. La solución, entonces, es la revisión de dicho dosificador para encontrar la avería y repararla o, si no es posible, sustituir el dosificador.

5.5.4.3 Alta concentración de residuos sólidos en suspensión en el agua del tanque

Una alta concentración de residuos sólidos en suspensión en el agua del tanque indica que la reacción de descomposición no se está produciendo de forma correcta y, por lo tanto, parte de los elementos nocivos de las aguas negras no reaccionan y consiguen llegar al tanque de cloración. Esta situación puede ser problemática ya que la descarga del agua del tanque en estas condiciones puede contaminar la zona donde se haga.

El origen de este problema se debe a una regulación incorrecta del caudal de aire comprimido que entra en el tanque de aireación, ya sea por falta de aire lo que causa una reproducción insuficiente de la población de bacterias aeróbicas y, por lo tanto, una reducción en la cantidad de residuos sólidos que son inertizados, o por un exceso de aire lo cual acelera demasiado el crecimiento de dicha población con el resultado del agotamiento de los residuos sólidos. Este agotamiento causa la muerte de un gran número de microorganismos, reduciendo la población y, por ende, ralentizando la reacción de descomposición aeróbica.

La solución a este problema es la regulación correcta del flujo de aire de entrada al tanque de aireación.

5.5.5 Tanque de retención

5.5.5.1 Alto nivel en el tanque de retención

Un alto nivel en el tanque de retención no tiene porqué indicar alguna avería o problema ya que solo es la indicación de que el tanque está lleno y que es necesario vaciarlo o parar su llenado, siempre y cuando la bomba de transferencia todavía no ha sido arrancada. Si el problema persiste durante la operación de la bomba entonces sí que es un síntoma de que hay algún fallo. Las causas de dicha situación pueden ser las siguientes:

En primer lugar, el fallo puede estar situado en el sistema de indicación de nivel el cual no detecte de forma correcta la cantidad de agua en el tanque y, por lo tanto, no avise al operario que el tanque está lleno y que necesita ser vaciado. La solución pasa por revisar que el sensor o el controlador funcionan de forma correcta y reparar o sustituir el elemento dañado.

En segundo lugar, la causa puede ser una avería en la bomba que le impide impulsar un caudal superior al flujo entrante en el tanque y, por lo tanto, se sigue llenando. Para remediar este problema es necesario parar la bomba, encontrar el elemento averiado para que pueda ser reparado o sustituido o, si el daño es extensivo a toda la bomba, sustituir la bomba entera.

En tercer lugar, es posible que haya un atasco en la línea de aspiración de la bomba de transferencia por lo que la bomba no es capaz de aspirar el contenido del tanque. Este problema también sería identificable en el vacuómetro de la aspiración de la bomba ya que al no aspirar agua, no indicaría la presencia de vacío. Si este es el problema, es necesario parar la bomba inmediatamente para evitar que trabaje en vacío durante un periodo largo y se averíe. Para solucionar el problema es necesario eliminar la obstrucción.

5.5.5.2 Alta cantidad de precipitados

Una alta cantidad de residuos sólidos precipitados en las paredes o parte inferior de tanque puede suponer un problema porque, por un lado, disminuye la capacidad total del tanque si la cantidad es lo suficientemente grande y, por otro lado, disminuye la seguridad operativa del sistema ya que la descomposición de dichos residuos dentro del tanque, a diferencia del tanque de aireación de la planta, se produce de forma anaeróbica con lo que se generan gases tóxicos e inflamables.

La causa de este problema se debe a un fallo del sistema de limpieza que permite que dichos residuos no sean descargados cuando la bomba está arrancada. La solución pasa por eliminar las posibles obstrucciones de sal en la línea de agua salada para el rociamiento del tanque o atascos en las salidas del aire comprimido en la parte inferior del tanque.

5.5.6 Bombas de descarga y de transferencia

5.5.6.1 Alta presión en la descarga/bajo vacío en la aspiración

Estas dos situaciones, a pesar de ser diferentes, presentan una causa y unas consecuencias para la bomba similares. En primer lugar, una alta presión en la descarga puede causar una sobrecarga en la bomba que puede resultar en un fallo mecánico. De la misma forma, un bajo vacío en la aspiración implica que la bomba está trabajando en vacío (aspirando aire y no líquido) y, para una bomba centrífuga, puede resultar en una avería si dicha situación perdura mucho en el tiempo.

El origen ambas situaciones es un atascamiento en las líneas respectivas que impide que el fluido salga en el caso de la descarga o que no entre en la bomba en el caso de la aspiración. La solución consiste en eliminar la obstrucción.

5.5.6.2 Baja presión de descarga

Una baja presión en la descarga de la bomba es indicativo que hay una avería en la bomba que impide que impulse el agua a la presión y el caudal necesario. La solución al problema es revisar la bomba y del motor eléctrico en busca del elemento que falla y repararlo o sustituirlo. Si el daño es extensivo a la bomba, sustituir la bomba entera.

Conclusiones

Para concluir este trabajo, cabe destacar que, tal y como se puede comprobar a lo largo del trabajo, las complejidades que presentan todos los sistemas descritos, especialmente los específicos para los buques petroleros, exigen a la tripulación unos conocimientos técnicos superiores a los requeridos para la operación de un buque convencional. Por lo tanto, se comprueba que la formación teórica obligatoria para poder trabajar en este tipo de buques no solo es beneficiosa sino que también es necesaria para el buen funcionamiento de los buques.

En lo referente a los elementos que componen los sistemas descritos así como sus características, queda probado que es imprescindible que la tripulación responsable de dichos sistemas tenga un conocimiento lo suficientemente avanzado para entender su funcionamiento y que no se limite saber los procedimientos de operación sin ninguna base teórica.

Por otro lado, en la formación de los marinos, la normativa es un aspecto que no suele ser analizado a fondo fuera de las asignaturas que instruyen sobre ella específicamente. A pesar de esto, en el trabajo se refleja la importancia de conocer dicha normativa para entender el porqué del diseño, el funcionamiento y la operación de los sistemas lo cual, a su vez, permite operar el buque de forma más segura y eficiente.

También es necesario recalcar que la operación de los sistemas de abordaje no es un concepto rígido donde todos los buques tienen el mismo procedimiento sino que, en función de las características y las condiciones de la nave, pueden variar ciertos detalles. Esto, a colación de lo mencionado en el segundo párrafo de estas conclusiones, demuestra que es preciso conocer el motivo de las acciones que se toman durante dichos procedimientos para que, en el caso de que las circunstancias del sistema varíen, el responsable sea capaz de actuar para revertir la situación o de mitigar los efectos negativos del problema hasta que se pueda solucionar.

Con respecto a las averías y problemas en los sistemas, es necesario saber identificar el problema a partir de los síntomas que muestra el sistema para poder actuar de la forma más rápida y eficaz posible. Adicionalmente, la identificación y revisión de los elementos que son más proclives a fallar o a funcionar de forma errónea es una competencia indispensable para evitar que se produzcan averías ya que una acción preventiva en un componente a punto de fallar impide suceda un inconveniente mayor en el sistema.

Finalmente, en lo que se refiere al cumplimiento de los objetivos del trabajo, se puede concluir que se ha alcanzado el de familiarizar al lector con todo lo engloba a los sistemas descritos, especialmente en aquellos apartados con una base más teórica.

Por otro lado, en las secciones con una raíz más práctica, el hecho de usar un buque simulado como modelo y no poder visualizar los procedimientos de los sistemas en uno real impide que las demostraciones sean lo más cercanas a la realidad posible. A pesar de esto, la utilización del simulador permite que la descripción sea mucho más inteligible y, por lo tanto, teniendo en cuenta la imposibilidad de llegar a al máximo nivel de adaptación a la vida real, el uso del simulador permite cumplir el objetivo de mostrar los procedimientos de forma mucho más práctica.

Bibliografía

- [1] Aerobic vs. Anaerobic Treatment in Wastewater Systems. *Enviromental Business Specialists, LLC*. [En línea] [Citado el: 15 de Octubre de 2020.] <https://www.ebsbiowizard.com/aerobic-vs-anaerobic-treatment-in-wastewater-systems-part-1-2-1275/>.
- [2] **Baranwal, Prateek. 2015.** Flammability Diagram - Importance in Cargo Operations. *Mariner's Digest*. [En línea] 30 de Julio de 2015. [Citado el: 6 de Octubre de 2020.] <https://marinersdigest.blogspot.com/2015/07/flammability-diagram.html>.
- [3] **Bhatia, Mitesh. 2019.** How does the condenser decrease back pressure of turbine exhaust? Are they even related? *Quora*. [En línea] 18 de Febrero de 2019. [Citado el: 17 de Septiembre de 2020.] <https://www.quora.com/How-does-the-condenser-decrease-back-pressure-of-turbine-exhaust-Are-they-even-related>.
- [4] **Boiko, Anatoli, Govorushchenko, Yuri y Usaty, Aleksander. 2019.** Optimization of geometric quality criteria. *SoftIn Way*. [En línea] 3 de Mayo de 2019. [Citado el: 8 de Octubre de 2020.] <https://blog.softinway.com/page/9/>.
- [5] **Bombas Azcue s.a.** Manual de las Bombas Azcue série bloc.
- [6] **Carey, Stephen. 2018.** How does "cargo oil pump turbine" (COPT) work on an oil tanker? *Quora*. [En línea] 17 de Junio de 2018. [Citado el: 30 de Septiembre de 2020.] <https://www.quora.com/How-does-cargo-oil-pump-turbine-COPT-work-on-an-oil-tanker>.
- [7] Cargo oil pump. *KSB*. [En línea] [Citado el: 16 de Septiembre de 2020.] <https://www.ksb.com/centrifugal-pump-lexicon/cargo-oil-pump/191958/>.
- [8] **Chauhan, Joginder. 2016.** Function of labyrinth packing in steam turbine. *Askpowerplant*. [En línea] 10 de Noviembre de 2016. [Citado el: 2 de Octubre de 2020.] <https://www.askpowerplant.com/turbine-labyrinth-packing/>.
- [9] Common Steam Boiler Problems. *Chardon Laboratories*. [En línea] [Citado el: 27 de Septiembre de 2020.] <https://www.chardonlabs.com/resources/common-steam-boiler-problems/>.
- [10] **2019.** Deck Water Seal – Design, construction and purpose in Inert Gas (IG) system on board ships. *Marine Knowledge*. [En línea] 5 de Febrero de 2019. [Citado el: 5 de Septiembre de 2020.] <http://marineexamdoc.blogspot.com/2019/02/deck-seal.html>.
- [11] **Echevarrieta Sazatornil, Ignacio. 2019.** Apuntes de la asignatura Transportes Especiales 280657. Barcelona : s.n., 2019.
- [12] **Echevarrieta Sazatornil, Ignacio y De Melo Rodríguez, Germán. 2018.** Apuntes de la asignatura de Turbomáquinas y Generadores de Vapor 280654. Barcelona : s.n., 2018.

- [13] **2007.** Engine Room Simulator ERS 4000. *Vessel Model "Tanker LCC" Trainee Manual*. s.l. : Transas Ltd., 2007.
- [14] **2016.** España actualiza la normativa sobre el control de la gestión de residuos de los buques en los puertos. *Spanish Ports*. [En línea] 3 de Agosto de 2016. [Citado el: 12 de Octubre de 2020.] <http://www.spanishports.es/texto-diario/mostrar/478886/espana-actualiza-normativa-sobre-control-gestion-residuos-buques-puertos>.
- [15] Exhaust gas boilers And economisers for marine machinery spaces. *Machinery Spaces*. [En línea] [Citado el: 7 de Octubre de 2020.] <http://www.machineryspaces.com/exhaust-gas-heat-exchangers.html>.
- [16] Filters and strainers for marine fuel oil treatment. *Machinery Spaces*. [En línea] [Citado el: 7 de Octubre de 2020.] <http://www.machineryspaces.com/fuel-filters.html>.
- [17] **Firoz. 2014.** Biological Sewage Treatment Plant. *Marine Engineering Study Materials*. [En línea] 2 de Mayo de 2014. [Citado el: 15 de Octubre de 2020.] <https://marineengineeringonline.com/biological-sewage-treatment-plant/>.
- [18] Fuel heater handling procedure for motor ships. *General Cargo Ship*. [En línea] [Citado el: 7 de Octubre de 2020.] Fuel heater handling procedure for motor ships.
- [19] **García Soutullo, Roberto. 2014.** Sistema de Gas Inerte a Bordo. *Ingeniero Marino*. [En línea] 2014. [Citado el: 5 de Septiembre de 2020.] <https://ingenieromarino.com/sistema-de-gas-inerte-a-bordo/>.
- [20] **Grau Mur, Ramón y Borén Altés, Clara. 2018.** Apuntes de la asignatura Operación y mantenimiento de máquinas y sistemas marinos 280656. Barcelona : s.n., 2018.
- [21] **2020.** Heat exchange. Straight-tube heat exchanger one pass tube side diagram. *Anatomynote*. [En línea] 24 de Enero de 2020. [Citado el: 7 de Octubre de 2020.] <https://www.anatomynote.com/industry-and-machinery/thermal-energy/heat-exchanger-straight-tube-heat-exchanger-one-pass-tube-side-diagram/>.
- [22] **Hope, Ranger. 2008.** Auxiliary equipment & systems for marine engine drivers. *Splash Maritime*. [En línea] 2008. [Citado el: 12 de Octubre de 2020.] <http://www.splashmaritime.com.au/Marops/data/text/Med3tex/Engauxmed2.htm>.
- [23] **IMO. 2015.** Anexo I, Capítulo 1, Regulación 4. *Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques*. 2015.
- [24] —. **2015.** Anexo I, Capítulo 3, Regulación 12. *Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques*. 2015.
- [25] —. **2013.** Anexo I, Capítulo 3, Regulación 14. *Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques*. 2013.
- [26] —. **2015.** Anexo I, Capítulo 3, Regulación 15. *Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques*. 2015.
- [27] —. **2004.** Anexo I, Capítulo 4, Regulación 22. *Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques*. 2004.

- [28] —. **2014**. Capítulo 15. *Código Internacional de Sistemas de Seguridad Contra Incendios*. 2014.
- [29] —. **1981**. Capítulo II-1, Regulación 32. *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar*. 1981.
- [30] —. **1981**. Capítulo II-1, Regulación 33. *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar*. 1981.
- [31] —. **2017**. Capítulo II-1, Regulación 35-1. *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar*. 2017.
- [32] —. **1981**. Capítulo II-1, Regulación 48. *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar*. 1981.
- [33] —. **1981**. Capítulo II-1, Regulación 52 . *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar*. 1981.
- [34] —. **2015**. Capítulo II-2, Regulación 04. *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar*. 2015.
- [35] —. **2017**. Capítulo II-2, Regulación 09. *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar*. 2017.
- [36] —. **2016**. Capítulo II-2, Regulacion 10. *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar*. 2016.
- [37] **Josefsson, Lars. 2020**. Steam Boiler Questions and Answers. *Steamesteem*. [En línea] 11 de Junio de 2020. [Citado el: 27 de Septiembre de 2020.] <http://steamesteem.com/?steam-boilers/boiler-questions.html>.
- [38] Kangrim Inert Gas System. *Ravebo*. [En línea] [Citado el: 6 de Octubre de 2020.] <https://www.ravebo.nl/marine-a-offshore/kangrim6/inert-gas-system>.
- [39] **Kitchin, John. 2011**. Interacting with the steam Entropy-temperature chart. *Matlab in Chemical Engineering*. [En línea] 22 de Noviembre de 2011. [Citado el: 07 de Octubre de 2020.] <http://matlab.cheme.cmu.edu/2011/11/21/interacting-with-the-steam-entropy-temperature-chart/>.
- [40] **Krause, Pawel y Behrendt, Cezary. 2007**. Operating characteristics of the cargo turbo-pump. *Problemy Eksploatacji*. s.l. : Instytut Technologii Eksploatacji, 2007, 11.
- [41] Labyrinth glands. *Turbine Plant Systems*. [En línea] [Citado el: 8 de Octubre de 2020.] <http://mda139.net/turbineplant/labyrinth-glands.html>.
- [42] **McGeorge, H. D. 1999**. Tanker and gas carrier cargo pumps and systems. *Marine Auxiliary Machinery*. s.l. : Elsevier Ltd., 1999, 6.
- [43] —. **1999**. Ship Service System. *Marine Auxiliary Machinery*. s.l. : Elsevier Ltd., 1999, 3.
- [44] **MI News Network. 2020**. Mauritius Declares Environmental Emergency Over Oil Spill From Cargo Ship. *Marine Insight*. [En línea] 10 de Agosto de 2020. [Citado el: 12 de

- Octubre de 2020.] <https://www.marineinsight.com/shipping-news/mauritus-declares-environmental-emergency-over-oil-spill-from-tanker-ship/>.
- [45] **minbox. 2019.** TROUBLESHOOTINGS FOR AUXILIARY BOILER. *Marineinbox*. [En línea] 1 de Noviembre de 2019. [Citado el: 27 de Septiembre de 2020.] <http://marineinbox.com/marine-exams/troubleshootings-for-auxiliary-boiler/>.
- [46] **Norris, A. 1978.** Operation of machinery in ships: steam turbines, boilers and auxiliary plants. *Marine Engineering Practice*. Londres : Marine Management (Holdings) Ltd., 1978, Vol. II, 15.
- [47] Oil content monitoring - Working principles & procedure for ship service systems. *General Cargo Ship*. [En línea] [Citado el: 12 de Octubre de 2020.] <http://www.generalcargoship.com/oil-content-monitor.html>.
- [48] **Ordás, Santiago. 2018.** Apuntes de la asignatura Prevención de la Contaminación y Sostenibilidad 280649. Barcelona : s.n., 2018.
- [49] Pump applications & solutions (part 3 of 5). *Industrial Electronics*. [En línea] [Citado el: 8 de Octubre de 2020.] https://www.industrial-electronics.com/engineering-industrial/hopap_16c.html.
- [50] **2017.** Pv Breaker Inert Gas. *Inertgaszaimono*. [En línea] 21 de Marzo de 2017. [Citado el: 6 de Octubre de 2020.] <http://inertgaszaimono.blogspot.com/2017/03/pv-breaker-inert-gas.html>.
- [51] **Reigdas, I. G. 2004.** *El buque tanque*. Santander : Ediciones TGD, 2004. 8493379271.
- [52] **Rodríguez Castillo, Manuel. 2017.** Apuntes de la asignatura de Equipos Navales 280666. Barcelona : s.n., 2017.
- [53] **Rowley, Joseph. 2018.** What are the effect if high back pressure in steam turbine? *Quora*. [En línea] 18 de Diciembre de 2018. [Citado el: 14 de Septiembre de 2020.] <https://www.quora.com/What-are-the-effect-if-high-back-pressure-in-steam-turbine>.
- [54] **Santiago, Avelino. 2014.** Calderas pirotubulares de dos pasos. *Slideshare*. [En línea] 30 de Septiembre de 2014. [Citado el: 7 de Octubre de 2020.] <https://es.slideshare.net/AvelinoSantiago/calderas-pirotubulares-dedospasos>.
- [55] **2017.** Shinko cargo oil, tank cleaning & ballast pumps KV/CVL. *Shinko*. [En línea] 5 de Noviembre de 2017. [Citado el: 5 de Octubre de 2020.] http://www.shinkohir.co.jp/pdf/catalog/KV_CVL.pdf.
- [56] **Simpson, Dr. Lynn y Laursen, Wendy. 2016.** Live Export: Following the Effluent Trail. *The Marine Executive*. [En línea] 15 de Noviembre de 2016. [Citado el: 17 de Octubre de 2020.] <https://www.maritime-executive.com/features/live-export-following-the-effluent-trail>.
- [57] Single and double volute casing. *Rodelta*. [En línea] [Citado el: 30 de Septiembre de 2020.] <https://www.rodelta.com/volute-pump-casing/>.

- [58] Sketches and Diagrams of Bilge and Ballast Systems for Marine Machinery Spaces. *Machinery Spaces*. [En línea] [Citado el: 12 de Octubre de 2020.] <http://www.machineryspaces.com/bilge-and-ballast-system-sketches.html>.
- [59] **2012.** Stavros Kairis. *Marine boilers oil contamination*. [En línea] 25 de Octubre de 2012. [Citado el: 27 de Septiembre de 2020.] <https://officerofthewatch.com/2012/10/25/marine-boilers-oil-contamination/>.
- [60] **Vejndla, Prasad. 2014.** Steam Turbines Basics. *Slideshare*. [En línea] 14 de Octubre de 2014. [Citado el: 8 de Octubre de 2020.] <https://www.slideshare.net/prasadvejndla/steam-turbine-40579201>.
- [61] **Wankhede, Anish. 2020.** 4 Important Terms Related to Sewage Treatment Plant on Ships. *Marine Insight*. [En línea] 21 de Mayo de 2020. [Citado el: 17 de Octubre de 2020.] <https://www.marineinsight.com/tech/4-important-terms-related-to-sewage-treatment-plant-on-ships/>.
- [62] —. **2015.** Boiler survey, inspection and tests. *A Guide to Boiler Operation and Maintenance*. 2015.
- [63] —. **2020.** Maintenance and Checks for Sewage Treatment Plant on Ship. *Marine Insight*. [En línea] 13 de Agosto de 2020. [Citado el: 17 de Octubre de 2020.] <https://www.marineinsight.com/guidelines/maintenance-and-checks-for-sewage-treatment-plant-on-ship/>.
- [64] —. **2019.** Sewage Treatment Plant on Ships Explained. *Marine Insight*. [En línea] 29 de Noviembre de 2019. [Citado el: 15 de Octubre de 2020.] <https://www.marineinsight.com/tech/sewage-treatment-plant/>.
- [65] —. **2020.** What is an Inert Gas or IG System on Ships? *Marine Insight*. [En línea] 13 de Agosto de 2020. [Citado el: 15 de Septiembre de 2020.] <https://www.marineinsight.com/marine-safety/protection-against-explosion-the-i-g-system/>.
- [66] Wärtsilä Flue Gas. *Wärtsilä*. [En línea] [Citado el: 6 de Octubre de 2020.] <https://www.wartsila.com/marine/build/gas-solutions/inert-gas/wartsila-moss-flue-gas>.

Anexos

Anexo I: Enlaces de los vídeos explicativos

1. Sistema de gas inerte

- 1.1 Arranque del sistema principal: <https://youtu.be/xuY5DofVpGc>
- 1.2 Arranque del sistema auxiliar: <https://youtu.be/t1QWICnE3gc>
- 1.3 Venteo de los tanques de carga: https://youtu.be/wPfPO_Y8czk

2. Planta de vapor

- 2.1 Arranque de la caldera auxiliar: <https://youtu.be/Vfup1gF9-tY>
- 2.2 Cambio de combustible de la caldera auxiliar: <https://youtu.be/HKlYmh81Hno>
- 2.3 Operación de la caldera de gases de escape: <https://youtu.be/shXtLjWhWzY>

3. Turbo-bombas para la carga

- 3.1 Arranque y operación de las turbo-bombas: <https://youtu.be/dcg0aQIRSCe>

4. Sistema de Sentinas

- 4.1 Achique y separación del agua de sentinas: <https://youtu.be/8RT2rrR4W9c>
- 4.2 Achique de emergencia de las sentinas: <https://youtu.be/ijjHAGZkZ40>
- 4.3 Descarga a tierra de los tanques de sentinas: <https://youtu.be/rlegyiKaLCg>

5. Sistema de tratamiento y retención de aguas sucias

- 5.1 Operación del sistema de tratamiento: <https://youtu.be/DNpgE7v00zU>