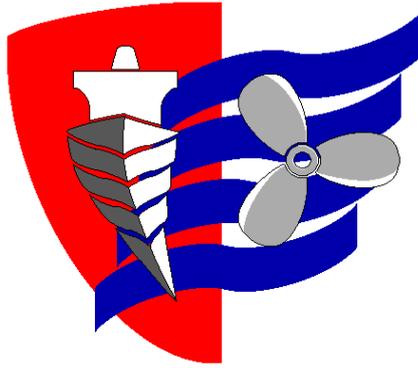


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**OPERACIONES DE CARGA Y
DESCARGA EN EL BUQUE
PETROQUÍMICO VIRGEN DEL
CISNE.**

**Loading and unloading operations on the
petrochemical ship Virgen del Cisne.**

Para acceder al Título de Grado en
**INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE
MARÍTIMO**

Autor: Adrián Valle Boada

Director: Francisco Jose Correa Ruiz

Septiembre - 2024

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Grado

**OPERACIONES DE CARGA Y
DESCARGA EN EL BUQUE
PETROQUÍMICO VIRGEN DEL
CISNE.**

**Loading and unloading operations on the
petrochemical ship Virgen del Cisne.**

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE
MARÍTIMO**

Septiembre - 2024

ANEXO V: AVISO DE RESPONSABILIDAD

AVISO DE RESPONSABILIDAD

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el profesor/a director no son responsables del contenido último de este Trabajo.

RESUMEN

El presente trabajo final de grado con título “Operaciones de carga y descarga en el buque petroquímico Virgen del Cisne” está destinado a completar los estudios del grado en Ingeniería Náutica y Transporte Marítimo y tiene como objetivo principal mencionar las diferentes etapas en las operaciones de carga y descarga en un buque petroquímico. Para ello utilizaré la información y experiencia obtenida durante los 6 meses ininterrumpidos de embarque en el buque Virgen del Cisne como alumno de puente apoyándome de los distintos conceptos teóricos que he adquirido durante mi etapa como alumno de la escuela técnica superior de náutica de Santander.

Al comienzo del trabajo se realizará una breve descripción teórica de los peligros de la carga que transporta el buque Virgen del Cisne y de los distintos equipos y materiales utilizados a bordo para las operaciones de carga y descarga, los cuales son fundamentales. Por lo tanto, el lector se podrá familiarizar de los peligros de las cargas transportadas en un buque petroquímico y de los distintos equipos y materiales utilizados.

Posteriormente se hará una descripción detallada de todos los procedimientos de la carga y descarga en un buque petroquímico incluyendo el transporte de la carga.

El resultado final de este trabajo es realizar un guía sobre los procedimientos en las operaciones de carga y descarga en un buque petroquímico con el fin de ayudar a la comprensión de su operatividad de forma eficaz.

PALABRAS CLAVE

Buque petroquímico, carga, descarga, tanque y seguridad.

ABSTRACT

This final degree project entitled "Loading and unloading operations on the petrochemical vessel Virgen del Cisne" is intended to complete the studies of the degree in Nautical Engineering and Maritime Transport and its main objective is to mention the different stages in loading and unloading operations on a petrochemical vessel. To do this, I will use the information and experience obtained during the 6 uninterrupted months of embarkation on the ship Virgen del Cisne as a bridge student, relying on the different theoretical concepts that I have acquired during my time as a student at the Higher Technical School of Navigation of Santander.

At the beginning of the work, a brief theoretical description of the dangers of the cargo carried by the ship Virgen del Cisne and the different equipment and materials used on board for loading and unloading operations, which are fundamental, will be made. Therefore, the reader will be able to familiarize himself with the dangers of the cargoes transported on a petrochemical vessel and the different equipment and materials used.

Subsequently, a detailed description of all the procedures of loading and unloading on a petrochemical vessel, including the transport of the cargo, will be made.

The final result of this work is to make a guide on the procedures in loading and unloading operations on a petrochemical vessel in order to help understand its operation effectively.

KEY WORDS

Petrochemical ship, cargo, discharge, tank and safety.

ÍNDICE

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
2.	METODOLOGÍA.....	2
2.1	TIPOS DE BUQUES.....	3
2.1.1.	PETROLEROS PARA CRUDOS	3
2.1.2.	PETROLEROS PARA PRODUCTOS.....	4
2.1.3.	QUIMIQUEROS.....	5
2.2	CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE	6
2.3	DESCRIPCIÓN DEL BUQUE	8
2.4	CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA	9
2.5	PROPIEDADES	10
2.5.1.	DENSIDAD	10
2.5.2.	VISCOSIDAD.....	10
2.5.3.	GRAVEDAD API.....	11
2.5.4.	PRESIÓN DE VAPOR.....	11
2.5.5.	POUR POINT.....	11
2.5.6.	PUNTO DE INFLAMACIÓN	12
2.6	PELIGROS	12
2.6.1.	LÍMITES DE INFLAMABILIDAD	12
2.6.2.	DIAGRAMA DE INFLAMABILIDAD.....	13
2.6.3.	TOXICIDAD.....	15
3.	DESARROLLO	18
3.1	BRAZOS DE CARGA Y MANGUERAS	18
3.1.1.	SISTEMA DE LIBERACIÓN DE EMERGENCIA.....	19
3.2	MANIFOLDS	20
3.3	CROSS OVER.....	22
3.4	DROP VALVE.....	23
3.5	SONDA-RADAR.....	24
3.6	ALARMAS DE NIVEL (HIGH LEVEL ALARM Y OVERFILL LEVEL ALARM)	27
3.7	PV VALVES	29
3.8	MAST RISER.....	30
3.9	P/V BREAKER.....	31
3.10	STEAM HEATER	32
3.11	SISTEMA DE GAS INERTE.....	33

3.11.1.	REEMPLAZO DEL GAS EN LOS TANQUES DE CARGA.....	34
3.11.2.	INERIZACIÓN DE LOS TANQUES.....	35
3.11.3.	PURGADO DE LOS TANQUES	36
3.11.4.	VENTILACIÓN DE LOS TANQUES DE CARGA	36
3.11.5.	COMPONENTE DE UNA INSTALACIÓN DE GAS INERTE	38
3.12	BOMBAS DE DESCARGA.....	40
3.12.1.	ETAPAS DE LA BOMBA FRAMO.....	43
3.12.2.	BOMBA DE DESCARGA DE EMERGENCIA.....	44
3.12.3.	UNIDAD FRAMO	45
3.13	TANQUES DE LASTRE.....	46
3.13.1.	EDUCTOR.....	47
3.14	LAVADO DE TANQUES CON CRUDO	48
3.14.1.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL LAVADO CON CRUDO	48
3.14.2.	MÁQUINAS FIJAS DE LAVADO	49
3.14.3.	MÉTODOS DE LAVADO DE LOS TANQUES CON CRUDO	49
3.15	BOMBA WILDDEN	50
3.16	ENTRADA A ESPACIOS CERRADOS	51
3.16.1.	ANTES DE LA ENTRADA AL TANQUE.....	52
3.16.2.	ENTRADA AL TANQUE	52
4.	OPERACIONES DE CARGA Y DESCARGA	54
4.1	PRINCIPALES DOCUMENTOS.....	55
4.2	ÓRDENES DE VIAJES.....	57
4.3	PLAN DE CARGA PREVIO	57
4.4	PLAN DE CARGA PROPUESTO	58
4.5	COMPROBACIONES ANTES DE LA OPERACIÓN DE CARGA	59
4.5.1.	ANTES DE LA LLEGADA AL PUERTO DE CARGA	59
4.5.2.	BUQUE AMARRADO	61
4.6	OPERACIÓN DE CARGA	63
4.6.1.	PRIMERA ETAPA	63
4.6.2.	SEGUNDA ETAPA	64
4.6.3.	TERCERA ETAPA.....	65
4.6.4.	DESLASTRE DURANTE LA GARGA	66
4.6.5.	INSPECCIÓN DE LOS TANQUES AL FINALIZAR LA CARGA	66
4.7	VIAJE CON EL BUQUE CARGADO	67

4.8	COMPROBACIONES PREVIAS A LA DESCARGA.....	68
4.9	PLAN DE DESCARGA.....	69
4.10	SAFETY MEETING	70
4.11	OPERACIÓN DE DESCARGA.....	71
4.11.1.	INICIO DE LA DESCARGA	71
4.11.2.	DURANTE LA DESCARGA	72
4.11.3.	STRIPPING	73
4.11.4.	LASTRE DURANTE LA DESCARGA	73
4.12	POSIBLES EMERGENCIAS DURANTE LAS OPERACIONES DE CARGA Y DESCARGA	74
4.12.1.	INCENDIO A BORDO	74
4.12.2.	DERRAMES	75
4.12.3.	PARADA DE EMERGENCIA	76
5.	CONCLUSIONES	78
	Referencias.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Características de los tanques de carga del buque Virgen del Cisne.</i>	7
Tabla 2 <i>Características de los tanques de lastre del buque Virgen del Cisne.</i>	8

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Virgen del Cisne	9
Ilustración 2 Triángulo de fuego	13
Ilustración 3 Diagrama de inflamabilidad.....	15
Ilustración 4 Manguera conectada a manifold.....	20
Ilustración 5 Manifold.....	22
Ilustración 6 Cross over.....	23
Ilustración 7 Drop Valve.....	24
Ilustración 8 Sonda Radar.....	25
Ilustración 9 Programa TankRadar Star.....	26
Ilustración 10 Alarma de nivel.....	28
Ilustración 11 Alarmas de nivel de la sala de control de carga.....	29
Ilustración 12 PV Valves.....	30
Ilustración 13 PV Breaker	32
Ilustración 14 Calentador de vapor.....	33
Ilustración 15 Ventilación del tanque de carga número 6 babor.....	38
Ilustración 16 Deck Seal.....	39
Ilustración 17 Bomba de descarga del tanque de carga 1 estribor.....	41
Ilustración 18 Bomba FRAMO	42
Ilustración 19 Reachique de la bomba FRAMO	43
Ilustración 20 Purgado de la bomba FRAMO	44
Ilustración 21 Unidad FRAMO de la sala de control de carga.....	46
Ilustración 22 Bomba Wilden.....	51
Ilustración 23 Monoboya.....	54
Ilustración 24 Operación STS	55
Ilustración 25 Parada de emergencia de la sala de control de carga.....	77

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las operaciones de carga y descarga de petróleo y derivados del petróleo son fundamentales para la cadena logística global. Por lo que en este trabajo tiene como objetivo hacer una evaluación de las distintas etapas en las operaciones de carga y descarga en un buque petroquímico. También se analizarán los distintos elementos y equipos del buque que participan en dichas operaciones. Para la utilización de los equipos durante las operaciones, la tripulación debe de tener un alto conocimiento debido a que su mal uso durante las operaciones podría suponer un riesgo para el medioambiente, la salud humana y la infraestructura de la terminal y del buque

En mi experiencia durante 6 meses embarcado en el buque petroquímico Virgen del Cisne he podido participar en distintas operaciones de carga y descarga en terminales y monoboyas donde he adquirido conocimientos y experiencia y he podido apreciar los diferentes riesgos, distintos procedimientos y distintas normativas dependiendo de donde y como se realicen las operaciones.

El objetivo final de este trabajo es crear una guía que abarque un análisis preciso de las operaciones de carga y descarga y de los distintos elementos y equipos utilizados en el buque para que los alumnos de puente que embarquen por primera vez en un buque de estas características tengan en un único documento los conceptos mínimos que se necesitan saber para trabajar en un buque petroquímico.

2. METODOLOGÍA

Para la realización del presente trabajo final de grado me he basado principalmente en la información recopilada en mi periodo de embarque durante 6 meses en el buque Virgen del Cisne, donde he podido informarme acerca de los distintos equipos utilizados en las operaciones de carga y descarga y también he podido conocer los procedimientos llevados a cabo en dichas operaciones. Los medios de información han sido principalmente los manuales del buque, información proporcionada por la naviera y el conocimiento transmitido por parte de los oficiales y capitanes, los cuales son grandísimos profesionales altamente cualificados con una gran experiencia en distintos tipos de buques petroleros o petroquímicos.

Otra parte importante de la realización del trabajo final de grado ha sido la investigación de la parte teórica. Para ello he realizado lecturas de una gran variedad libros, revistas y documentos de publicaciones en inglés y en castellano. Las publicaciones en las que me he apoyado para la realización del trabajo son principalmente de capitanes con una gran experiencia en el ámbito del transporte de productos como el crudo o productos derivados del petróleo. También me he apoyado en las normativas que rigen distintas publicaciones como pueden ser la Guía Internacional de Seguridad para Buques Tanques y Terminales (ISGOTT), Convenio Internacional Para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL), Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS), etc.

A partir de la información obtenida del buque Virgen del Cisne he podido realizar un análisis profundo de los distintos equipos utilizados para posteriormente explicar cómo se debe actuar en cada etapa de las operaciones de carga y descarga en un buque petroquímico una vez comprendidos los equipos.

Finalmente, la estructuración del trabajo está basada en un trabajo teórico-experimental en el que nos encontramos con un problema, un profundo desarrollo, diferentes etapas en las operaciones de carga y descarga y unas conclusiones.

2.1 TIPOS DE BUQUES

2.1.1. PETROLEROS PARA CRUDOS

- Costeros: buques que se dedican a la navegación costera realizando trayectos muy cortos. Son buques de hasta 16.500 DWT y se encargan de transportar petróleo crudo o derivados.
- Handy Size Tanker: buques que realizan operaciones por el Caribe y la costa Este de Estados Unidos, puertos del mar Mediterráneo y el Norte de Europa. Estos buques transportan petróleo crudo y derivados. Su peso muerto está comprendido entre 10.000 DWT y 30.000 DWT.
- Handymax: buques con un peso muerto comprendido entre 30.000 DWT y 50.000 DWT.
- Panamax: los buques que poseen este nombre es debido a que sus dimensiones se ajustan a las dimensiones máximas permitidas para el tránsito por el Canal de Panamá, las cuales son alrededor de 274 metros de eslora, 32 metros de manga y 12 o 13 metros de calado. El tonelaje de estos barcos ronda entre los 50.000 DWT hasta los 80.000 DWT, por lo que tienen una capacidad de carga de 350.000 a 500.000 barriles de petróleo.
- Aframax: son buques que tienen un tonelaje de entre 80.000 DWT y 120.000 DWT, por lo que tienen una capacidad de carga entre 500.000 y 800.000 barriles de petróleo. Los buques Aframax transportan petróleo crudo y sus tráficos más comunes son en las zonas del Caribe, el mar Mediterráneo y el Golfo Pérsico. Este tipo de buques calculan el coste total del transporte a través del método Average Freight Rate Assessment o también conocido como AFRA. (Church, 2021)
- Suezmax: los buques que poseen este nombre es debido a que sus dimensiones se ajustan a las dimensiones máximas permitidas para el tránsito por el Canal de Suez. El tonelaje de estos barcos ronda entre los 120.000 DWT hasta los 200.000 DWT, por lo que tienen una capacidad de carga entre 900.000 y 1.200.000 barriles de petróleo crudo. Sus tráficos más comunes son en la costa Este de África con

destino al Caribe, costa Este de Estados Unidos, Norte de Europa y el Mar Negro.

- V.L.C.C: son conocidos como Very Large Crude Carrier. Estos buques debido a sus grandes dimensiones y capacidades de carga operan generalmente en instalaciones offshore y realizan rutas largas cargando en el Golfo Árabe con destino a Estados Unidos o puertos de Asia. El tonelaje de estos buques se encuentra entre los 200.000 DWT y los 320.000 DWT, por lo que pueden transportar alrededor de dos millones de barriles.
- U.L.C.C: son conocidos como Ultra Large Crude Carrier. Este grupo se refiere a buques con un tonelaje mayor de 320.000 DWT, lo que equivale al transporte de tres millones de barriles aproximadamente. Al igual que el anterior tipo de buque, el U.L.C.C también realiza viajes largos entre los puertos del Golfo Árabe y Estados Unidos y también entre puertos de Asia y la costa Oeste de África. (Ricardo Galdea, 2004).

2.1.2. PETROLEROS PARA PRODUCTOS

Los petroleros para productos se dedican al transporte de distintos tipos de productos refinados. La mayoría de este grupo de petroleros están capacitados para cargar distintos grados de productos al mismo tiempo en tanques segregados. Los petroleros para productos refinados tienen tuberías y bombas independientes para evitar la contaminación entre los productos que se cargan al mismo tiempo. Los petroleros de productos se clasifican de la siguiente manera:

- MR1: son conocidos como Medium Range 1 Product Tanker. Este grupo se refiere a buques con un tonelaje que ronda entre 20.000 DWT y 40.000 DWT.
- MR2: son conocidos como Medium Range 2 Product Tanker. En este grupo se encuentran los buques con un tonelaje que ronda entre 40.000 DWT y 55.000 DWT.

- LR1: son conocidos como Long Range 1 Product Carrier. En este grupo se encuentran los buques con un tonelaje que ronda entre 55.000 DWT y 80.000 DWT.
- LR2: son conocidos como Long Range 2 Product Carrier. En este grupo se encuentran los buques con un tonelaje que ronda entre 80.000 DWT y 120.000 DWT.
- LR3: son conocidos como Long Range 3 Product Carrier. En este grupo se encuentran los buques con un tonelaje que ronda entre 120.000 DWT y 150.000 DWT.

2.1.3. QUIMIQUEROS

- Quimiqueros: en este tipo de buques se encuentran los buques que pueden transportar productos petroquímicos, químicos orgánicos, químicos inorgánicos como aceites animales y vegetales de manera simultánea y en distintos tanques. Los productos que se transportan en los buques petroquímicos son tóxicos, venenosos, corrosivos y volátiles. Los productos que pueden transportar estos buques aparecen listados en el Código Internacional de Quimiqueros (Código CIQ). La OMI ha realizado una clasificación debido a la variedad de sustancias y debido al riesgo que pueden provocar las sustancias a la salud humana y al medioambiente:
 - Buque de tipo 1: sustancias muy peligrosas, los buques que transportan estas sustancias poseen doble fondo. La cantidad máxima de carga por tanque en un buque de esta clase no sobrepasará los 1250 metros cúbicos.
 - Buque de tipo 2: sustancias de riesgo medio. La cantidad máxima de carga por tanque en un buque de esta clase no sobrepasará los 3000 metros cúbicos.
 - Buque de tipo 3: sustancias de bajo nivel de riesgo. No tiene un límite de carga máxima por cada tanque. (IMO, 2019)

Estos tipos de buques tienen un tonelaje de 40.000 DWT aproximadamente y realizan operaciones en diversas rutas.

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE

El buque Virgen del Cisne transporta principalmente gasolina y diésel.

El buque Virgen del Cisne pertenece a la clase buque petrolero Panamax. Los barcos de la clase Panamax son aquellos diseñados para ajustarse a las dimensiones máximas permitidas para el tránsito por las antiguas esclusas del canal de Panamá. Principales características de buque Virgen del Cisne:

- Peso muerto: 49.999 dwt.
- Capacidad de la carga: 53.526 m³ (98%, incluidos los slop tanks).
- Calado de verano: 13.06 m.
- Eslora: 183.09 m.
- Length between PP: 174 m.
- Manga: 32.2 m.
- Main Engine: MAN B & W Dooshan.
- MCR: 9480 kW a 127 rpm.
- NCR (77% MCR): 8058 kw a 120.3 rpm.
- Aux Boiler: Aalborg Industries 1 X 18.000 kg/h Capaz de operar con combustible bajo en azufre cuando el buque está operando en zona ECA.
- Tipo de sistema de ventilación instalado: Ventilaciones de alta velocidad, elevador de mástil, disyuntor fotovoltaico / capacidad máxima de ventilación: 5.700 m³/horas.
- BWTS (Ballast Water Treatment System): Ingeniería del Medio Marino Sunrui Balclor. Modelo BC1500.
- Construcción: 2009, SPP Plant & Shipbuilding CO. LTD Corea del Sur.
- Clase: Bureau Veritas.
- Bandera: Chipre.
- Dueño: Deloria Shipping CO LTD.

- Gerente general: Marflet Marine SA.
- Gerente Técnico: Synergy.
- Número OMI: 97428372.
- Número MMSI: 210080000.
- Gasolina: 37.530 mt (0.72 mt/m3).
- Naphtha: 33.882 mt (0.65 mt/m3).
- MTBE: 38.573 mt (0.74 mt/m3).
- Calado de verano: 13,076 m.
- Francobordo de verano: 6,053 m.
- Capacidad total de los tanques de lastre: 23020.768 m3.
- Capacidad total de agua dulce: 413.329 m3. (Marflet Marine, s.f.)
- Características de los tanques:

Tabla 1 *Características de los tanques de carga del buque Virgen del Cisne.*

TANQUE	CAPACIDAD 98%	CAPACIDAD 100%
1 Babor	3069.15 m3	3131.78 m3
1 Estribor	3070.7 m3	3133.70 m3
2 Babor	4618.43 m3	4712.69 m3
2 Estribor	4616.44 m3	4710.65 m3
3 Babor	4707.29 m3	4803.36 m3
3 Estribor	4699.39 m3	4795.30 m3
4 Babor	4709.14 m3	4805.24 m3
4 Estribor	4701.93 m3	4797.88 m3
5 Babor	4710.32 m3	4806.45 m3
5 Estribor	4698.19 m3	4794.07 m3
6 Babor	4262.44 m3	4349.43 m3
6 Estribor	4248.54 m3	4335.25 m3
Slop Babor	704.57 m3	718.95 m3
Slop Estribor	693.8 m3	707.96 m3
Residual		97.22
TOTAL	53510.33	54602.38

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2 Características de los tanques de lastre del buque *Virgen del Cisne*.

TANQUE	CAPACIDAD 100%
1 Babor	1732.89 m ³
1 Estribor	2012.22 m ³
2 Babor	1532.99 m ³
2 Estribor	1812.33 m ³
3 Babor	1525.23 m ³
3 Estribor	1804.57 m ³
4 Babor	1525.23 m ³
4 Estribor	1804.57 m ³
5 Babor	1519.41 m ³
5 Estribor	1798.75 m ³
6 Babor	1901.97m ³
6 Estribor	2239.29 m ³
Aft Peak	708.46 m ³
Fore Peak	1112.87 m ³

Fuente: Elaboración propia.

2.3 DESCRIPCIÓN DEL BUQUE

El buque *Virgen del Cisne* es un buque petroquímico de tipo Panamax.

El buque cuenta con un doble casco, tiene una eslora de 183,09 metros, una manga de 32,2 metros y un calado de verano de 13,06 metros. El buque *Virgen del Cisne* puede albergar una tripulación máxima de 25 tripulantes.

La mayor parte del espacio del buque *Virgen del Cisne* está para los tanques de carga. Está compuesto de un total de 12 tanques de carga más 2 tanques slops, dentro del slop de babor encontraremos el tanque residual. Los tanques de carga están enumerados de proa a popa.

Por otro lado, el buque *Virgen del Cisne* contiene 12 tanques de lastre más el fore peak tank y el aft peak tank. Los tanques de lastre se encuentran a los

costados del buque y su función principal es que el buque pueda ser navegable en condición de lastre y tenga estabilidad.

Ilustración 1 *Virgen del Cisne*



Fuente: *balticshipping.com.*

2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA

El buque Virgen del Cisne al ser un buque petroquímico puede transportar todo tipo de productos como petróleo en crudo, productos refinados de petróleo y productos petroquímicos.

Actualmente el buque transporta productos refinados del petróleo como pueden ser nafta, gasolina, diésel, Fuel oil, ULSD, etc. Estos productos refinados del petróleo son aquellos derivados de un procesamiento del petróleo crudo que se realiza en las refinerías. El proceso es conocido comúnmente como refinación e incluye distintas etapas como:

- Separación, en esta etapa se separan los componentes del petróleo crudo en función de sus puntos de ebullición.
- Conversión: en esta etapa se transforman las moléculas grandes en moléculas más pequeñas.

- Tratamiento: en esta etapa se eliminan las impurezas y se mejoran las propiedades de los productos finales.

Una vez realizados estos procesos se obtienen los productos finales para distintas aplicaciones industriales, residenciales o comerciales.

2.5 PROPIEDADES

2.5.1. DENSIDAD

La densidad es una propiedad física muy importante que describe la relación entre la masa de un producto y el volumen que ocupa. Normalmente se expresa en gramos por centímetro cúbico (g / cm^3) o kilogramos por metro cúbico (kg / m^3)

La densidad de los productos refinados del petróleo es importante debido a que influye en la logística de almacenamiento y transporte. Los tanques de los buques tienen que estar diseñados para el transporte de productos con densidades distintas.

2.5.2. VISCOSIDAD

La viscosidad es una medida de resistencia interna de un fluido como resultado de los efectos de adherencia y cohesión. Hay que diferenciar dos tipos de viscosidad; la viscosidad dinámica y la viscosidad cinemática, esta última se mide en Stokes (St) o centímetros cuadrados por segundo (cm^2/s). También la viscosidad puede medirse en centistokes (cSt):

$$1 \text{ St} = 1 \frac{cm^2}{s} = 0,0001m^2/s$$

$$1 \text{ cSt} = 1 \frac{mm^2}{s} = 10^{-6} m^2/s$$

La viscosidad es una característica muy importante dentro de la industria del petróleo ya que cuanto menor sea la viscosidad más fácil será el bombeo y el transporte por las tuberías lo que facilita las operaciones de carga y descarga.

La temperatura influye en la viscosidad de modo que, si la temperatura decrece, la viscosidad incrementará.

2.5.3. GRAVEDAD API

La gravedad API o también conocida como American Petroleum Institute, es una medida de la densidad relativa de los líquidos de petróleo en comparación con el agua. Creada por American Petroleum Institute para clasificar los distintos tipos de crudo y los productos refinados. La gravedad API se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Gravedad API a } 60^{\circ}\text{F} = \frac{141,5}{G_{E60^{\circ}/60^{\circ}\text{F}}} - 131,5$$

Los petróleos ligeros, con gravedad API alta, tienen una mayor proporción de fracciones ligeras que se puede refinar en productos como diésel y gasolina. Los petróleos pesados, con gravedad API baja, tienen más fracciones pesadas y se necesitan procesos más difíciles y costosos para poder refinarse con productos útiles. Por lo tanto, los petróleos ligeros son más valioso que los petróleos pesados.

2.5.4. PRESIÓN DE VAPOR

La presión de vapor es una medida de la volatibilidad de una sustancia, indicando la cantidad de vapor liberada cuando el líquido se encuentra en equilibrio a una temperatura concreta. Cuando la temperatura incrementa, la presión vapor aumenta. La presión de vapor se mide en kilopascales (kPa), milímetros de mercurio (mmHg) y libras por pulgada cuadrada (psi).

Un combustible con mucha presión de vapor puede evaporarse rápidamente y provocar mezclas inflamables con el aire, por lo que habría un riesgo de explosión.

2.5.5. POUR POINT

El punto de fluidez o también conocido como pour point, es la temperatura en el que un producto en estado líquido deja de fluir, por lo que si un producto se encuentra en una temperatura menor de su pour point no podrá fluir.

2.5.6. PUNTO DE INFLAMACIÓN

El punto de inflamación o también conocido como flash point. Para realizar la medición de este valor en un producto, se realiza la prueba de taza cerrada en un laboratorio. La prueba consiste en aplicar calor lentamente a través de una llama pequeña a la muestra del producto dentro de una cápsula. El punto de inflamación es la temperatura mínima en la que se observa un destello al aplicarle la llama. Esta mezcla de gas y aire correspondería a la mezcla del límite inflamable inferior (LFL). Se clasifica la inflamabilidad del petróleo crudo y sus derivados del siguiente modo:

- Volátiles: productos con un punto de inflamación menor de 60°C.
- No volátiles: productos con un punto de inflamabilidad igual o mayor de 60°C.

2.6 PELIGROS

En el transporte de crudo o productos refinados de petróleo por vía marítima podemos encontrar diversos peligros que podrían afectar a la salud humana y la infraestructura del buque, infraestructura del puerto y medioambiente si no se tienen en cuenta los peligros.

Normalmente el buque Virgen del Cisne transporta productos refinados del petróleo como se menciona anteriormente por lo que la mayor parte de los productos que se transportan tienen un punto de inflamación menor de 60° centígrados y también poseen una rápida vaporización y son muy inflamables por lo que se les considerarían volátiles. (IMO, 2022).

Principalmente mencionaré los peligros relacionados con la alta inflamabilidad de los productos de crudo o sus derivados.

2.6.1. LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

- LFL o Límite Inferior de Inflamabilidad: es la concentración mínima de gases de hidrocarburos en el aire que puede ocasionar una explosión

si se encuentra una ignición presente. Por debajo de este nivel mínimo no se produce una combustión.

- UFL o Límite Superior de Inflamabilidad: es la máxima concentración de gases de hidrocarburos en el aire que puede ocasionar una explosión si se encuentra una fuente de ignición presente. Por encima de este nivel máximo no se produce combustión.

2.6.2. DIAGRAMA DE INFLAMABILIDAD

Para conocer el diagrama de inflamabilidad primero hay que conocer el triángulo de fuego. El triángulo de fuego nos muestra los 3 componentes para que se produzca un incendio, estos componentes son:

- Combustible
- Calor
- Oxígeno

Para que se produzca un incendio estos 3 componentes tienen que estar activos.

Ilustración 2 *Triángulo de fuego*



Fuente: *mciproteccion.com*

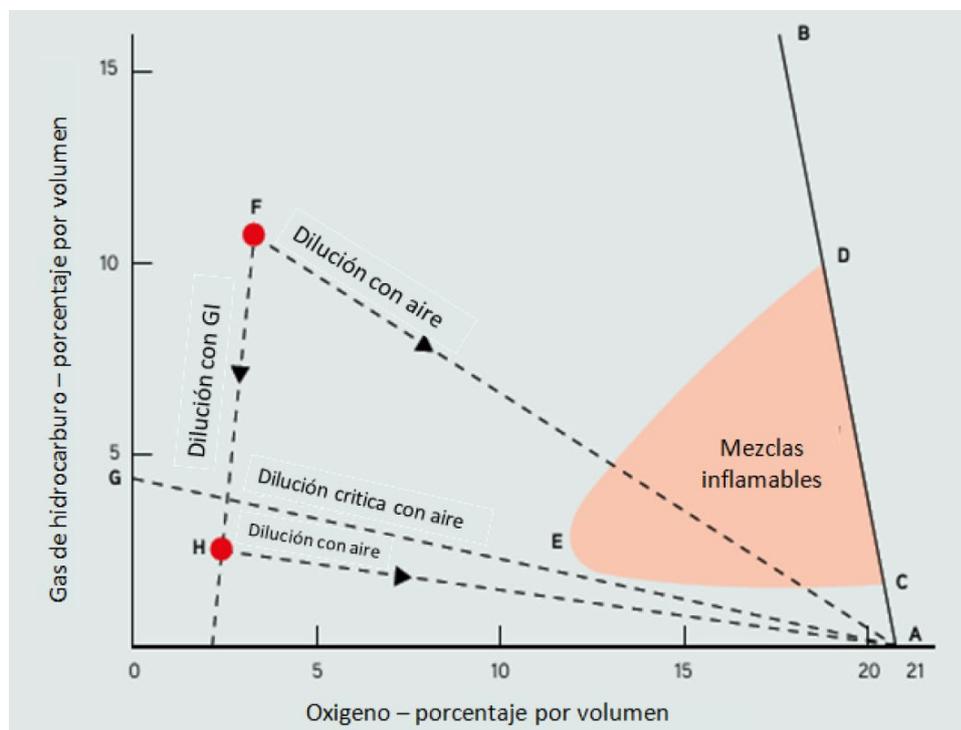
El petróleo crudo y los productos refinados del petróleo producen gases de hidrocarburo en las operaciones de carga y descarga, por lo que siempre habrá en el interior de los tanques gases combustibles. El factor humano no puede controlar la cantidad de gases emitidos por el petróleo crudo y derivados de petróleo y tampoco puede controlar siempre las posibles fuentes

de ignición por lo que el factor humano debe de controlar el volumen de oxígeno que se encuentra en el interior de los tanques. Para ello los buques que transportan este tipo de productos o productos similares que pueden ser inflamables necesitan una planta de gas inerte para poder eliminar el oxígeno del triángulo de fuego y crear una atmósfera segura. En cuanto al diagrama de inflamabilidad que se muestra en la siguiente página:

1. El punto A, indica que la atmósfera del tanque tiene una cantidad de oxígeno en un 20,9%.
2. Al introducir carga al interior del tanque, aumenta la cantidad de hidrocarburos y disminuye la cantidad de oxígeno en el interior del tanque. En el diagrama se muestra en la pendiente AB.
3. El oxígeno se reduce del nivel A al nivel B y la cantidad de hidrocarburos continúa aumentando desde un 0% hasta aproximadamente un 15% en volumen.
4. El punto C es el límite inferior de inflamabilidad y el punto D es el límite superior de inflamabilidad, los cuales se definieron anteriormente. Por lo que habrá que mantener la mezcla de hidrocarburos fuera de los límites inflamables.
5. A continuación, se introduce gas inerte para reducir el límite superior de inflamabilidad y aumentar el límite inferior de inflamabilidad y nos encontraremos en el punto E. Por lo tanto, el área CED contiene mezcla inflamable. Si la mezcla de hidrocarburo se encuentra fuera de esta área, la mezcla no puede arder.
6. El punto F indica que el contenido de oxígeno se encuentra alrededor de un 4% y el contenido de hidrocarburos se encuentra alrededor del 11%. Este es el momento en el que el producto ha sido descargado pero el contenido de hidrocarburo continúa en el interior del tanque. Por lo que, si se introduce aire fresco en el interior del tanque, el tanque tiene tendencia a alcanzar un nivel de oxígeno del 20,9% y podría producirse una explosión debido a que el aire pasa a través de la mezcla inflamable.

7. Finalmente, para evitar esto lo que habrá que hacer será introducir gas inerte en el interior del tanque de carga hasta llegar al punto H. Una vez que los niveles de hidrocarburo se encuentran en el punto H, se podrá introducir aire fresco.
8. Si el nivel de hidrocarburos dentro del tanque de carga se encuentra en el punto G, la dilución del aire pasará muy cerca del rango inflamable. Por lo que GA es el límite para que cualquier dilución de aire entre dentro del rango inflamable.

Ilustración 3 *Diagrama de inflamabilidad.*



Fuente: *ISGOTT*

2.6.3. TOXICIDAD

La toxicidad la cantidad necesaria para que un producto puede perjudicar la salud humana. Los productos tóxicos pueden ingresar al cuerpo humano de tres formas distintas; ingestión, inhalación y contacto con la piel.

Dependiendo de los niveles de toxicidad en el que los productos entran en contacto con el ser humano pueden tener efectos leves o efectos perjudiciales. Los bajos niveles de toxicidad pueden provocar; dolores de

cabeza, mareos e irritaciones. Los altos niveles de toxicidad pueden provocar; pérdida de conocimiento, parálisis y muerte.

2.6.3.1 GASES TÓXICOS

El petróleo crudo y sus derivados pueden manifestar distintos compuestos tóxicos en forma gaseosa, los más comunes son el ácido sulfhídrico H_2S y el benceno C_6H_6 . Estos gases pueden entrar en contacto de las tres formas distintas mencionadas anteriormente; ingestión, inhalación y contacto con la piel. Focalizándonos en los peligros ocasionados por la inhalación de gases, es muy importante aclarar que el contacto con estos gases pueden provocar unos distintos síntomas los cuales dependen de la intensidad de exposición. Los efectos pueden ser leves con unos niveles bajos de exposición, pero pueden ser fatales cuando se supera un umbral establecido. (Devold, 2013).

Las distintas empresas del sector marítimo han creado diferentes niveles de exposición para que el personal del buque y el personal de tierra se encuentren seguros cuando realizan sus respectivos trabajos y estén en contacto con este tipo de gases. Estos niveles sirven como referencia y establecen las condiciones en las que el personal de tierra y el personal del buque pueden desarrollar sus trabajos y en las condiciones en las que no es viable realizar cualquier trabajo. Los niveles son los siguientes:

- TLV-TWA (valor umbral límite): concentración a la que una persona puede estar expuesta en una jornada laboral de 8 horas sin riesgos para su salud.
- TLV-STEL (valor umbral límite-promedio ponderado en el tiempo): concentración máxima a la que una persona puede estar expuesta durante un corto periodo de tiempo, el cual no debe de superar los 15 minutos.
- TLV-C (valor límite umbral-cima): concentración máxima permitida que no puede superarse.

2.6.3.2 PETROLEO LÍQUIDO

- Si el petróleo líquido se ingiere vía oral puede causar vómitos.

- Si el petróleo líquido se inhala y entra en contacto con los pulmones puede ocasionar graves problemas de salud. Especialmente los productos volátiles
- Es importante la utilización de manera correcta de un equipo EPP para evitar el contacto del petróleo líquido con la piel u ojos ya que puede ocasionar dermatitis o irritaciones. Especialmente los productos volátiles.

3. DESARROLLO

3.1 BRAZOS DE CARGA Y MANGUERAS

Los brazos de carga y las mangueras son los elementos que conecta la terminal o la monoboya para la transferencia de la carga hacia nuestro buque o nuestra descarga hacia la monoboya, terminal u operaciones STS, conocidas como ship to ship.

Un brazo de carga marina (MLA) es un equipo de tuberías utilizado para transferir cargas líquidas o cargas gaseosas hacia los buques tanque o viceversa. (Sastry & Seekumar, 2012).

Los brazos de carga tienen las siguientes características:

- Vida útil: 30 años con un correcto mantenimiento.
- Bajo riesgo en derrames y de ruptura ya que está equipado con un sistema de liberación de emergencia.
- Tiempo de acoplamiento corto y puede ser operado por una única persona.
- La inversión inicial es alta pero el coste en mantenimiento es muy bajo.
- El rate de carga y descarga se ajusta al diámetro de las tuberías del buque.

Las mangueras flexibles tienen las siguientes características:

- Vida útil: relativamente corta ya que se deben de reemplazar de 6 a 12 meses.
- Las mangueras flexibles poseen un alto riesgo en derrames y contaminación medioambiental. También propensa poca seguridad a los trabajadores ya que son más susceptibles a romperse en comparación con los brazos de carga.
- El tiempo de acoplamiento es mayor que el de los brazos de carga ya que las mangueras flexibles se tienen que conectar manualmente y se requiere bastante personal.

- El rate de carga y descarga está limitado ya que las mangueras flexibles son susceptibles a reventar. (Rambridge, Jacob, & Monyemangene, 2019)

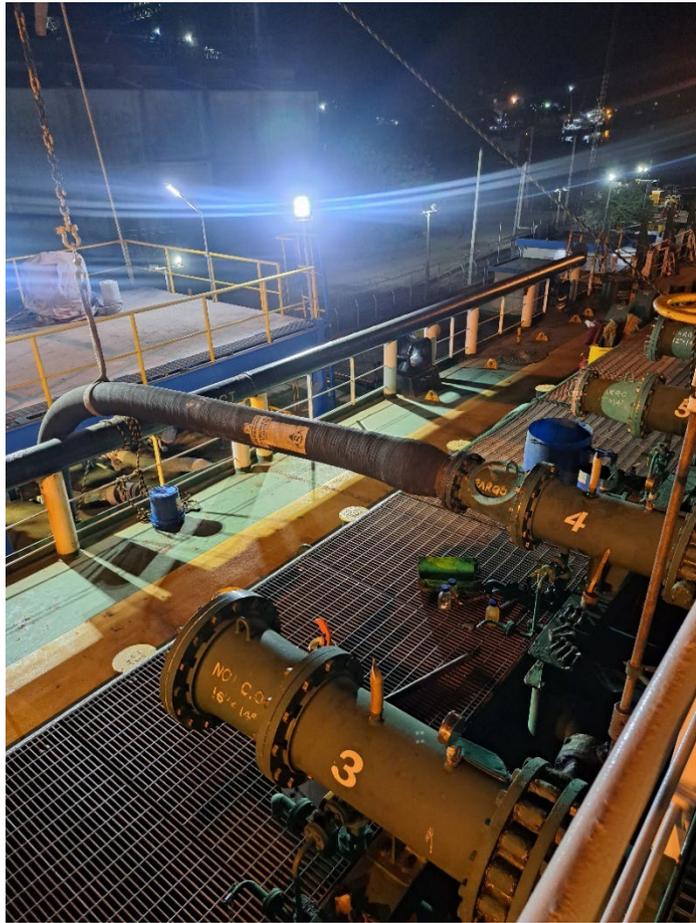
En resumen, las mangueras son flexibles, pero son más propensas a fugas y producir contaminación marina al estar fabricadas por caucho y al ser más inestables las mangueras necesitan la ayuda de la grúa del buque para su estabilidad.

Los brazos de carga son estructuras más rígidas y se adaptan a los cambios de francobordo del buque ya que con el paso de la carga o la descarga el francobordo del buque cambiará. Son menos propensos a fugas y por lo tanto más seguros desde el punto de vista de las operaciones de carga y descarga. Estos últimos son más modernos y no necesitan la ayuda de la grúa del buque para su estabilidad. Los brazos de carga están equipados con conductores eléctricos para protegerlos contra la caída de rayos y bridas aislantes para evitar que se produzcan chispas cuando se conectan al manifold del buque.

3.1.1. SISTEMA DE LIBERACIÓN DE EMERGENCIA.

Un Sistema de Liberación de Emergencia (ERS) o conocido en inglés como Emergency Release System tiene la función de desconectar inmediatamente un brazo de carga de un buque cuando se detectan situaciones de emergencia como puede ser un mínimo derrame de carga. El sistema ERS está compuesto principalmente por las válvulas de liberación de emergencia (ERV). Son válvulas se encuentran ubicadas en las líneas de carga y descarga y se cierran automáticamente para evitar derrames en caso de emergencia. El sistema ERS está compuesto también por la conexión de liberación de emergencia (ERC), el cual se activa en situaciones de emergencia para separar el manifold del buque y el brazo de carga. (OCIMF, 2019).

Ilustración 4 *Manguera conectada a manifold*



Fuente: Elaboración propia.

3.2 MANIFOLDS

Manifold o también llamado colector es un conjunto de tuberías localizadas en mitad de la cubierta principal del buque. Los colectores es el lugar donde podremos conectar los brazos de carga o las mangueras para la transferencia de la carga.

Los colectores se encuentran a babor y a estribor de la cubierta principal del buque. El buque Virgen del Cisne cuenta con 6 colectores a babor y 6 colectores a estribor, utilizados para la carga, un colector slop a babor y un colector slop a estribor también utilizados para la carga y además el slop de babor tiene un pequeño tanque residual donde se almacenan restos de

hidrocarburos hasta el momento de poder transferirlos a tierra o a una gabarra para su posterior eliminación.

También en manifold se encuentra la vapour line, la cual es una línea que se conecta a tierra para enviar directamente los gases de hidrocarburos a la terminal durante las operaciones. Esta línea se utiliza cuando la terminal lo requiera

Cada colector está conectado a su respectivo tanque, por lo que se podrá hacer cargas de distintos productos si fuera necesario. Aun así, el buque contiene cross over, los cuales permiten cambiar la carga de una dirección a un tanque hacia otro tanque.

Las medidas del diámetro de los colectores varían teniendo por ejemplo colectores de 10"x12" y 12x14". Esta variación está relacionada a la dimensión de los tanques, por lo que los tanques con menor capacidad tendrán un colector más pequeño que los tanques de mayor capacidad. También estas distintas medidas de los colectores permiten al buque conectarse con el brazo de carga adecuado que tiene la terminal o una monoboya.

Los colectores H.F.O (Heavy Fuel Oil) y M.D.O (Marine Diesel Oil) son utilizados para repostar combustible, también conocida esta operación como bunkering.

Ilustración 5 *Manifold.*



Fuente: Elaboración propia.

3.3 CROSS OVER

El colector transversal conecta cada línea de carga a un cross over, es decir el manifold número 1 de babor y estribor está conectado al cross over número 1, el manifold número 2 de babor y estribor está conectado al cross over número 2 y así sucesivamente.

La función del cross over es permitir que la carga sea dirigida a distintos tanques para no cambiar la manguera del manifold donde recibimos la carga. El buque Virgen del Cisne posee un total de 6 cross over conectados entre sí y cada uno de ellos está conectado a su línea de carga tanto de babor como de estribor. Todos los cross over se pueden comunicar entre sí y podremos distribuir la carga hacia la línea que se desee teniendo conectado un único brazo de carga a manifold.

Ejemplo: si cargamos solo por la línea 4 de manifold, la carga se dirigirá hacia el cross over 4 y una vez que la carga esté situada en el cross over 4 podremos distribuirla hacia los demás cross over abriendo las válvulas de otro cross over para que se dirija hacia el tanque que deseamos.

Con esto podemos ver que el uso del cross over puede agilizar una carga o una descarga, pero para su uso se deben de seguir unos procedimientos correctos de carga y descarga y así evitaremos el cruce y por lo tanto la contaminación de dos productos totalmente distintos en caso de cargar o descargar 2 productos.

Ilustración 6 *Cross over.*



Fuente: Elaboración propia.

3.4 DROP VALVE

La drop valve es la válvula que permite o no la entrada y salida del producto al interior del tanque en las operaciones de carga y descarga. En el buque Virgen del Cisne solo se podía abrir y cerrar de manera manual desde la

cubierta principal y no de manera automática desde la sala de control de carga.

Ilustración 7 *Drop Valve*



Fuente: Elaboración propia.

3.5 SONDA-RADAR

Elemento utilizado para las operaciones de carga y descarga. La principal tarea del oficial de guardia durante la carga y la descarga es la monitorización de vacíos y por ello la sonda-radar es un elemento imprescindible para obtener dichos valores.

La sonda-radar está ubicado en cada tanque, incluidos los slops y también lo podremos encontrar en la cubierta principal, aunque la mayor parte de su estructura se encuentra dentro del tanque. Este elemento funciona de la siguiente manera; el radar emite unas ondas en el interior del tanque, que impactan en la superficie del producto que estamos cargando o descargando, por lo que se generarán unos ecos que vuelven al dispositivo. La información que hemos obtenido en el dispositivo será informatizada y mostrada en la

pantalla de la sala de control de carga, también conocida como CCR (Cargo Control Room).

Ilustración 8 *Sonda Radar.*

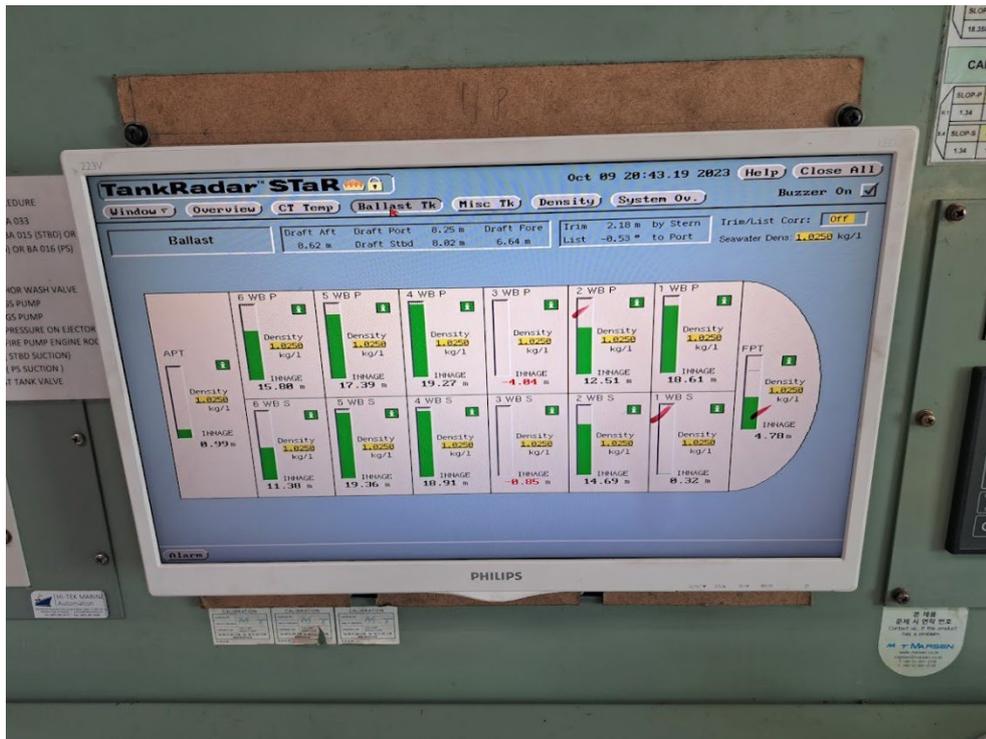


Fuente: Elaboración propia.

Los datos que nos aparecerán en pantalla serán el volumen de la carga o la descarga, la temperatura del producto dentro del tanque y la presión que tiene el producto dentro del tanque. Todos estos datos tienen que ser monitorizados constantemente para obtener una carga o descarga segura y exitosa.

El buque Virgen del Cisne consta con el programa informático TankRadar Star para el monitoreo en la pantalla de los datos obtenidos por la sonda-radar de cada tanque.

Ilustración 9 Programa TankRadar Star.



Fuente: Elaboración propia.

No obstante, la sonda-radar es un sensor informatizado y al ser un dispositivo tecnológico debemos de estar alerta ya que en ocasiones puede fallar o monitorizar valores erróneos. Por ello, a bordo contamos con 2 equipos UTI (Ullage Temperature and Interface). Este dispositivo prácticamente realiza la misma función que la sonda-radar, pero la diferencia principal es que el equipo UTI se puede transportar manualmente mientras la sonda-radar es un equipo fijo en cada tanque de carga. El dispositivo cuenta con una pantalla que nos muestra los valores de la temperatura, el vacío y la interface, que es la cantidad de agua restante en la superficie del producto.

Los equipos UTI los introduciremos a través de los tubos de sonda. Los tubos de sonda también se les conoce como vapour lock o puntos de sampleo, los cuales se encuentran en cada tanque y tienen una altura de casi medio metro y también sirven como punto de extracción de muestras de la carga o descarga, las cuales son almacenadas en el buque o requeridas por los supervisores.

Las operaciones que se realizan a través del tubo de sonda están permitidas según ISGOT. (OCIMF, 2020)

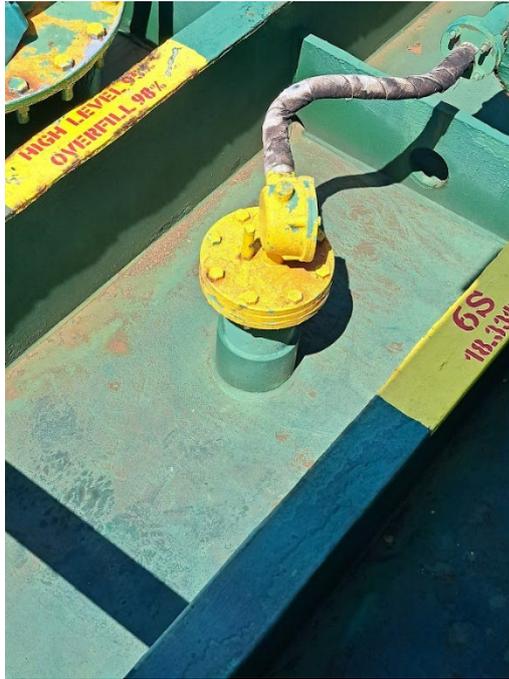
3.6 ALARMAS DE NIVEL (HIGH LEVEL ALARM Y OVERFILL LEVEL ALARM)

Cada tanque cuenta con un equipo de seguridad para evitar que durante las operaciones se cargue más de la capacidad total del tanque. Este equipo de seguridad consta con dos alarmas; alarma de alto nivel o high lever alarm, la cual se activará cuando la carga ocupe el 95% de la capacidad del tanque y alarma de muy alto nivel o overfill level alarm, la cual se activará cuando la carga ocupe el 98% de la capacidad del tanque.

Este dispositivo podemos encontrarlo en la cubierta, uno por cada tanque. Su funcionamiento es a través de un flotador o boya que sube a medida que la carga asciende dentro del tanque por lo que comenzará a empujar un tubo hasta llegar al punto de 95% y sonará la alarma de high level alarm y cuando llegue al punto del 98% sonará la alarma de overfill level alarm.

Las señales visuales y las señales acústicas se encuentran en la magistral o en lo que es la estructura del puente. Cuando la carga llega al 95%, sonará una alarma junto con una señal luminosa de color naranja y cuando la carga llega al 98% sonará una alarma junto a una señal luminosa naranja y roja.

Ilustración 10 *Alarma de nivel.*



Fuente: Elaboración propia.

En la sala de control de carga hay un panel para controlar e identificar que alarma está sonando y cuál es el tanque correspondiente de dicha alarma. En este mismo panel se puede inhibir la señal acústica y visual para cada tanque ya que en muchas operaciones de carga se llenan los tanques rozando el 98% del nivel del tanque. Aun así, no se debe de superar el 98% de la capacidad del tanque ya que por el balance la carga podría rebosar en la cubierta principal y por lo tanto estar en riesgo de polución.

Ilustración 11 Alarmas de nivel de la sala de control de carga.



Fuente: Elaboración propia.

3.7 PV VALVES

Las válvulas de presión/vacío, líneas de venteo o las PV valves (Pressure Vacuum) sirven para eliminar las sobrepresiones y el exceso de vacío en el interior de los tanques de carga. Las P/V valves están compuestas por una válvula de presión y una válvula de vacío. Las válvulas de presión se elevarán para realizar una ventilación de los gases que contiene el tanque a alta velocidad verticalmente cuando exista una sobrepresión de 200 mBar y las válvulas de vacío se elevará cuando exista un vacío de 25 mBar. Los gases

que libera es una mezcla de gases de hidrocarburo y nitrógeno y se liberan de forma vertical para alejarlos del buque en el mínimo tiempo posible y así garantizar una mayor seguridad al buque. La velocidad mínima de salida es de 30 m/s. (IMO, 2024).

Las válvulas las podremos accionar manualmente o a través de la CCR por control remoto.

Las válvulas se encuentran a lo largo de la cubierta principal y cada uno de los tanques cuenta con una línea de venteo, que está en una torre y su altura será de 3 metros sobre la cubierta principal. (IMO, 2024).

Ilustración 12 *PV Valves.*



Fuente: Elaboración propia.

3.8 MAST RISER

El Mast Riser o mástil de gas inerte tiene la misma función que las P/V Valves, pero con la diferencia de que este es único en el barco por lo que es un tubo

vertical conectado a las tuberías de ventilación comunes de todos los tanques de carga.

El mast riser está conectado a todas las tuberías de ventilación, por lo que todos los gases de los distintos tanques se mezclarán. Por ello solo debemos usarlo en operaciones de solo un tipo de carga. En el caso del buque Virgen del Cisne la mayoría de las operaciones son de un único tipo de carga. Si se hicieran cargas con 2 elementos o más diferentes, deberemos de usar únicamente las P/V valves.

El Mast Riser se sitúa a 6 metros de altura de la cubierta principal y este dispositivo solo se puede activar desde la CCR.

3.9 P/V BREAKER

Las P/V Breakers tienen la misma función que las P/V Valves y que el mast riser. Este dispositivo está conectado a la línea de gas inerte, el cual está conectado con todos los tanques y funciona de manera automática en caso de que las P/V valves fallen. Se activará de manera automática cuando en el interior del tanque se alcance una presión de 240 mBar o una presión negativa de -70 mBar.

Ilustración 13 PV Breaker



Fuente: Elaboración propia.

3.10 STEAM HEATER

El steam heater o también conocido como calentador de vapor, tiene como función calentar el producto de crudo u otros productos petrolíferos que necesiten estar en una temperatura precisa. Los calentadores de vapor son cruciales para mantener una viscosidad precisa del producto haciendo más sencillo el bombeo y el flujo de los productos en las operaciones de carga y descarga y manteniendo todas las propiedades del producto durante su transporte.

Los calentadores de vapor que se utilizan en el buque Virgen del Cisne son calentadores de tipo serpentín. Este tipo de calentador está formado por un tubo largo que se dobla en forma de espiral o serpentín. El calentador está en el interior del tanque por lo que está en contacto directo con el producto y permite una distribución del calor eficiente evitando puntos calientes y puntos fríos.

Para el proceso de calentamiento; primero se genera vapor a alta presión en una caldera y ese vapor se manda directamente al serpentín. Durante el proceso en el que fluye el calor por el serpentín se transfiere el calor al producto que lo rodea y por lo tanto este calor disminuye la viscosidad del producto facilitando su manejo. Finalmente, cuando se pierde calor, el vapor se condensa y se devuelve al sistema para ser recalentado y reutilizado.

Ilustración 14 *Calentador de vapor*



Fuente: Elaboración propia.

3.11 SISTEMA DE GAS INERTE

El buque Virgen del Cisne se encarga al transporte de hidrocarburos que en la mayoría de las veces estos productos son muy inflamables, por lo que la tripulación en este tipo de buques debe de prestar especial atención al nivel de oxígeno que contienen los tanques de carga y sus respectivas líneas. El oxígeno debe de ser menor del 8% del volumen de gases en el interior del tanque de carga y menor de un 5% del volumen de gases en el interior de las líneas de carga. Cuando dichos porcentajes de oxígeno se dan tanto en el

interior del tanque de carga como en la línea de carga se producirá una atmósfera segura y cortará el triángulo de fuego que mencioné anteriormente y por lo tanto no se producirá combustión en el interior del tanque de carga ni en las líneas de carga.

El gas inerte puede tener componentes ligeramente distintos dependiendo de la naviera o el buque. Los valores del gas inerte son los siguientes:

- CO contiene un 0,1% del volumen
- CO₂ entre el 13% y el 14% del volumen
- Dióxido de azufre SO₂ contiene un 0,3% del volumen
- Oxígeno, entre el 3% y el 5% del volumen
- Nitrógeno N₂ contiene alrededor del 80% del volumen
- Óxidos de nitrógeno, contiene un 0,02% del volumen

En el buque Virgen del Cisne se obtiene gas inerte a través de la combustión del aire de la atmósfera y Fuel Oil mediante el generador de gas inerte ubicado en la sala de máquinas.

Al quemar Fuel Oil con la presencia de aire de la atmósfera se producirán gases con poco porcentaje de oxígeno y con mucho porcentaje de nitrógeno y esto lo llamaremos gas inerte, el cual ya está listo para inertizar los tanques de carga.

3.11.1. REEMPLAZO DEL GAS EN LOS TANQUES DE CARGA

El remplazo del gas con gas inerte en el interior de los tanques de carga puede realizarse por inertización o por purgado. Ambos métodos utilizan los procesos de dilución o desplazamiento dependiendo de los puntos de entrada del gas inerte al tanque y la salida de los gases de mezcla del tanque. (Louzán Lago, 2020).

- Dilución: se inyecta el gas inerte, con los elementos y sus valores que mencioné anteriormente. Se debe de inyectar a una gran velocidad, es decir a una gran presión para que el gas inerte introducido se mezcle con los gases ubicados en el interior del tanque y sobre todo los

ubicados en la parte inferior del tanque y de esta manera se formará una mezcla homogénea en el interior del tanque. Por lo tanto, la concentración de oxígeno y los gases de hidrocarburos disminuirán. Por dilución los tanques se deben de inertizar de uno en uno ya que el gas inerte que entra en el interior del tanque debe de entrar a gran velocidad.

- Desplazamiento: se inyecta el gas inerte a una baja velocidad, es decir a baja presión por la parte más alta del tanque. Esto formará una capa horizontal por encima de los gases originales ubicados en el interior del tanque y estos gases serán empujados poco a poco por la toma de salida del tanque ubicada en el fondo de este siendo una tubería para dicha finalidad. Por desplazamiento se podrán inertizar muchos tanques a la vez ya que el gas inerte que se introduce en el interior del tanque circula a una baja velocidad.

3.11.2. INERTIZACIÓN DE LOS TANQUES

La inertización consiste introducir gas inerte en el interior de los tanques de carga para reducir el contenido de oxígeno, el cual debe de ser inferior al 8% en volumen. Antes de realizar la inertización, los tanques de carga han tenido que ser desgasificados.

Para inertizar los tanques tenemos dos métodos. Como mencioné antes, los procesos son los siguientes:

- Dilución: se introduce gas inerte por la línea de entrada del tanque y la mezcla de aire con gas inerte es expulsada por la línea de venteo.
- Desplazamiento: el gas inerte es introducido por la línea de carga y la mezcla de aire con gas inerte es expulsada por la línea de venteo. Este método es más efectivo debido a que el gas inerte es más pesado que el aire y a medida que se introduce el gas inerte se acumulará en el fondo e irá expulsando el aire al exterior a medida que aumenta el gas inerte en el interior del tanque. (Reigadas, 2004)

3.11.3. PURGADO DE LOS TANQUES

El purgado es la operación en la que se introduce gas inerte en los tanques de carga, los cuales ya han sido inertizados. La operación de purgado es realizada para disminuir el volumen de oxígeno y asegurar la inertización de los tanques o reducir el volumen de hidrocarburos antes de realizar la ventilación.

En el primer caso se introduce gas inerte hasta que el contenido de oxígeno en el interior de los tanques sea igual o inferior al 8% en volumen. En el segundo caso se introduce gas inerte para rebajar al 2% el volumen de hidrocarburos en el interior del tanque. De esta manera se podrá realizar una correcta ventilación sin riesgos. El purgado de los tanques puede realizarse por los siguientes procesos: (Louzán Lago, 2020)

- Purgado a través del palo de gas inerte: en este método se une la línea de gas inerte con las líneas de carga de la cubierta. El gas inerte circula la línea de fondo y se abre la válvula principal de succión del que tanque se va a purgar.
- Purgado a través de la tubería de venteo del tanque: el proceso es el mismo que el anterior proceso, pero la mezcla de gas inerte e hidrocarburos se expulsa a través de la tubería de venteo del tanque.
- Purgado por dilución: se introduce el gas inerte a través de la entrada en cubierta a una velocidad alta para alcanzar el fondo del tanque. Esta velocidad elevada producirá un flujo turbulento y por lo tanto una buena dilución. El gas inerte mezclado junto a los hidrocarburos será liberado a través de la tubería de venteo u otra salida del tanque hacia la atmósfera. Este método es el más utilizado por los petroleros en la mayoría de los casos. (Louzán Lago, 2020)

3.11.4. VENTILACIÓN DE LOS TANQUES DE CARGA

La ventilación de los tanques de carga es la introducción de aire forzado en el interior de los tanques de carga para eliminar las sustancias volátiles que

puede contener el producto que hemos cargado dentro de los tanques de carga.

Para poder realizar una correcta ventilación de los tanques, se requiere lo siguiente:

- Abertura de ventilación: consiste en las escotillas que encontramos en la cubierta y nos permite el acceso a los tanques de carga. Dichas escotillas tienen la dimensión necesaria para la introducción de la manguera y el ventilador portátil.
- Manguera de ventilación: esta manguera expulsa la corriente de aire que genera el ventilador portátil y se encuentra conectada en la parte inferior del ventilador portátil. La longitud de la manguera de ventilación será la suficiente para llegar hasta el fondo del tanque.
- Ventilador portátil: los ventiladores portátiles pueden trabajar de manera hidráulica o por aire. Los ventiladores portátiles del buque Virgen del Cisne funcionan de manera hidráulica y para su funcionamiento se deben de conectar 2 mangueras; la primera estará conectada desde un hidrante de la cubierta al ventilador portátil y la segunda manguera estará conectada desde el ventilador portátil hacia la barandilla para expulsar el agua hacia el mar y evitar que el agua se estanque en la cubierta. Una vez conectadas las mangueras y teniendo el ventilador portátil conectado en la escotilla conectado a la manguera de ventilación se procede a abrir el hidrante donde está conectada la manguera. El agua empezará a entrar en el ventilador y saldrá por la otra manguera expulsando el agua. Esto provocará una presión que originará el movimiento de las hélices del ventilador portátil por lo que se producirá una corriente de aire que se introducirá en el interior del tanque a través de la manguera de ventilación.

Cabe destacar que los ventiladores portátiles deben de ser fabricados con materiales que no sean capaces de producir chispas, las cuales serían muy peligrosas para la seguridad del buque y de la tripulación.

Como he mencionado antes, para realizar la ventilación de los tanques de carga se requiere agua. El agua utilizada se considera limpia y puede ser descargada al mar sin tener en cuenta los requisitos del Anexo II del MARPOL.

Ilustración 15 Ventilación del tanque de carga número 6 babor



Fuente: Elaboración propia.

3.11.5. COMPONENTE DE UNA INSTALACIÓN DE GAS INERTE

Deck Seal o sello de agua tiene como propósito evitar el reflujos de gases de hidrocarburos desde los tanques de carga hacia la planta de gas inerte, a través de la tubería principal de IG en caso de fallo de las válvulas. Cuando los ventiladores de gas inerte se paran el deck seal se rellena automáticamente de agua. Hay 3 tipos de sellos de agua:

- Wet type deck seal o tipo húmedo
- Dry type deck seal o tipo seco
- Semi dry type deck seal o tipo semi seco

3.11.5.1 Wet type deck seal

Wet type deck seal: es el más común de los 3 y es el que se encuentra en el buque Virgen del Cisne. Funciona creando un sello de agua para evitar el

reflujo de gas inerte a la sala de máquinas. Mientras la planta de gas inerte está en funcionamiento, el gas pasa desde la planta a la línea IG de la cubierta a través del sello de agua. El gas que pasa a través del agua asciende en forma de burbuja. Mientras la presión del gas sea mayor que la presión en los tanques, no hay peligro de contra reflujo. En caso de que la presión del IG caiga, creando el peligro de un reflujo, el agua forma un sello, impidiendo que el flujo de hidrocarburo de gases regrese a la sala de máquinas. La única desventaja del wet type deck seal es que transporta partículas de agua a la línea IG. Estas partículas de agua pueden corroer las líneas a largo plazo. Por lo tanto, normalmente se utiliza una almohadilla antivaho para detener o reducir cualquier arrastre de partículas de agua. Por ello es importante drenar la línea antes de abrir la válvula de gas inerte o también conocida como IG Main Valve. (Subhodeep Ghosh, 2023).

Ilustración 16 *Deck Seal*



Fuente: Elaboración propia.

3.11.5.2 Dry type deck seal

Dry type deck seal: en el sello de tipo seco, un sensor automático libera agua de un tanque de retención cuando se para la planta y el agua se vacía cuando está en funcionamiento la planta. La ventaja es que no hay arrastre de agua, pero existe el riesgo de que fallen las válvulas de control automático y que el sistema quede inutilizado.

3.11.5.3 Semi dry type deck sea

Semi dry type deck seal: en un sello de cubierta de tipo semiseco, el flujo de gas inerte que pasa por la tubería curva crea una succión y arrastra el agua hacia un tanque de retención separado. Este método reduce el arrastre del agua hacia los tanques. La desventaja de este sistema es que una obstrucción puede permitir que entre agua en la curva de la tubería. Con ello puede hacer que el sistema sea inutilizado.

3.12 BOMBAS DE DESCARGA

Cada uno de los 14 tanques de carga disponen de una bomba centrífuga la cual está sumergida y se acciona de manera hidráulica. Cada uno de los 12 tanques de carga contienen una bomba de descarga Framo, cuyo caudal máximo es de 600 m³/h y los 2 tanques slop contienen una bomba de descarga Framo, cuyo caudal máximo es de 300 m³/h

La bomba puede funcionar de manera remota a través de la CCR o de manera manual la cual se utiliza solamente para el stripping. Para activar la bomba de descarga de manera manual se debe de desactivar la forma remota a través del manguito que tiene la bomba de descarga visible en la cubierta.

Ilustración 17 Bomba de descarga del tanque de carga 1 estribor



Fuente: Elaboración propia.

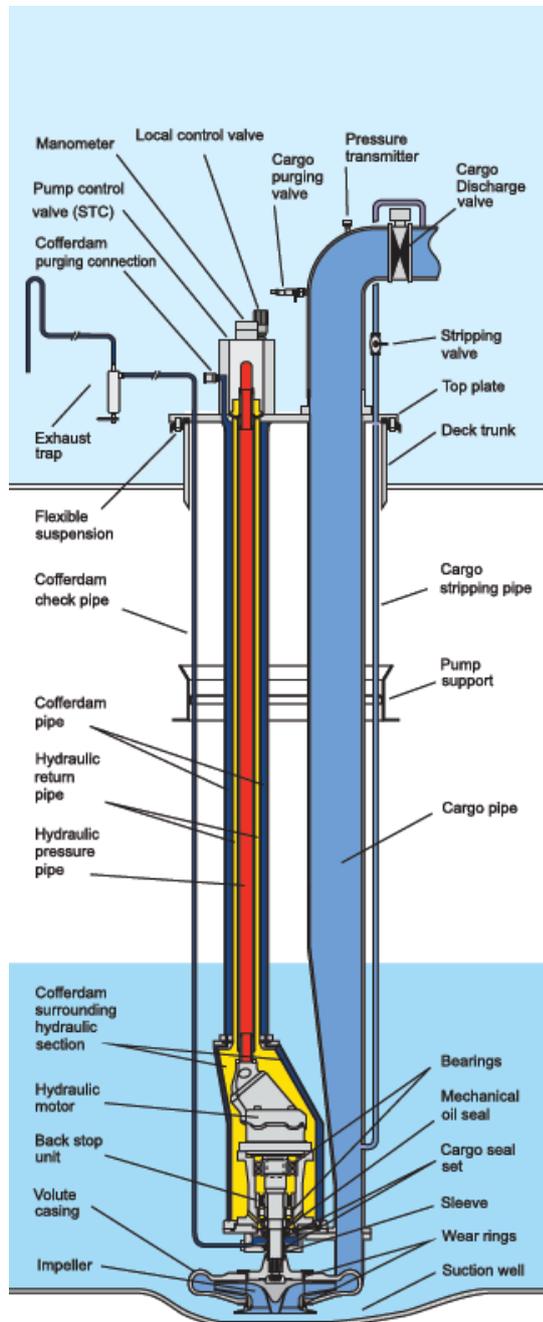
La bomba Framo, es una bomba centrífuga vertical de una sola etapa la cual funciona por medio de un motor hidráulico. Las bombas Framo son de acero inoxidable. (Framo, s.f.)

Al accionar la bomba Framo, el motor hidráulico recibe aceite a alta presión y provoca que los impulsores roten a gran velocidad y provoca un vacío en la cabeza de succión de la bomba por lo que la bomba impulsará el producto por la línea de descarga hacia la cubierta. El aceite hidráulico que recibió el motor hidráulico a alta presión regresará por la línea de retorno o línea de baja presión hacia la unidad Framo en la sala de máquinas. El aceite de la unidad Framo hace un recorrido de ida y de vuelta continuamente durante el funcionamiento de la bomba.

La bomba de descarga tiene una carcasa exterior que protege la bomba. El cofferdam es un espacio vacío que está alrededor de la bomba y su función es proteger la bomba del producto que haya en el interior del tanque. Tanto en las operaciones previas y posteriores de carga y descarga hay que realizar un purgado del cofferdam con aire a presión o nitrógeno de todas las bombas. El

contenido expulsado ayuda a comprobar el estado de las bombas. Si se encontrara aceite o vapor de agua podría indicar una posible fuga. (Framo, s.f.).

Ilustración 18 Bomba FRAMO

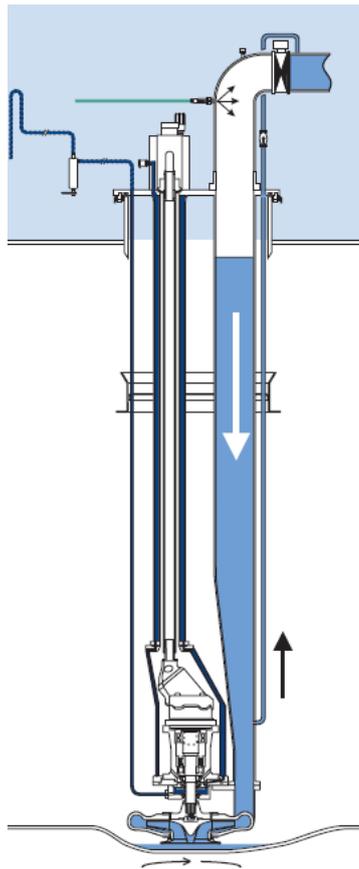


Fuente: framo.com

3.12.1. ETAPAS DE LA BOMBA FRAMO

- Descarga: la bomba centrífuga se arranca desde el panel de control en la CCR o en ciertas ocasiones de manera manual. El sistema hidráulico hace que la bomba trabaje de forma excelente con cualquier tipo de producto líquido.
- Reachique: cuando el tanque se encuentre casi vacío se ralentizará la velocidad de trabajo de la bomba para realizar el reachique. Para realizar esta operación se cierra la válvula de descarga de la bomba y se presuriza la tubería de la bomba con aire. El impulsor de la bomba funciona como una válvula de no retorno, por lo que la carga no retornará al interior del tanque.

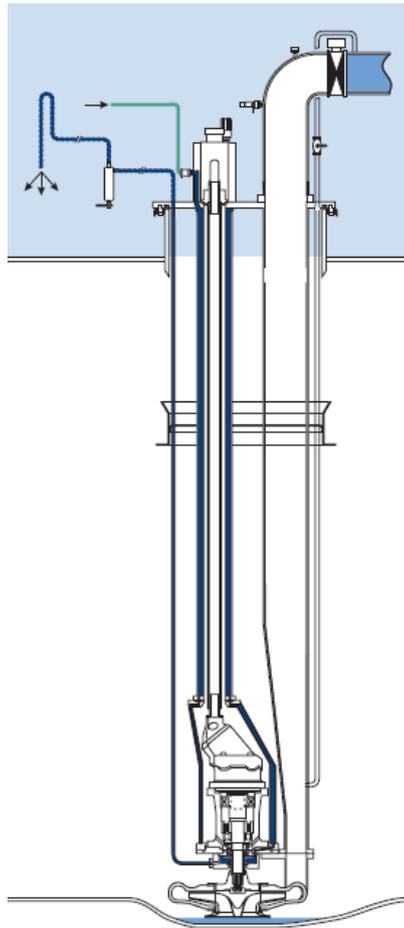
Ilustración 19 *Reachique de la bomba FRAMO*



Fuente: framo.com

- Purgado: el cofferdam se purga antes del inicio de la descarga y una vez finalizada la descarga. De esta forma si se producen pérdidas de aceite o de carga, se enviarán por la tubería del purgado a cubierta y serán recogidos en la trampa de escape, donde se comprobará el tipo de pérdida y su cantidad. (Louzán Lago, 2020).

Ilustración 20 *Purgado de la bomba FRAMO*



Fuente: framo.com

3.12.2. BOMBA DE DESCARGA DE EMERGENCIA

En ocasiones puede dañarse una bomba de descarga de algún tanque de carga por pérdida de aceite, problemas del motor o alguna pieza que resulte dañada. El buque Virgen del Cisne posee una bomba de descarga de emergencia en caso de que ocurra una situación de emergencia.

Esta bomba es una bomba FRAMO portátil, la cual cumple con el objetivo de descargar, pero en menores valores ya que trabaja en 150 m³/h.

La función de la bomba de emergencia es bombear el producto del tanque con la bomba dañada a otro tanque en el que funcione la bomba de descarga.

3.12.3. UNIDAD FRAMO

El buque Virgen del Cisne cuenta con cuatro bombas principales, denominadas power packs y también cuenta con tres bombas de alimentación denominadas feed pumps. Las feed pumps son bombas de alimentación que tienen la función de presurizar la línea de retorno y las power packs son bombas que tienen la función de suministrar aceite a una línea principal de la cual se abastecen a los motores hidráulicos. (Jassal, 2017).

En todo momento debe de estar en funcionamiento una feed pump arrancada con el fin de mantener presurizada la línea de retorno como se ha indicado anteriormente. La presurización debe de estar alrededor de los 6 bar.

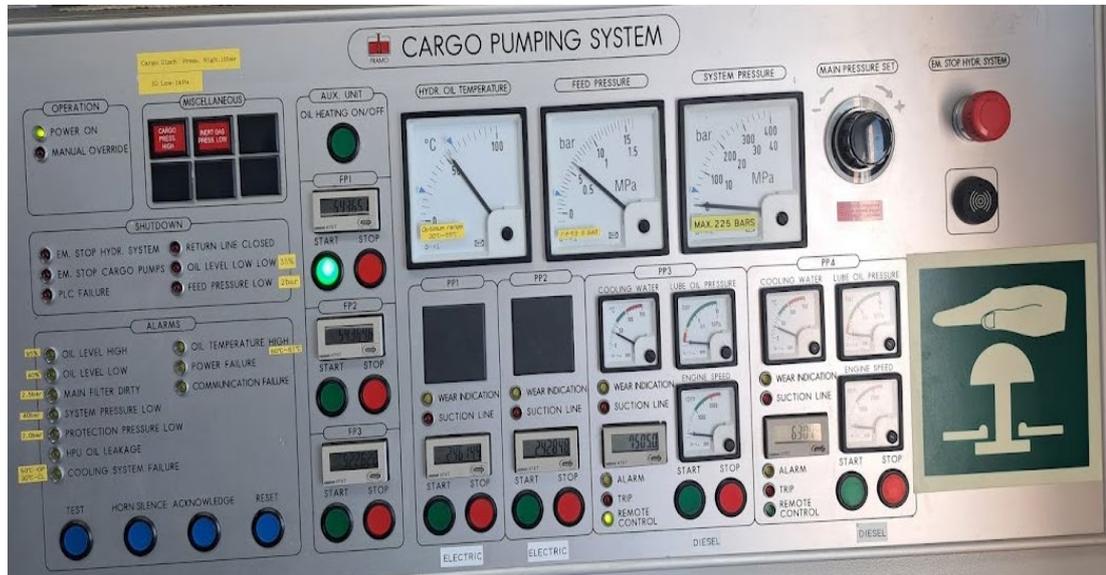
Momentos antes de arrancar una de las bombas principales, se tiene que arrancar una segunda feed pump. Nunca se arrancará una tercera feed pump a no ser que falle una de las dos feed pump que se encuentran en funcionamiento. Una vez arrancada una de las bombas principales se podrá subir paulatinamente la presión hidráulica a través del potenciómetro hasta alcanzar una presión de 220 bar.

La unidad framo se pone en marcha en la sala de control de carga, donde en esa unidad se encontrarán distintos elementos:

- Botones de encendido y apagado de las power packs o bombas principales
- Botones de encendido y apagado de las feed pumps o bombas de alimentación.
- Potenciómetro.
- Indicador de presión.
- Indicador de temperatura.

- Diferentes alarmas.
- Bombas de lastre.
- Bombas de descarga.

Ilustración 21 Unidad FRAMO de la sala de control de carga



Fuente: Elaboración propia.

3.13 TANQUES DE LASTRE

Los buques utilizan agua de lastre para que el buque esté en condición de navegabilidad y para tener estabilidad en el mar. También los buques utilizan agua de lastre para tener unas condiciones operacionales seguras. Esta práctica mejorará la propulsión, la maniobrabilidad y reduce el esfuerzo del casco. (International Maritime Organization, s.f.)

El buque Virgen del Cisne cuenta con doble casco por lo que los tanques de lastre se encuentran situados a los laterales de los tanques de carga. El buque está compuesto por 14 tanques de lastre, incluyendo el peak de popa y el peak de proa. El peak de popa no es utilizado para el lastre y el peak de proa es utilizado para corregir el trimado. Los tanques de lastre peak de popa y de proa son utilizados para corregir el trimado del buque.

En las operaciones de carga y descarga el buque debe de tener un asiento apopante no superior a 3 metros para facilitar el secado de los tanques y para tener unas condiciones favorables de estabilidad y esfuerzos.

Los 14 tanques de lastre pueden ser lastrados o deslastrados por gravedad hasta la línea de flotación del buque o a través de las bombas de lastre. El buque posee 2 bombas de lastre centrífugas, las cuales se accionan en la CCR y cada una desaloja un caudal máximo de 750 m³/h. El lastrado y deslastrado de los tanques se puede iniciar por gravedad hasta el nivel de la línea de flotación.

En el momento que se deslastra agua en el mar se debe de comprobar que el agua de lastre no esté contaminada. Para asegurar que el agua que se deslastra está limpia se introduce en el interior de los tanques un explosímetro. También se hay que tener en cuenta que el agua de lastre puede transportar organismos en sus tanques desde un puerto de origen hacia un puerto de destino. Esta actividad podría alterar el medio ambiente y causar problemas de salud y alteraciones en las cadenas alimentarias de los organismos acuáticos. Está demostrado que una gran variedad de especies son capaces de sobrevivir en el agua de lastre y esta agua de lastre es transportada por los buques alrededor del mundo. (Anwar, 2011).

3.13.1. EDUCTOR

El eductor es utilizado para el agotamiento total del agua en el interior de los tanques de lastre. El eductor es un tipo de eyector, el cual funciona con el efecto Venturi para bombear gas o un líquido. El eductor necesita un fluido impulsor para su correcto funcionamiento. Cuando el fluido impulsor pasa por el eductor se crea una baja presión o un vacío en su interior. Este vacío permite que el eductor succionar líquido del tanque. El eductor consta de 3 conductos; alimentación, succión y descarga. (Jaz, 2018)

El objetivo del eductor es secar los tanques de lastre cuando las bombas no son capaces de deslastrar el final de los tanques. El eductor del Virgen del Cisne funciona con un caudal máximo de 100 m³/h.

3.14 LAVADO DE TANQUES CON CRUDO

El lavado de los tanques con crudo o Crude Oil Washing (COW) es un proceso en el que los tanques de carga se limpian con crudos de hidrocarburos, es decir con la propia carga. La característica disolvente del petróleo crudo hace que la limpieza sea más efectiva en comparación con una limpieza de los tanques a través del agua. Este proceso ayuda a prevenir la contaminación de los mares. (International Maritime Organization, s.f.)

Este método permite remover los depósitos y los lodos pegados en la estructura del tanque mediante chorros de hidrocarburos que pueden ser mezclados con la carga.

Los lodos y depósitos son más viscosos que el crudo y son difíciles de disolver, pero con una fuerte agitación se pueden disolver dejando una capa muy fina en la estructura del tanque. (Louzán Lago, 2020)

3.14.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL LAVADO CON CRUDO

Ventajas:

- Al lavar los tanques con crudo habrá menor corrosión ya que no se necesitan lavar con agua salada.
- Se pueden realizar inspecciones de los tanques de carga sin necesitar el lavado con agua.
- Operacionalmente es más sencillo
- Método económico
- Se envía menos agua salada a las refinerías.
- Mayor capacidad de carga debido a la disminución de residuos y lodos.

Desventajas:

- Incremento del trabajo en las operaciones de descarga por lo que la descarga aumentará el tiempo de finalización
- Mayores gastos por el equipamiento COW

3.14.2. MÁQUINAS FIJAS DE LAVADO

- Máquinas de una tobera: son instaladas en cubierta y son de tipo programable. La máquina se puede programar para seleccionar los ángulos deseados de lavado de la tobera. La cabeza de la máquina gira horizontalmente y la tobera está dispuesta verticalmente. Este movimiento de la cabeza de la máquina y la tobera forman un movimiento helicoidal por lo que el chorro impactará en la zona deseada.
- Máquinas de dos toberas no programables: estas máquinas pueden instalarse sumergidas para lavar zonas de sombra a donde las máquinas ubicadas bajo cubierta no llegarían o pueden estar instaladas bajo la cubierta. El cuerpo de la máquina gira horizontal y verticalmente por lo que crean unos chorros en forma de esfera. (García Soutullo, 2022)

3.14.3. MÉTODOS DE LAVADO DE LOS TANQUES CON CRUDO

Se clasifican en dos tipos los métodos de lavado con crudo:

- Lavado en una etapa: este método se utiliza cuando el tanque está totalmente vacío y seco. Se lava el tanque de carga por completo hasta que esté totalmente limpio de forma continuada y sin interrupciones.
- Lavado de dos etapas: este tipo de lavado se produce cuando el tanque continúa descargando el producto y el lavado comenzará cuando se haya descargado alrededor de dos tercios del vacío total. Se recomienda la utilización de máquinas programables para reducir los costes. (Rodríguez Vidal, 2003).

El lavado del fondo comenzará cuando el tanque se encuentre vacío, pero con crudo en el fondo. El tanque no necesita estar seco cuando se lava el fondo.

3.15 BOMBA WILDDEN

Las bombas Wilden o bomba de membrana es una bomba neumática de desplazamiento positivo formada por un par de diafragmas que por medio de diferencia de presión empujan al fluido de las cámaras húmedas hacia la descarga.

En el buque Virgen del Cisne disponemos de 2 bombas wilden para la cubierta principal, las cuales nos ayudarán a succionar todos los restos de combustible del tanque y enviarlos al tanque de residuos.

La bomba wilden tiene dos conexiones, una simple manguera de plástico, en la cual se va a succionar los restos de combustible y el compresor air que aparte de estar conectado a la bomba wilden también está conectado a una válvula de aire a presión situada en la cubierta que abriremos una vez que la bomba wilden está dentro del tanque. Cuando acaben de succionar deberemos de cerrar la válvula de aire y dejará de funcionar la bomba wilden.

Ciclo de succión: el aire comprimido llena de aire una de las cámaras interiores de la bomba, lo que hace que el diafragma opuesto cree succión. Esta succión levantará la bola de la válvula inferior, lo que provocará la succión de los restos del producto de la descarga en el interior del tanque. Al mismo tiempo se está produciendo la descarga en la cámara opuesta

Ciclo de descarga: el aire comprimido llena de aire la segunda cámara interior de la bomba, lo que producirá que la bola de la válvula superior se eleve, permitiendo la descarga de los restos del producto. Al mismo tiempo se está produciendo el ciclo la succión en la cámara opuesta.

Ilustración 22 *Bomba Wilden*



Fuente: Elaboración propia.

3.16 ENTRADA A ESPACIOS CERRADOS

Un espacio cerrado es un espacio con aberturas limitadas de entrada y salida con o sin ventilación natural. Los espacios cerrados en un buque son los tanques de carga y los tanques de lastre. Dentro del espacio cerrado la atmósfera puede ser:

- **Atmósfera inflamable y tóxica:** después de una descarga, los tanques de carga pueden contener gases de hidrocarburos.
- **Atmósfera tóxica:** existen productos que contienen ácido sulfhídrico (H_2S), benceno (C_6H_6) y monóxido de carbono (CO), los cuales son gases muy perjudiciales para la salud. Por ello es importante comprobar la hoja de datos de seguridad o también conocida como Material Safety Data Sheet (MSDS) para conocer los gases tóxicos que puede tener el producto.
- **Atmósfera deficiente de oxígeno:** la atmósfera del aire está compuesta por un 21% de oxígeno (O_2), 78% de nitrógeno y 1% de otros gases. Si el porcentaje de oxígeno dentro del tanque se encuentra por debajo del

19,5% del volumen total de gases se considera como una atmósfera insuficiente de oxígeno, lo que produciría mareos, vómitos, etc.

3.16.1. ANTES DE LA ENTRADA AL TANQUE

- El primer oficial debe de completar el Enclosed Space Entry Permit, el cual es un documento en el que se recoge que los tripulantes tienen la formación necesaria para entrar dentro del tanque. Se recogerán las firmas de los miembros de la tripulación que entren y será aprobado por el capitán.
- Se realiza una medición de los gases para comprobar que el oxígeno dentro del interior del tanque sea del 21% del volumen y el resto de los gases tóxicos e inflamables sean de 0 %
- Ventilación del tanque 10 minutos con el ventilador portátil
- Se vuelve hacer una medición de gases y se comprueba que la atmósfera es segura para entrar en el interior del tanque.
- Formación de dos equipos; uno equipo será el que entre en el interior del tanque y el otro permanecerá en la cubierta, en la entrada del tanque.
- Situar al lado de la escotilla de entrada 2 equipos de respiración automática (SCABA), un equipo de Emergency Escape Breathing Device (EEBD), arneses, camilla de rescate, etc
- Comunicar al oficial de guardia en el puente que se procederá a la entrada en el interior del tanque.

3.16.2. ENTRADA AL TANQUE

La entrada a un tanque se realiza para inspeccionar la atmósfera de este, los restos que pueden quedar del producto y para inspeccionar si hay partes que sufren corrosión. El equipo que entra debe de portar:

- Un detector de gases personal cada miembro del grupo que entra. En caso de que suene la alarma del dispositivo se deberá de abandonar el tanque inmediatamente

- Dos equipos EEBD; un equipo lo llevará un miembro que entre en el interior del tanque y el otro está en la cubierta principal.
- Bomba wilden para poder succionar los restos que han podido quedar del producto.
- Un walkie talkie para cada miembro que entra en el interior del tanque.

Durante la presencia de los miembros de la tripulación en el interior del tanque, el equipo que se encuentra a la espera en la cubierta deberá de:

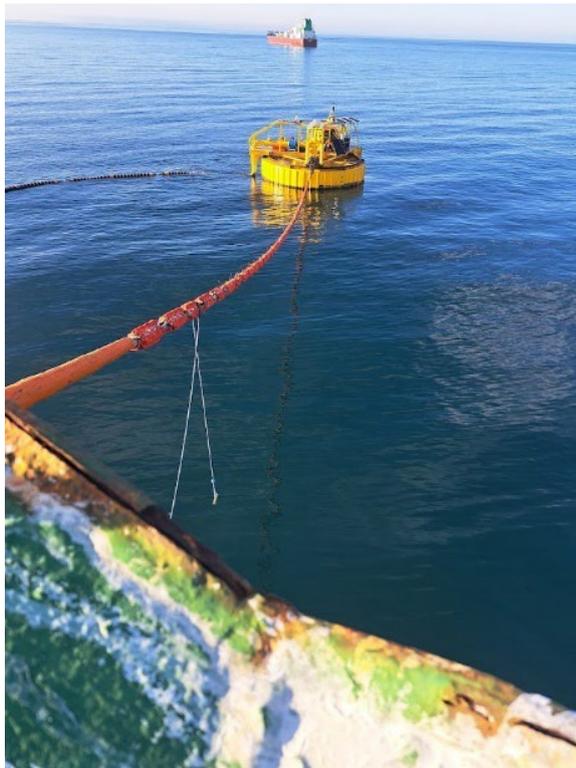
- Mantener la ventilación en marcha durante todo momento. Si se paró la ventilación por un fallo en el ventilador portátil se deberá de notificar al equipo que se encuentre dentro del tanque que lo abandone inmediatamente.
- Comprobar que el volumen de gases sea el correcto. Si se producen variaciones en el volumen de gases deberá de notificar al equipo que se encuentre dentro del tanque que lo abandone inmediatamente.
- Comunicarse cada 10 minutos con el equipo que se encuentra dentro del tanque y notificarlo al puente.

4. OPERACIONES DE CARGA Y DESCARGA

Las operaciones de carga y descarga normalmente se producen en las terminales de los puertos, donde el propio puerto provee al buque mangueras o los brazos de carga que mencioné anteriormente. En las terminales las mangueras son conectadas por los propios marineros del buque.

Otro lugar para realizar dichas operaciones son las monoboyas o SBM (Single Bouy Mooring), las cuales son boyas que están alrededor de 5 millas de la costa y estas boyas están conectadas directamente a la refinería. En este caso se suben operarios de tierra a colocar la manguera de la boya al manifold del buque y para su sujeción los operarios normalmente piden la ayuda de la grúa que posee el buque.

Ilustración 23 *Monoboya*



Fuente: Elaboración propia.

También se pueden hacer operaciones de carga y descarga entre 2 buques. Ambos utilizarán una manguera provista por uno de los dos buques y los marineros de cada buque se encargarán de conectar la manguera a su manifold correspondiente.

Ilustración 24 Operación STS



Fuente: Elaboración propia.

En el plan de estiba se manifiesta en que manifold será conectada la manguera o el brazo de carga para hacérselo saber directamente al práctico para la maniobra del buque. Para señalar el manifold que se va a conectar a la manguera o los brazos de carga se colocará una bandera en frente del manifold correspondiente para la carga o descarga en la barandilla que está situada enfrente de manifold. La bandera que se colocará es de color blanca y azul.

4.1 PRINCIPALES DOCUMENTOS

- B/L: el documento Bill of lading o conocimiento de embarque, es el documento más importante ya que actúa como contrato de transporte entre el vendedor y la naviera. Por ello a través de este contrato el

exportador recibe el pago y el importador recibe el producto. Este documento es reconocido a nivel internacional. En el documento Bill of lading aparecen los siguientes datos:

- Número de Bill of lading y sus copias.
 - Tipo de mercancía, cantidad y volumen.
 - Nombre del expedidor.
 - Nombre del receptor del producto.
 - Nombre del buque.
 - Puerto de carga.
 - Puerto de descarga.
 - Nombre de la naviera encargada de transportar el producto.
 - Valor del flete y forma de pago. (Logisber, 2024)
- Letter of protest o carta de protesta: documento emitido por el buque para notificar una serie de quejas que han podido ocurrir durante las operaciones de carga y descarga para eximir de responsabilidad al buque.

Los motivos principales por los que se emite este documento son por demoras esperando atraque, demores en el muelle, cantidades de carga inferiores a lo acordado en un principio o presencia de agua libre en la carga.

- Ullage report: documento que muestra los vacíos de los tanques y se realiza una vez terminada la carga o previamente a la descarga. Para calcular los vacíos se utiliza el equipo UTI y podremos comparar sus valores con los valores que muestra el Tank Radar System.
- Notice of readiness: documento elaborado por el capitán para garantizar que el barco está listo para realizar la carga o la descarga
- Pumping log: documento en el que se anotan las actividades de bombeo que se llevan a cabo en los buques que transportan fluidos. En este documento se anota el volumen de la carga bombeada, la velocidad de bombeo, presión y temperatura.

4.2 ÓRDENES DE VIAJES

Normalmente antes de zarpar del puerto de descarga anterior el capitán recibe una nueva orden de viaje y por lo tanto una nueva orden de carga si se trata de un viaje corto. Si fuera un viaje largo, primero se recibe la orden de viaje con toda la información sobre el viaje y posteriormente se recibe la información de la carga. Las órdenes de carga incluyen lo siguiente:

- Puertos donde se realizan las operaciones de carga y descarga.
- Tiempo de plancha
- Información de los puertos, refiriéndose especialmente a la restricción de calados de los puertos.
- Cantidad de producto que se carga en el buque.
- Información detallada de la carga; tipo de carga, gravedad API de la carga, densidad de la carga, etc.
- Método de limpieza de los tanques de carga una vez descargada la carga.
- Calefacción de la carga durante el transporte de este si fuera necesario y durante la descarga.
- Operaciones de bunkering si fueran necesarias.

4.3 PLAN DE CARGA PREVIO

Una vez que el capitán obtenga las órdenes de carga, informará al primer oficial para que realice un plan de carga previo y se garantice su estiba y transporte de manera segura. Por lo tanto, en el plan de carga previo se deberá de comprobar:

- Calados: el primer oficial deberá de planificar la estiba de la carga ajustándose a los calados máximos permitidos en los puertos de carga y descarga y posibles canales por los que pueda navegar el buque, para ello será muy importante tener en cuenta las diferentes densidades de agua por las que vaya a navegar el buque.

- Segregación: en caso de cargarse dos productos totalmente distintos, se debe de comprobar si es posible distribuir los distintos productos a los tanques con una, dos o más válvulas de segregación. También se deberá de realizar un plan de carga en el que se asegure que no se mezclen los productos para evitar una contaminación de ambos productos. Si los dos productos resultan ser compatibles sería posible realizar la carga con una válvula de segregación, pero si los dos productos resultan ser totalmente incompatibles se deben de utilizar mínimo dos válvulas de segregación.
- Temperatura del producto que se carga: cuando se realice una carga de productos que necesiten calefacción en la descarga y en la navegación se deberán de comprobar los equipos de calefacción para garantizar que la carga se transporta y se descarga en buen estado.
- Estabilidad y esfuerzos: en el plan de carga se tiene que comprobar que, durante la carga, descarga y viaje el buque no sobrepasará los esfuerzos cortantes máximos y los momentos flectores máximos. También se comprobará que la altura metacéntrica y los asientos sean aceptables durante la carga, descarga y la navegación. Por otro lado, si el buque tiene restricciones en alguno de sus tanques se deben de tener en cuenta para intentar disminuir las cargas dinámicas que se producen en los mamparos de los tanques ocasionadas por condiciones meteorológicas desfavorables, este fenómeno es conocido como sloshing.

4.4 PLAN DE CARGA PROPUESTO

Una vez que el primer oficial comprueba los aspectos anteriores elaborará el plan de carga definitivo para presentárselo al capitán. El primer oficial debe de comprobar que cada secuencia de carga se cumplen los valores establecidos en cuanto a calados, esfuerzos y estabilidad. Una vez que el capitán haya revisado todo el plan de carga elaborado por el primer oficial, el capitán dará su aprobación si es un plan de carga correcto. Posteriormente se

comunicará con el operador para notificarle que se puede realizar la carga. Un plan de carga final debe de incluir los siguientes datos:

- Nombre del producto o de los productos que se van a embarcar.
- Gravedad API y densidad del producto o de los productos que se van a embarcar.
- Nombrar los tanques que se van a utilizar para la carga e indicando también que líneas de carga se van a utilizar. Si se cargaran dos productos se indicarán en que tanques se cargarían cada producto.
- Cantidad total de la carga
- Secuencia de toda la carga.
- Rate inicial, rate final y rate máximo de carga.
- En cada secuencia de la carga deberá de estar reflejada la presión del gas inerte.
- Personal responsable de la carga, indicando los miembros que se encuentran en la CCR y los miembros que se encuentran en cubierta.
- En cada secuencia de carga se deben de mostrar los calados estabilidad y asiento.
- Indicar los momentos durante la carga en el que se debe de llamar al primer oficial para acudir a la sala de control de carga.

El plan de carga puede sufrir modificaciones una vez que se produzca la reunión entre el primer oficial y el representante de la carga o el loading master.

4.5 COMPROBACIONES ANTES DE LA OPERACIÓN DE CARGA

4.5.1. ANTES DE LA LLEGADA AL PUERTO DE CARGA

Antes de que el buque llegue al puerto de carga el buque deberá de tener los tanques de carga listos antes de realizar la carga habiendo realizado las actividades correspondientes de limpieza de los tanques y también se deberán de comprobar todos los elementos que participan en la carga. Comprobaciones previas antes de llegada al puerto de carga:

- Comprobar las alarmas de alto nivel (95%) y de rebose (98%), comprobando el funcionamiento de las alarmas acústicas y visuales en la CCR y comprobando las luces y las sirenas de cubierta.
- Comprobar el funcionamiento de las sondas de los tanques de carga y de los tanques de lastre.
- Comprobar el equipo UTI.
- Comprobar que el oxígeno en el interior de los tanques es menor del 8% en volumen.
- Comprobar los manómetros de manifold.
- Comprobar el nivel del sello de agua de cubierta.
- Comprobar que está en buenas condiciones todo el material SOPEP.
- Comprobar que las bandejas de manifold estén libres de restos de la anterior carga.
- Comprobar que todas las válvulas estén cerradas y poder realizar un correcto alineamiento de las líneas antes del comienzo de la carga. En ciertas ocasiones quedan algunas válvulas abiertas para evitar sobrepresiones en las líneas o debido a que se han estado realizando tareas de limpieza o inertización de los tanques y por ello el primer oficial se debe de asegurar que antes de empezar la carga se deben de cerrar todas las válvulas para poder hacer un correcto alineamiento antes del comienzo de la carga.

4.5.1.1 MSDS

Los buques que transportan petróleo crudo o derivados están incluidos en el Anexo I del MARPOL por lo que deben llevar a bordo antes de cada carga y descarga la Hoja de Datos de Seguridad (SDS) o conocida comúnmente en inglés como Material Safety Data Sheet (MSDS). Esta hoja proporciona información sobre:

- Tipo de sustancia.
- Peligros que puede ocasionar la sustancia.
- La composición de la sustancia.
- Medidas de primeros auxilios.

- Medidas para combatir incendios.
- Medidas en caso de vertido accidental.
- Manipulación y almacenamiento.
- Controles de exposición y protección personal.
- Propiedades físicas y químicas.
- Estabilidad y reactividad.
- Información sobre toxicidad.
- Información ecológica.
- Métodos de eliminación.
- Información sobre el transporte del producto.
- Información Reglamentaria.
- Otra información útil. (Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT), s.f.)

4.5.2. BUQUE AMARRADO

Cuando el buque se encuentre amarrado, se embarcan inspectores y autoridades al barco. Los inspectores de carga junto con el primer oficial realizan una inspección de los tanques para comprobar su estado. A continuación, el primer oficial junto con los representantes de la terminal o el loading master tendrán una reunión en la que se debatirán los siguientes temas:

- Tipo de producto y cantidad del producto.
- Secuencias de la carga.
- Rate inicial, máximo y de topeo.
- Presión máxima en manifold.
- Sistemas de comunicaciones entre el buque y la terminal.
- Nombre y oficio de las personas que participen en las operaciones.
- Sistema de venteo de los tanques ya sea a través del must riser o a través de la vapour line conectada desde el buque a tierra.
- Procedimientos de parada de emergencia ya sea por derrame, incendio, rotura de cabos, etc.

Por otro lado, el primer oficial y el representante de la terminal o el loading master deberán de completar la Lista de Seguridad Buque/Terminal o también conocida como Ship/Shore Safety Check List. Los apartados más importantes de la Lista de Seguridad Buque/Terminal son los siguientes:

- Colocación en cubierta del cartel de prohibido el uso de móviles, prohibido fumar y prohibido el acceso a personas no autorizadas.
- Se colocarán los alambres de remolque de emergencia, también conocidos como fire wires y se irá ajustando la altura de la gaza según la variación del calado. Deben de colocarse a proa y popa en la banda contraria a la de atraque del muelle.
- Colocación de dos extintores portátiles en manifold, conectar dos mangueras de contraincendios a los laterales de manifold y colocar los cañones de espuma apuntando hacia el manifold donde se va a realizar la carga.
- Colocación del material SOPEP junto al manifold.
- Sella las scupper plugs, aunque en caso de lluvia se podrán abrir.

También se deberá de complementar la lista de seguridad de la propia compañía.

Antes de iniciar la carga el marinero de guardia e incluso el oficial de guardia deben de realizar una ronda de seguridad y comprobar lo siguiente:

1. Estado de las válvulas
2. Manifold bien acoplado a la manguera o el brazo de carga
3. Tambuchos cerrados
4. Scupper plugs selladas
5. Líneas de amarre firmes y seguras.

4.6 OPERACIÓN DE CARGA

Una vez que se han realizado todas las comprobaciones anteriores se deberán de conectar los brazos de carga o las mangueras de la terminal al buque.

El proceso de carga se puede dividir en 3 fases:

4.6.1. PRIMERA ETAPA

Primera fase: corresponde al llenado inicial de los tanques de carga hasta llenar la línea bajante, la cual es una tubería que baja desde la línea principal de cubierta hasta la línea principal de succión de los tanques. También deberá de haber desaparecido las turbulencias y salpicadura en la superficie del tanque.

El personal de cubierta del buque abre la válvula de manifold, una vez que los brazos de carga estén conectados e informa al capitán o al loading master de que manifold está abierto y estos una vez que reciben el aviso del personal de cubierta del buque, informarán a la terminal para el comienzo de la carga.

Una vez que el buque empieza a recibir la carga, el personal de cubierta del buque tendrán la función de avisar al oficial de guardia de que el producto está pasando por manifold.

Según el ISGOTT, afirma que la ratio inicial de carga del tanque está limitada para que el caudal en la línea de carga no exceda de 1 m/s. Aun así, el buque y la terminal se deben de poner de acuerdo para acordar una velocidad de entrada de la carga, siempre y cuando no supere la velocidad dicha anteriormente. Esta velocidad es debida para evitar la electricidad estática, que se puede producir al chocar el producto con las paredes del tanque. (OCIMF, 2020).

En la mayoría de las operaciones del Virgen del Cisne comenzaba con la carga de uno o dos tanques.

Una vez transcurrido uno o dos minutos del inicio de la carga se debe de tomar una muestra del producto a través de una purga situada en la parte inferior de

manifold. Esta muestra se realiza para comprobar su gravedad API, su densidad y temperatura para determinar que la carga que se está recibiendo es la correcta y también se podrá llevar a un laboratorio para comprobar que el producto que se carga no tenga contaminaciones o residuos.

4.6.2. SEGUNDA ETAPA

Esta fase comienza con el final de la primera fase y finaliza con el vacío que considere necesario el capitán para detener las bombas de la terminal.

Esta es la fase donde se llenarán los tanques de acuerdo con el plan de carga y se tendrá en cuenta la escora, estabilidad y asiento del buque.

Una vez que las líneas de entrada al tanque estén sumergidas por la carga se podrá aumentar el caudal. El buque y la terminal se deben de poner de acuerdo para acordar la siguiente velocidad de entrada de la carga ya que los brazos y las mangueras pueden tener una velocidad de flujo entre 12 y 15 m/s.

En muchos buques la velocidad de flujo de las líneas no supera los 6 m/s para evitar daños en las válvulas y erosión. Se puede calcular el flujo máximo según el diámetro de la tubería y la velocidad de flujo a través de la siguiente fórmula:

$$Q = \pi \times r^2 \times v \times 3600 = 0,002827 \times d^2 \times v \text{ (m}^3\text{/h)}$$

- Q: régimen de carga en metros cúbicos por hora.
 - r: radio interno de la línea de carga o radio nominal de la válvula en m/m.
 - v: velocidad de flujo de la carga en metros por segundo.
 - d: diámetro interno de la línea o diámetro nominal de la válvula en m/m.
- (Louzán Lago, 2020).

Durante esta fase, el oficial de guardia es el encargado de comprobar y anotar cada hora cuanto porcentaje de oxígeno hay dentro de los tanques, vacío de los tanques y presión en manifold.

En esta fase tendrá lugar también al venteo de los gases. Este venteo consiste en la liberación de dichos gases para evitar una atmósfera explosiva dentro

de los tanques de carga. Los gases se pueden liberar a través de la vapour line, la cual es una línea de vapor que comunica todos los tanques para la liberación de dichos gases, la terminal conectará una manguera en nuestro manifold requerido por lo que los gases se dirigirán desde los tanques hacia la terminal. También se podrá realizar el venteo de los tanques a través del mástil de gas inerte, el cual está explicado anteriormente.

Si durante la carga se superan los 200 mb de presión o se entra en un vacío inferior de los 25 mb actuarán los sistemas de liberación de gases mencionados anteriormente.

Durante la carga está permitido en todo momento las operaciones a través de los tubos de sonda.

4.6.3. TERCERA ETAPA

Esta fase comienza con el final de la segunda fase y finaliza cuando se detiene la carga. Los tanques no pueden sobrepasar el 98% de su capacidad.

En esta fase se irá disminuyendo el caudal hasta que se pueda realizar una detención instantánea de la carga de una manera segura. Para ello se deberá de notificar a la terminal para que disminuyan el caudal de sus bombas.

En esta fase se realizará una monitorización de los vacíos constantemente para que la carga se ajuste lo máximo posible al plan de estiba establecido inicialmente o que los tanques no sobrepasen el 98% de sus capacidades.

Una vez alcanzado el vacío deseado y se hayan drenado las líneas se informa a la terminal que se ha completado el vacío y el drenaje de las líneas y se podrá cerrar la drop valve y manifold. Posteriormente se procede a abrir las válvulas de drenaje situadas debajo de manifold para eliminar cualquier resto de la carga que haya podido quedar en la línea y posteriormente comenzará la desconexión de los brazos de carga o mangueras. Dichas actividades deberán de estar reflejadas con la hora en el cuaderno de control de carga. También se deberá de anotar en el cuaderno de control de carga la hora a la que se desconectan los brazos o las mangueras.

Una vez finalizada la carga se deberá de tomar muestras para el buque, las cuales se deben de mantener en el propio buque durante 3 años como mínimo. (IMO, 2023).

4.6.4. DESLASTRE DURANTE LA GARGA

- Primera fase: los tanques de lastre están llenos de agua y una vez que comienza la carga del producto se podrá a empezar a vaciar dichos tanques. Para ello en la fase inicial se comenzará a vaciar los tanques de lastre por gravedad, es decir sin utilizar ninguna bomba de los tanques de lastre y dejando abierta la válvula de fondo (válvula por la que entra el agua para realizar el lastre). El agua saldrá de los tanques de lastre hasta que el nivel de agua de los tanques de lastre esté en la misma posición que la línea de flotación del buque.
- Segunda fase: al estar el agua de los tanques de lastre a la altura de la línea de flotación del buque no podrá ni salir agua a los tanques de lastre por efecto de la gravedad. Por ello en esta fase se darán uso a las bombas de lastre.

Para realizar la operación deberemos de asegurarnos del alineamiento de las válvulas de control remoto y sobre todo de abrir la válvula del costado opuesto al muelle ya que si no podríamos inundar de agua el muelle. Una vez realizada dicha tarea podremos poner a funcionar una bomba al 50% de sus revoluciones permitidas y cuando el marinero de cubierta avise de que está saliendo agua por la válvula del costado del buque podremos aumentar las revoluciones de la bomba.

- Tercera fase: a medida que los tanques de lastre se vayan llenando iremos reduciendo las revoluciones de la bomba hasta conseguir el calado y la escora requeridos.

4.6.5. INSPECCIÓN DE LOS TANQUES AL FINALIZAR LA CARGA

Una vez finalizada la carga y el drenaje, el representante de la carga realiza una inspección de los tanques junto con el primer oficial y el bombero. Para

ello se dirigen a las válvulas vapour lock de cada tanque y realizan mediciones a través el equipo UTI. Para realizar las mediciones el buque debe de estar adrizado en aguas iguales para la obtención de unos datos precisos. Los datos que se obtienen son los siguientes:

- Vacíos: en el buque Virgen del Cisne se realizan 3 lecturas de vacíos y con los datos obtenidos se realiza un promedio que se incluye en el documento ullage report. Si el buque se encuentra realizando la operación de carga en una SBM, se procedería a realizar varias lecturas de vacíos hasta obtener un promedio aceptable, ya que debido a los balances que podría sufrir el buque podrían dar vacíos muy diferentes.
- Temperatura: la temperatura de se debe de medir en 3 niveles distintos del tanque; parte inferior del tanque, centro del tanque y parte superior del tanque.
- Sonda de agua: en caso de que hubiera agua en la carga, hay que verificar si hay trazas de agua o no, en caso de que hubiera se indicaría en el ullage report. Para realizar estas mediciones se debe utilizar una pasta especial en la cabeza sensora del equipo UTI.

4.7 VIAJE CON EL BUQUE CARGADO

Generalmente cuando el buque se encuentre cargado y realice el viaje desde el puerto de carga hacia el puerto de descarga se deben de realizar una serie de tareas y mantenimientos. Las tareas que se deben de realizar son las siguientes:

- Calefacción de la carga: si el producto transportado necesita el uso de los serpentines de calefacción deberá de indicarse en las instrucciones del viaje. Es muy importante calentar la carga para que se encuentre en un estado fluido y pueda ser bombeada fácilmente durante la descarga.

- Presión del gas inerte: la presión del gas inerte en el interior de los tanques debe de comprobarse regularmente ya que en la parte superior del tanque de carga se producen vacíos y por lo tanto se acumulan gases y puede provocar una atmósfera peligrosa. Cuando el buque se encuentre navegando por áreas con una baja temperatura, el gas inerte en el interior de los tanques de carga disminuye por lo que sería necesario arrancar el generador del gas inerte. La presión del gas inerte se puede comprobar en la CCR y en el puente.
 - Mantenimiento de la cubierta: el primer oficial es el responsable del estado de la cubierta y durante el viaje de carga el primer oficial debe de decidir lo trabajos que se pueden realizar durante el viaje hacia el puerto de descarga ya que si el buque posee carga inflamable en el interior de los tanques no se pueden realizar trabajos en caliente.
 - Tanques de lastre: durante el viaje con carga, los tanques de lastre se encuentran vacíos, por lo tanto, es el momento perfecto para realizar diferentes tareas en el interior de los tanques de lastre; se podrán realizar reparaciones de las válvulas si fuera necesario, lavado y baldeo del doble fondo para eliminar el posible fango acumulado, comprobar bombas de lastre, comprobar el estado de la escara que da acceso a los tanques de lastre, etc
- Se tienen que tomar las mismas precauciones en la entrada al interior de los tanques de lastre y en la entrada al interior de los tanques de carga.

4.8 COMPROBACIONES PREVIAS A LA DESCARGA

Días antes de la llegada al puerto para la realización de descarga se realizan inspecciones y comprobaciones de los equipos que se van a utilizar en las operaciones de descarga. Se comprobará y se realizarán las siguientes tareas:

- Prueba de presión de las líneas de carga.
- Paradas de emergencia de manifold y de la CCR.

- Probar el funcionamiento de la alarma de alto nivel, comprobando el funcionamiento de las señales acústicas y visuales.
- Mantener y comprobar las temperaturas de carga.
- Probar y calibrar los sistemas de detención de gases de hidrocarburos portátiles comprobando LEL (límite explosivo inferior) y otros gases como son el hidrógeno de sulfuro y el monóxido de carbono.
- Inspección visual de todas las líneas de carga incluyendo las válvulas.
- Verificar el funcionamiento correcto de los sistemas de comunicaciones.
- Preparar el plan de descarga y lastrado.

4.9 PLAN DE DESCARGA

El plan de descarga es realizado por el primer oficial el capitán se encargará de aprobarlo o no. Para preparar el plan de descarga, será necesario incluir la siguiente información de la terminal:

- Número y tamaño de las mangueras o los brazos de carga.
- Máximo régimen de descarga permitido por la terminal.
- Máxima presión de descarga en manifold.
- Calado máximo permitido en el muelle.
- Costado de atraque proporcionado por el puerto para la descarga.

El plan de descarga debe de incluir la siguiente información:

- Condición de llegada y salida y tiempo estimado para la realización de la descarga.
- Secuencias de la descarga. Indicando que tanques se descargan en cada secuencia, cuáles son las líneas que se van a utilizar, bombas que se utilizan y también se indicarán las válvulas que permanecen abiertas y las válvulas que permanecen cerradas.
- Indicar la cantidad de carga descargada en cada secuencia, tanto de los tanques de carga como los de lastre.

- Frecuencia de inspecciones, registrando la presión en manifold, rondas de seguridad para detectar posibles fugas y comprobación de los cabos de amarre.
- Procedimientos de parada de emergencia de las bombas.

4.10 SAFETY MEETING

Una vez que el buque se encuentre amarrado en el puerto de descarga, los representantes de la terminal acuden al buque para reunirse con el primer oficial. Los miembros de esta reunión realizan un intercambio de información entre la terminal y el buque y tratarán distintos temas como:

- Rate inicial, final y máximo de descarga.
- Máxima presión en manifold.
- Secuencia de descarga.
- Procedimientos de parada de emergencia.
- Detalles de la carga como cantidad, API, etc.
- Sistemas de comunicación entre el buque y la terminal.
- Previsión meteorológica.
- Sistemas de venteo de los tanques.

Después de la reunión de seguridad se realiza una inspección de cada tanque para realizar una sonda y comprobar que los vacíos que aporta el buque en sus cálculos se corresponden a lo acordado. Por otro lado, si fuera necesario se realizaría una comprobación de la temperatura de la carga, ya que las terminales exigen una determinada temperatura de carga para poder realizar la descarga. Estos trabajos nombrados los realizaremos con el equipo UTI.

Si fuera necesario el primer oficial podría hacer modificaciones en el plan de descarga una vez finalizada la reunión.

4.11 OPERACIÓN DE DESCARGA

4.11.1. INICIO DE LA DESCARGA

Antes de comenzar la descarga se tiene que comprobar que todas las líneas y válvulas de carga están cerradas

- Para la descarga deberemos de iniciar la planta de gas inerte antes de comenzar la operación de descarga para mantener una atmósfera segura ya que al realizar la descarga se generan vacíos en la parte superior de los tanques lo que significa que se genera un espacio libre en la parte alta de los tanques y se acumulan gases y eso puede provocar una atmósfera peligrosa. Se tiene que mantener el oxígeno por debajo del 5%. La planta de gas inerte se iniciará cuando el jefe de máquinas confirme que el sistema de gas inerte está listo para funcionar.
- Alinear todas las válvulas de gas inerte antes de poner la planta en funcionamiento.
- Se deberá abrir el sello de gas inerte y la válvula principal de gas inerte. También deberán de estar abiertas las válvulas de gas inerte de los tanques que se vayan a descargar.
- Una vez realizados los pasos anteriores se podrá abrir al 100% manifold.
- Arrancar la bomba de descarga con la válvula cerrada y cuando la presión de descarga comienza a subir se va abriendo ligeramente la válvula de descarga observando la contrapresión.
- El ratio de descarga inicial será de un valor bajo para evitar la electricidad estática, que puede producir el choque del producto con las paredes del tanque.
- El personal en manifold debe de informar a la CCR, cuándo empiecen a escuchar el líquido fluir y si el manómetro indica presión.
- Cuando la terminal confirme a la CCR que empieza a recibir la carga se irá incrementando el rate de descarga poco a poco.

- Se comprueba que no hay fugas en manifold o en los brazos de carga o manguera.
- Una vez que la primera bomba ya está a una velocidad media, se pueden ir abriendo más bombas de acuerdo con la secuencia de descarga.
- Después podremos aumentar las revoluciones al rate máximo permitido por la terminal.

4.11.2. DURANTE LA DESCARGA

Durante la descarga los oficiales de guardia deben de seguir en todo momento el plan de descarga y de lastre. Hay que comprobar y registrar al menos cada hora en el diario de bombeo (Pumping log); el régimen de descarga, las revoluciones de las bombas y la presión de manifold y también la presión y concentración de oxígeno en el interior de los tanques.

Las compañías tienen sus propias listas de seguridad que deben de ser comprobadas antes y durante la descarga. En todo caso se deberá de comprobar lo siguiente:

- Comprobar que las operaciones se estén llevando a cabo según el plan de descarga.
- Realizar inspecciones periódicas de los cabos de amarre y ajustarlos según sea necesario.
- Comprobar si hay fugas en las líneas o en la manguera que proporciona la monoboya.
- Comprobar que los vacíos de los tanques aumentan con el transcurso de la operación. Si el vacío de algún tanque disminuye se deberá de detener inmediatamente la operación de descarga y se deberá de comprobar el alineamiento de las líneas.
- Comprobar que la cantidad descargada deberá de coincidir con la información recibida por la terminal.
- Comprobar las scupper plugs, que estén bien selladas.
- Presión en los tanques.

- Monitoreo constante de calados, esfuerzos y estabilidad.
- Operación de lastre según el plan.
- Control de acceso al buque

4.11.3. STRIPPING

Cuando el tanque se encuentre casi vacío se ralentizará la velocidad de trabajo de la bomba para realizar el stripping. Para realizar esta operación se cierra la válvula de descarga de la bomba y se presuriza la tubería de la bomba con gas inerte o aire. El impulsor de la bomba funciona como una válvula de no retorno, esto quiere decir que la carga no retornará al interior del tanque.

4.11.4. LASTRE DURANTE LA DESCARGA

Una vez que comienza la descarga hay que estar pendientes del calado para ello el buque comenzará a lastrar por gravedad hasta que detectemos que la sonda de los tanques ya no continúa aumentando y entonces significará que se ha igualado el nivel de agua entre los tanques y el exterior y podremos poner en marcha las bombas de lastre y seguiremos continuando con la descarga.

Se comienza a introducir agua en los tanques de lastre una vez que ya ha comenzado la descarga.

Como sucede en la primera parte del deslastre podremos introducir agua por gravedad y se completará el lastrado hasta llenar los tanques de lastre hasta el 98% pero teniendo la precaución de que no rebose ninguno de los tanques.

Es necesario lastrar uno o dos pares de tanques al mismo tiempo hasta que el nivel de lastre rellene los dobles fondos y la zona del pantoque para reducir el efecto de superficies libres y evitar que la estabilidad del buque disminuya. Cuando se completen uno o dos pares de tanques se continuará con otro grupo hasta finalizar todos los dobles fondos. Una vez que se han completado los dobles fondos se continuará con el uso de la bomba para rellanar todos los tanques hasta el vacío establecido hasta el final de la descarga del producto.

4.12 POSIBLES EMERGENCIAS DURANTE LAS OPERACIONES DE CARGA Y DESCARGA

Las operaciones de carga y descarga de productos altamente inflamables en un buque tanque pueden ocasionar en accidentes en situaciones muy remotas que supondrán un riesgo para el buque, la terminal, medio marino y las vidas humanas.

4.12.1. INCENDIO A BORDO

Durante el periodo de embarque de la tripulación se realizan semanalmente simulacros de abandono de buque, derrame de la carga, piratería e incendio. Esta última es la que más hincapié se suele hacer en un buque petrolero ya que se transportan productos que pueden ser altamente inflamables. En el buque Virgen del Cisne el alumno junto con el 3º oficial se encargan de actualizar el Fire Control Plan antes de que el buque atraque en el puerto. El Fire Control Plan viene reflejado en el manual SOLAS

En el Fire control plan viene reflejado la lista de los tripulantes, sus funciones en caso de incendio, el plan de estiba, Material Safety Data Sheet (MSDS) o en español hoja de datos de seguridad del material.

Durante la carga y descarga se pueden producir incendio comúnmente en dos lugares, los cuales son;

- Fuego en la cubierta principal: para extinguir el fuego se utilizan extintores de polvo en seco, los cuales se sitúan cerca de manifold antes de las operaciones, mangueras contra incendios conectadas en los hidrantes más cercanos al manifold y los cañones de espuma situados en la pasarela de la cubierta.
- Fuego dentro de los tanques de carga: para extinguir el fuego dentro de los tanques se introduce gas inerte en el interior del tanque. Si el fuego persiste se cerrará el tanque hasta que se agote el oxígeno. Un incendio dentro de un tanque indica que se ha realizado mal el proceso de inertización.

Si un buque se encuentra en puerto y se produce un incendio debe de activar su sistema de alarma general y contactar inmediatamente con la terminal a través del VHF.

4.12.2. DERRAMES

Si en una operación de carga o descarga se observa un derrame en la cubierta principal o en el agua, se deben de detener las operaciones inmediatamente.

En este caso de derrame sonará una alarma general y todos los tripulantes del barco acudirán a una sala del buque establecida (en el buque Virgen del Cisne es la CCR) y los oficiales de guardia y el capitán informarán del problema a los tripulantes lo más rápido posible para empezar a evitar lo antes posible los daños que podría causar al medio ambiente, vidas humanas y al propio buque. Para ello se activará el plan SOPEP o también conocido como Shipboard Oil Pollution Emergency Plan.

Los buques petroleros de arqueo bruto igual o superior a 150 y todos los buques de arqueo bruto igual o superior a 400 deberán de tener a bordo un plan de emergencia por contaminación de hidrocarburos según la regla 37 del Anexo I del Convenio MARPOL. (IMO, 2023)

Si el derrame se ha producido en la cubierta se deben de comprobar que los tapones imbornales o scupper plugs estén correctamente sellados para evitar que el hidrocarburo caiga a el agua. Una vez realizada esta tarea se debe de buscar el punto de fuga del derrame si no es claramente visible y cuando ya esté localizado se debe de evitar que los hidrocarburos caigan al mar, si ya se han derramado al mar se debe de minimizar la contaminación lo máximo posible. Para ello se realizan las siguientes tareas:

- Las limpiezas por derrames se empiezan utilizando el material SOPEP, situado a un costado de manifold. El material SOPEP está compuesto por equipos de absorción, serrín, cubos, recogedores, palas, cepillos, escobas, guantes, botas, etc
- Parar las tomas de aire acondicionado.

- Evitar posibles fuentes de ignición y tener localizado el equipo contraincendios.
- Ajustar el asiento o escorar el buque si se considera necesario para retener los hidrocarburos en la cubierta principal y que no se derramen al agua.
- También cabe destacar de la importancia de la bomba wilden para achicar el derrame lo máximo posible y dirigir el derrame al tanque residual.

Si el derrame cae al mar se seguirán usando los siguientes materiales del material SOPEP:

- Cilindro de material absorbente
- Barrera delimitadora y retenedora
- Elementos de señalización

Una vez producido un derrame, el buque debe de informar a las autoridades portuarias y a la terminal, ambos prestarán apoyo a través del plan de emergencia.

4.12.3. PARADA DE EMERGENCIA

A parte de las emergencias anteriores nombradas, el personal debe de realizar una parada de emergencia en las operaciones de carga y descarga si surgen alguno de estos problemas:

- Condiciones meteorológicas desfavorables
- Cualquier fallo mecánico como puede ser fallo en el sistema hidráulico de cierre y apertura de válvulas o fallo en el sistema de lastre.
- Incremento de la presión en los tanques o en manifold.
- Rotura de cabos.
- Rebose no controlado de alguno de los tanques de carga o de lastre.

La parada de emergencia se puede realizar desde la sala de control de carga o desde el manifold de babor o estribor.

Ilustración 25 Parada de emergencia de la sala de control de carga



Fuente: Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha explicado detalladamente las distintas etapas en las operaciones de carga y descarga en el buque petroquímico Virgen del Cisne y sus distintos equipos para llevar a cabo dichas operaciones y se ha llegado a las siguientes conclusiones.

Es importante que el buque disponga de equipos actualizados y se realicen inspecciones periódicamente para comprobar su buen estado sobre todo antes de la operación de carga o de descarga.

Una vez que se conoce la mercancía que se va a embarcar en el buque, se debe de hacer un análisis detallado para conocer sus propiedades físicas y químicas como su toxicidad su punto de inflamación, sus posibles medios de extinción en caso de emergencia, etc.

La elaboración de un buen plan de carga elaborado por el primer oficial y aprobado por el capitán es crucial para que los oficiales de guardia puedan apoyarse en él y puedan realizar unas operaciones efectivas y seguras sin poner en riesgo la carga, el medioambiente, los tripulantes y el buque.

La comunicación entre la terminal y el buque tiene que ser constante y fluida para que en caso de que se produjera algún problema se pudiera solucionar rápidamente.

Durante las guardias en las operaciones de carga y descarga, cada tripulante en su guardia tiene sus tareas y sus responsabilidades por ello es de crucial importancia tener un buen conocimiento de las operaciones y cómo reaccionar ante una posible emergencia. Es muy importante que los miembros de las tripulaciones de los buques tanque sigan formándose para adaptarse a nuevas innovaciones que puedan aparecer en un futuro.

Referencias

- Anwar, N. (2011). *Ballast water management*. Witherby Seamanship International Ltd.
- Church, E. (9 de Diciembre de 2021). *Everything You Need to Know About Oil Tankers*. Martide.
<https://www.martide.com/en/blog/all-about-oil-tankers>
- Devold, H. (2013). *Oil and Gas Production Handbook: An Introduction to Oil and Gas Production*.
- Framo. (s.f.). *The submerged cargo pump*. <https://www.framo.com/cargo-pumping-systems/cargo-pumping/submerged-cargo-pump/>
- García Soutullo, R. (19 de Agosto de 2022). *Limpieza de tanques. Petroleros*. Ingeniero marino.
<https://ingenieromarino.com/limpieza-de-tanques-petroleros/>
- IMO. (2019). *Código Internacional para la Construcción y el Equipo de Buques que Transporten Productos Químicos Peligrosos a Granel (Código CIQ)*.
- IMO. (2022). *Código Internacional de mercancías peligrosas (Código IMDG)*.
- IMO. (2023). *Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78)*.
- IMO. (2024). *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)*.
- Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT). (s.f.). *Material Safety Data Sheet*.
<https://english.ilent.nl/topics/transporting-dangerous-goods-by-sea/transport-regulations-imdg/material-safety-data-sheet>
- International Maritime Organization. (s.f.). *Ballast water management*.
<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/BallastWaterManagement.aspx>
- International Maritime Organization. (s.f.). *Crude Oil Washing*.
<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Crude-Oil-Washing.aspx>
- Jassal, R. (27 de Marzo de 2017). *A basic but helpful guide on framo system*. MySeaTime.
<https://www.myseatime.com/blog/detail/a-basic-but-helpful-guide-on-framo-system>

- Jaz. (18 de Julio de 2018). *Operation and maintenance of eductor on ships*. Marine engineering online. <https://marineengineeringonline.com/operation-maintenance-eductor-ships/>
- Logisber. (2024). *Bill of lading – BL: Lo más importante para el transporte marítimo*. <https://logisber.com/blog/bill-of-lading>
- Louzán Lago, F. (2020). *Manual de buques petroleros*. Ediciones Cartemar.
- Marflet Marine. (s.f.). *Our fleet: Virgen del Cisne*. <https://www.marfletmarine.com/our-fleet-virgen-del-cisne/>
- OCIMF. (2019). *Design and construction specification for marine loading arms*.
- OCIMF. (2020). *International safety guide for oil tankers and terminals 6th edition ISGOTT*.
- Rambridge, S., Jacob, M., & Monyemangene, E. (2019). Ship-to-shore transfer of liquid bulk – marine loading arms versus flexible hoses. *Civil Engineering : Magazine of the South African Institution of Civil Engineering*, 27(4), 35-40.
- Reigadas, I. (2004). *El buque tanque*.
- Ricardo Galdea, G. (Abril de 2004). *Los buques tanque y su clasificación*. Patrotecna. <http://biblioteca.iapg.org.ar/archivosadjuntos/petrotecna/2004-2/losbuques.pdf>
- Rodríguez Vidal, C. (2003). Los buques petroleros. *RevistaNaval*.
- Sastry, M., & Seekumar, L. (2012). *Automatitaton of real time monitoring and controlling of a marine loading arm*. Emerald Group Publishing Limited.
- Subhodeep Ghosh. (18 de Mayo de 2023). *What Are Deck Seals?*. marineinsight. <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/what-are-deck-seals/#:~:text=A%20deck%20seal%20is%20like,vapour%20mixture%20to%20its%20sources.>