

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Técnica Naval**

**DISEÑO, CÁLCULO Y DESARROLLO DEL SISTEMA
DE CARGA Y DESCARGA DE CRUDO PARA UN
BUQUE PETROLERO DE 185.000 TPM**

María José BRAVO GONZÁLEZ



Centro: **E. U. I. T. NAVAL**
Titulación: **I. T. NAVAL**
Fecha: **Febrero 2009**



INDICE:

	Pág.
OBJETIVO	3
CAPITULO I.- EXPOSICION Y ANALISIS DE LAS NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES DE LA ADMINISTRACION O DE LAS SOCIEDADES DE CLASIFICACION QUE AFECTAN Y/O DETERMINAN LOS DISTINTOS MEDIOS Y EQUIPOS QUE SE HAN DE DISPONER.	4
CAPITULO II.- DISEÑO, DETERMINACION, CÁLCULO Y PLANOS DE DESARROLLO DEL SISTEMA DE CARGA Y DESCARGA DE CRUDO.	9
1.- CARACTERISTICAS PRINCIPALES	10
2.- PORCENTAJES DE CARGA DE LAS SEGREGACIONES	14
3.- CALCULO DE VOLUMENES	15
4.- CALCULO DE TIEMPOS DE DESCARGA	21
5.- ELECCION DE LA CAPACIDAD DE LAS BOMBAS DE CARGA	22
6.- ELECCION DE LA CAPACIDAD DE LAS BOMBAS DE AGOTAMIENTO	25
7.- ELECCION DE LA CAPACIDAD DE LOS EYECTORES	26
8.- DIMENSIONAMIENTO DE LAS TUBERIAS	29
9.- PERDIDAS DE CARGA	35
10.- PLANOS	42
11.- PRESUPUESTO	44
CAPITULO III.- PROCEDIMIENTOS O PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA Y SECUENCIAS ÓPTIMAS POSTERIORES DE LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO A EFECTUAR.	51
1.- PROCEDIMIENTOS DE ACTUACION	52
-PROCEDIMIENTO PARA EL SISTEMA DE CARGA	52
-PROCEDIMIENTO PARA EL SISTEMA DE DESCARGA	56
-PROCEDIMIENTO PARA EL SISTEMA DE AGOTAMIENTO	61
2- PROCEDIMIENTO PARA LA OPERACIÓN DE LAVADO CON CRUDO	67
BIBLIOGRAFÍA	70

OBJETIVO

Este proyecto describe el sistema empleado para los servicios de carga y descarga de crudo de un buque petrolero de unas 200.000 toneladas de peso muerto, así como el servicio de agotamiento de los tanques, de la sentina de la cámara de bombas y de las correspondientes tuberías que conforman dicho sistema.

Para ello se deberá tener en cuenta que las dimensiones del buque proyectado no son referidas a ninguna construcción existente, y que han sido obtenidas a partir de una serie de estimaciones realizadas sobre las especificaciones reales de varios petroleros.

Uno de estos petroleros consiste en un *Suezmax* capaz de transportar un millón de barriles de crudo y con un peso muerto de 137.500 toneladas, el segundo de los buques tomado como referencia para realizar los diferentes cálculos, consiste en un *Very Large Crude Carrier* de dimensiones mucho mayores al anterior, capaz de transportar dos millones de barriles de crudo y con un peso muerto de 275.000 toneladas. La estimación del proyecto estudiado ha sido realizada entre éstos dos tipos de buques para alcanzar un peso muerto aproximado de 185.000 toneladas.

Una vez estimadas las dimensiones principales del buque, así como las dimensiones de cada uno de los tanques de carga, se ha procedido a calcular la cantidad de crudo capaz de transportar dicho buque, para cada una de las segregaciones del sistema de carga. A continuación, se ha proseguido con la explicación del recorrido a seguir por el crudo, a través de las diferentes segregaciones, en las operaciones de carga, descarga y agotamiento de los tanques y de las correspondientes tuberías que forman dicho sistema. También han sido especificados detalles constructivos sobre la disposición y dimensionamiento de tuberías del sistema. Por último, han sido detalladas las características de los equipos y elementos empleados en este sistema como son bombas, eyectores, válvulas, etc.

CAPITULO I

**EXPOSICION Y ANALISIS DE LAS NORMAS NACIONALES E
INTERNACIONALES DE LA ADMINISTRACION O DE LAS
SOCIEDADES DE CLASIFICACION QUE AFECTAN Y/O
DETERMINAN LOS DISTINTOS MEDIOS Y EQUIPOS**

1.- TANQUES DE CARGA

Reglamento de Bureau Veritas (Pt E, Cap 7, Sec 2, Pto 3.4.1):

Se exige que la capacidad de un tanque de carga no pueda exceder de **30.000 m³**.

MARPOL 73/78 (Edición 1.997), en el apéndice del Anexo I (Pto-2.2):

Se establece que todos los tanques de carga deben respetar un margen del **2%** de su capacidad.

MARPOL 73/78 (Edición 1.997), en el apéndice del Anexo I (Pto-7) figuras 7 y 8:

Refleja una tabla de capacidades totales y dimensiones de los tanques de carga que podremos usar para las estimaciones en los cálculos del petrolero estudiado.

2.- TANQUES DE LODOS

MARPOL 73/78 (Edición 1.997), regla 15 del Anexo I (Pto-2 C):

Exige que los tanques de lodos deben tener capacidad suficiente para retener todo el lodo generado y cuya capacidad total no puede ser inferior al **3%** de la capacidad de la carga que transporta el buque en cuestión, excepto algunos casos que no son de aplicación en este proyecto.

3.- BOMBAS DE CARGA.

Reglamento de Bureau Veritas (Pt E, Cap 7, Sec 4, Pto 3.2.1, Ap b):

Detalla que las bombas de carga se deberán localizar dentro de la cámara de bombas independiente de la cámara de máquinas.

Resolución A.446(XI) I.M.C.O. adoptada el 15 noviembre de 1979. (Pto 4.3)

Especifica el tipo, capacidad y características que deben cumplir durante la operación, de las bombas de carga que suministren el crudo a las máquinas de lavado de tanques.

4.- EYECTORES.

Reglamento del **Bureau Veritas** (Pt E, Cap 7, Ap 2, Pto 2.3.2):

La alimentación por crudo de los eyectores deberá provenir de una de las bombas centrífugas de las otras dos segregaciones. Así, de este modo, mientras una de las bombas está descargando y alimentando al eyector, éste puede estar realizando labores de agotamiento al mismo tiempo.

Reglamento **Crude Oil Washing Systems**, Edición 1.983, (Pto 6.1):

Expone que los eyectores serán diseñados teniendo en cuenta la alimentación de las máquinas de limpieza empleadas.

Reglamento del **Bureau Veritas** (Pt E, Cap 7, Ap 2, Pto 2.4.3):

Señala que la capacidad del eyector debe ser **1,25** veces la capacidad total de las máquinas de limpieza, que puedan operar simultáneamente para lavado del fondo.

5.- MAQUINAS PARA LAVADO DE TANQUES.

Resolución A.446(XI) **I.M.C.O.** adoptada el 15 noviembre de 1979. (Pto 4.2)

Especifica la instalación, características, tipo de montaje y emplazamiento de las máquinas instaladas para lavar los tanques con crudo.

6.- TUBERÍA DE MANIFOLD.

Reglamento del **Bureau Veritas** (Pt E, Cap 7, Sec 4, Pto 3.4.5, Ap c)

Establece que la conexión a la terminal de tierra se realizará por medio de válvula de cierre y brida ciega.

O.C.I.M.F. (Oil Companies International Marine Forum) Edición 1.991, Ap 2.1:

Describe que el centro de la tubería de Manifold de carga debe estar localizado en la mitad de la eslora del buque con un margen de **3m** hacia proa o hacia popa desde maestra.

O.C.I.M.F. (Oil Companies International Marine Forum) Edición 1.991, Ap 2.2:

Indica que la distancia entre la brida dispuesta abordo en el extremo de la tubería de Manifold y el costado del buque debe ser de **4.6m**.

O.C.I.M.F. (Oil Companies International Marine Forum) Edición 1.991, Ap 2.3.2:

Indica que la altura de los centros de las bridas dispuestas sobre la línea de Manifold no puede exceder de **2.1m** sobre la cubierta principal.

O.C.I.M.F. (Oil Companies International Marine Forum) Edición 1.991, Ap 2.4:

Indica que la separación mínima entre los centros de las bridas dispuestas sobre cada una de las líneas de Manifold no debe ser inferior a **3m**.

7.- VÁLVULAS.

Reglamento de Bureau Veritas (Pt E, Cap 7, Sec 4, Ptos 3.4.3 apto d y 3.3.5 apto b):

Dispone que todas las válvulas de mariposa (con y sin estrangulación) serán accionadas hidráulicamente por aceite a presión desde una mesa de control dispuesta en la cabina de control de carga situada en una de las cubiertas de la superestructura. Esta mesa de control poseerá un indicador de posición automático para cada una de las válvulas que informa sobre el estado (apertura o cierre) de las mismas.

8.- TUBERIAS.

Reglamento de Bureau Veritas (Pt E, Cap 7, Sec 4, Pto 3.3.2 aptos b y c):

Exige que las tuberías de carga, válvulas, acoplamientos (bridas) y otros accesorios finales de las líneas de tubería de carga deberán ser de acero.

Resolución A.446(XI) I.M.C.O. adoptada el 15 noviembre de 1979. (Pto 4.1)

Especifica el tipo, capacidad, independencia de otras líneas... de las tuberías para lavado con crudo, así como la necesidad de instalar en las mismas los dispositivos de seguridad para evitar sobrepresiones.

9.- BRIDAS.

Reglamento de **Bureau Veritas** (Pt E, Cap 7, Sec 4, Pto 3.3.3):

Exige que para realizar la conexión de las tuberías se utilicen bridas, o bien, se pueden usar como cierre colocadas en los extremos de las mismas.

CAPITULO II

DISEÑO, DETERMINACION, CÁLCULO Y PLANOS DE DESARROLLO DEL SISTEMA

1.- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.

1.1.- TIPO DE BUQUE:

La especificación técnica del buque estudiado describe un petrolero destinado al transporte de petróleo crudo con doble casco, lastre segregado y propulsión principal asegurada por motor diesel de baja velocidad conectado a línea de eje y hélice.

1.2.- DISPOSICIÓN GENERAL:

El buque está provisto por un doble fondo, doble forro de costado, dos mamparos longitudinales, dos mamparos longitudinales del doble forro y mamparos transversales compartimentando su interior en:

- 15 tanques de carga.
- 10 tanques de lastre segregado tipo L.
- 2 tanques de lodos.
- 2 tanques de fuel-oil.
- 1 tanque de almacenamiento de diesel-oil.

A popa de los tanques de carga se encuentra la cámara de bombas y la cámara de máquinas donde va dispuesta la maquinaria principal y auxiliar propulsora. La zona destinada a la acomodación se ubica a popa del área de carga y sobre la cámara de máquinas. Esta zona va provista de espacios públicos, privados y de servicio.

1.3.- DIMENSIONES PRINCIPALES:

Las dimensiones principales del buque son las siguientes:

Eslora total	285 m
Eslora entre perpendiculares	271 m
Manga	50 m
Puntal	27 m
Calado de diseño	18 m
Calado de escantillonado	18.5 m

1.4.- CAPACIDADES:

Las capacidades de carga (al 100%) son:

Capacidad total de los tanques de carga	236.400 m ³
Capacidad total de los tanques de lodos	7.200 m ³
Capacidad total de carga	43.600 m ³
Capacidad total de los tanques de lastre	79.100 m ³

A continuación se detalla la capacidad que es capaz de almacenar otros tanques importantes del buque como son:

Capacidad total de fuel-oil	5.000 m ³
Capacidad total de diesel-oil	300 m ³
Capacidad total de agua dulce	490 m ³
Capacidad total de aceite de lubricación	110 m ³

1.5.- CANTIDAD DE CRUDO TRANSPORTADO:

Conociendo la capacidad de los tanques de carga y la de los tanques de lodos, destinados también al almacenamiento de crudo, se va a calcular la capacidad total de los tanques empleados para la carga.

CAPACIDAD DE TANQUES DE CARGA (100%)	236.400 m ³
CAPACIDAD DE TANQUES DE LODOS (100%)	7.200 m ³
CAPACIDAD TOTAL (100%)	= 243.600 m³

Para calcular el peso del petróleo que se puede transportar en dicha capacidad, se ha tomado como valor del **peso específico del crudo** cargado **0.895 T/m³**. De ésta forma obtenemos:

TANQUES DE CARGA (100%)	236.400 m ³ x 0.895 T/m ³ = 211.578 T
TANQUES DE LODOS (100%)	7.200 m ³ x 0.895 T/m ³ = 6.444 T
PESO DE CRUDO TOTAL (100%)	= 218.022 T

Hay que tener en cuenta que este peso calculado se refiere a la capacidad total de los tanques cargados al 100%, pero según la **I.M.O.** (International Maritime Organisation) en sus normas editadas en el **MARPOL 73/78** (Edición 1.997), en el apéndice del Anexo I (pto-2.2) establece que todos los tanques de carga deben respetar un margen del **2%** de su capacidad, por lo que el cálculo del peso del crudo cargado hasta el 98% de su capacidad será:

PESO DE CRUDO TOTAL (98%)	213.661 T
CAPACIDAD DE TANQUES (98%)	238.728 m³

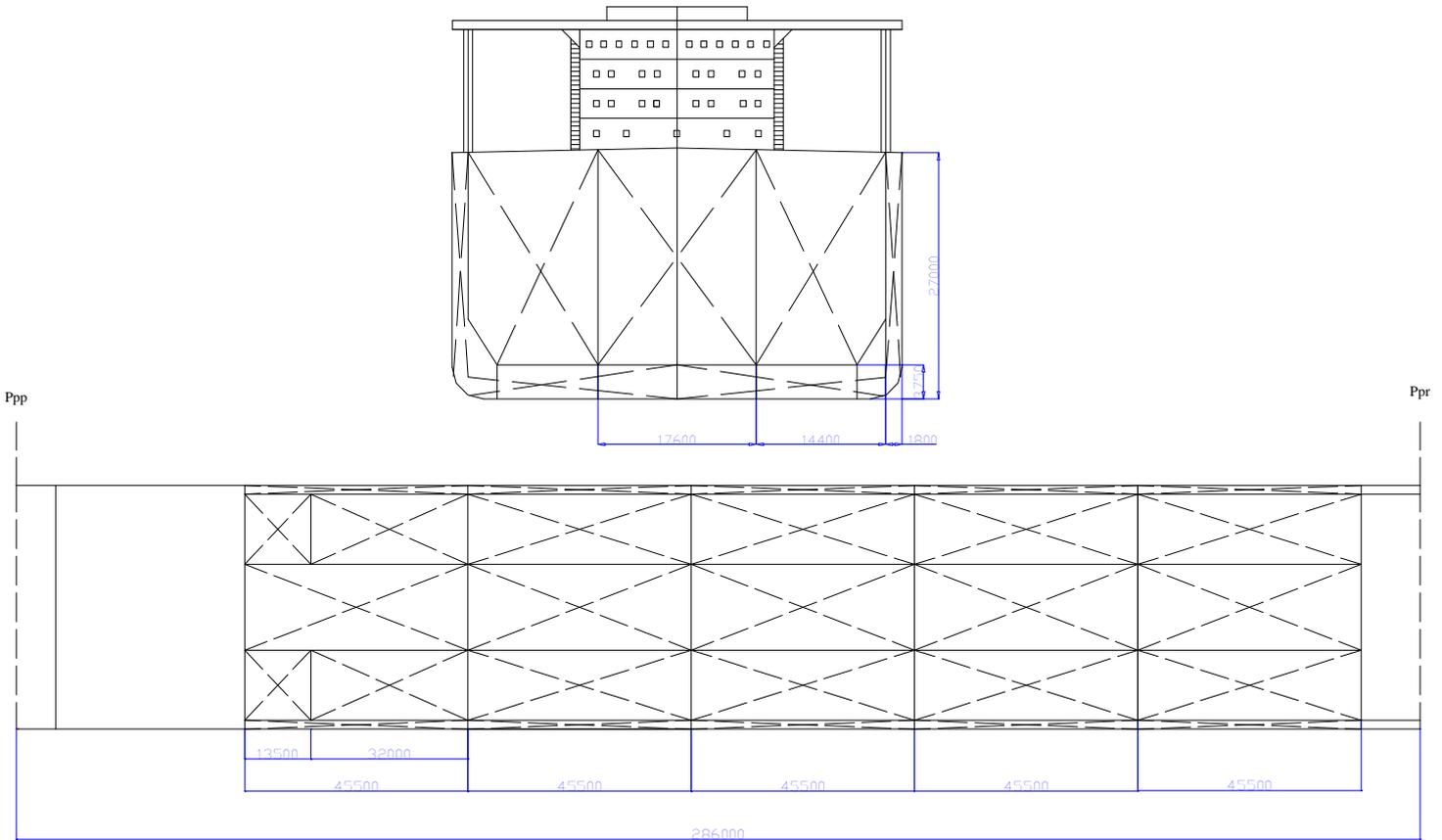
1.6.- CAPACIDAD DE CADA TANQUE:

La capacidad de cada uno de los tanques de carga y de los tanques de lodos nos permite calcular el porcentaje de crudo que será cargado a través de cada una de las diferentes segregaciones.

Estas capacidades son aproximadas y han sido obtenidas a partir de una estimación realizada entre las disposiciones de los tanques de los dos petroleros ya mencionados para el cálculo de las dimensiones del buque, y según las reflejadas en MARPOL 73/78 (Edición 1.997), en el apéndice del Anexo I (pto-7) figuras 7 y 8.

Conociendo la capacidad total de los tanques de carga y lodos, y las dimensiones de los mismos, podremos calcular la capacidad que podrá almacenar cada uno de dichos tanques. Las dimensiones de los diferentes tanques han sido estimadas de la misma Reglamentación, anteriormente citada, reflejada en el MARPOL 73/78. De este modo, tengo los siguientes volúmenes aproximados de tanques:

VOLÚMENES DE LOS TANQUES:	L x B x T
TANQUES CENTRALES DE CARGA (100%)	= 45.5 x 17.6 x 23.25 = 18.619 m ³
TANQUES LATERALES DE CARGA (Nº1,2,3,4) (100%)	= 45.5 x 14.4 x 23.25 = 15.234m ³
TANQUES LATERALES DE CARGA (Nº 5) (100%)	= 32 x 14.4 x 23.25 = 10.715 m ³
TANQUES DE LODOS (100%)	= 13.5 x 14.4 x 18.5 = 3.600 m ³



La capacidad de los tanques de lodos que se ha estimado, cumple la Regla 15 del Anexo I (pto-2 C) reflejada en **MARPOL 73/78** (Edición 1.997), donde se exige que dichos tanques deben tener capacidad suficiente para retener todo el lodo generado y cuya capacidad total no puede ser inferior al **3%** de la capacidad de la carga que transporta el buque en cuestión, excepto algunos casos que no son de aplicación en este proyecto. Y además, las capacidades de los tanques de carga estimadas, también cumplen con el Reglamento de **Bureau Veritas** (Pt E, Cap 7, Sec 2, Pto 3.4.1) donde se exige que la capacidad de un tanque de carga no pueda exceder de 30.000 m³.

Una vez conocida las capacidades de los diferentes tipos de tanques, y teniendo en cuenta el porcentaje correspondiente al margen de llenado (2%) en cada tanque, podremos calcular el peso de la carga que se transportará en cada tanque, multiplicando por el valor del peso específico del crudo. De esta forma obtenemos los siguientes valores:

TANQUES CARGA CENTRALES (98%):	$P1 = 18.619 \text{ m}^3 \times 0.98 \times 0.895 \text{ T/m}^3 = 16.331 \text{ T}$
TANQUES CARGA LATERALES (Nº 1,2,3,4) (98%):	$P2 = 15.234 \text{ m}^3 \times 0.98 \times 0.895 \text{ T/m}^3 = 13.362 \text{ T}$
TANQUES CARGA LATERALES (Nº 5) (98%):	$P3 = 10.715 \text{ m}^3 \times 0.98 \times 0.895 \text{ T/m}^3 = 9.398 \text{ T}$
TANQUES DE LODOS (98%):	$P = 3.600 \text{ m}^3 \times 0.98 \times 0.895 \text{ T/m}^3 = 3.157 \text{ T}$

2.- PORCENTAJES DE CARGA DE LAS SEGREGACIONES.

Una vez conocida la capacidad de carga que puede almacenar cada uno de los diferentes tanques, se deberá determinar la cantidad de crudo que puede ser cargada y descargada a través de cada una de las segregaciones, así como, el porcentaje de crudo cargado a través de cada una de ellas en relación a la carga total.

Debemos aclarar que el número de segregaciones y la elección del llenado de los tanques ya nos han sido determinados, teniendo en cuenta tanto la estabilidad del buque, como la posibilidad de rotura del casco durante las operaciones de carga. De esta forma, la distribución de los tanques de carga decididos entre las tres segregaciones son:

1	3	1	2	2	3
	2	3	1	3	1
1	3	1	2	2	3

-  SEGREGACIÓN N°1
-  SEGREGACIÓN N°2
-  SEGREGACIÓN N°3

SEGREGACIÓN N°1:	Tanque Central n°1, Tanque Central N°3, Tanques Laterales n°4 y Tanques de Lodos
SEGREGACIÓN N°2:	Tanques Laterales N°2 Tanques Laterales N°3 y Tanque Central N°5
SEGREGACIÓN N°3:	Tanques Laterales N°1, Tanque Central N°2, Tanque Central N°4 y Tanques Laterales N°5

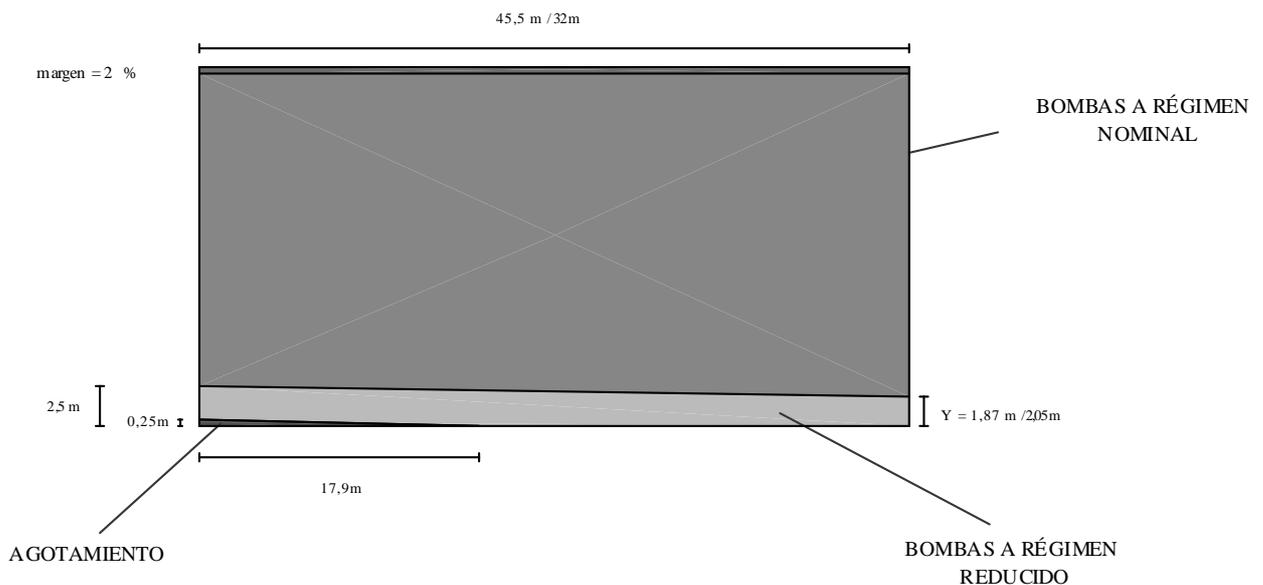
Una vez conocido los tanques llenados por cada una de las segregaciones y la cantidad de carga correspondiente, podemos calcular el porcentaje de crudo que puede circulará por cada una de las segregaciones.

SEGREGACIÓN N°1	= 65.697 Tn = 30,75 %
SEGREGACIÓN N°2	= 69.774 Tn = 32,65 %
SEGREGACIÓN N°3	= 78.176 Tn = 36,60 %

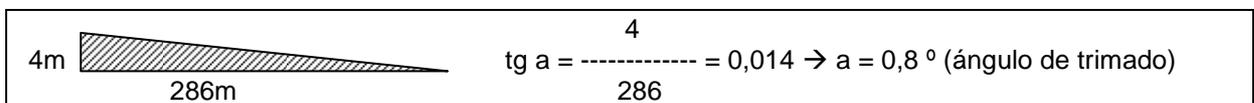
3.- CALCULO DE VOLUMENES.

El tiempo de descarga va a depender de la secuencia utilizada por el oficial encargado de la misma. Por ello, haremos unas consideraciones generales para establecer la duración aproximada de la descarga del buque.

En líneas generales el procedimiento de descarga va a comenzar con las bombas actuando a régimen nominal hasta unos 2,5 m en la zona de aspiración (lo más a popa posible en los tanques de carga). Posteriormente, se continúa la descarga de lo que queda en los tanques hasta unos 25 cm con las bombas actuando a un régimen reducido (50% de su régimen nominal). Finalmente, se realiza el achique, con la bomba de agotamiento, de estos últimos 25 cm. A estos tiempos de descarga se le incrementará un tiempo estimado de unos 30 minutos debido al agotamiento final de las líneas de tuberías.

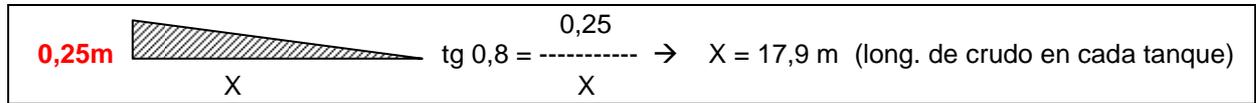


Para hacer los cálculos se tomará como referencia la segregación mayor, que en este caso, es la segregación N°3 (Tanques Laterales N°1, Tanque Central N°2, Tanque Central N°4 y Tanques Laterales N°5) con un volumen de 89.136 m³. Y el trimado estimado es de unos 4 m. (Epp = 286 m).



3.1.- VOLÚMENES DE DESCARGAS.

1º.- VOLUMEN DE ACHIQUE CON BOMBA DE AGOTAMIENTO:

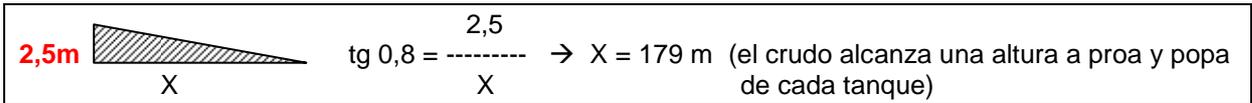


Recordemos que:

VOLÚMENES DE LOS TANQUES:	L x B x T
TANQUES CENTRALES DE CARGA (100%)	= 45.5 x 17.6 x 23.25 = 18.619 m ³
TANQUES LATERALES DE CARGA (Nº1,2,3,4) (100%)	= 45.5 x 14.4 x 23.25 = 15.234m ³
TANQUES LATERALES DE CARGA (Nº 5) (100%)	= 32 x 14.4 x 23.25 = 10.715 m ³
TANQUES DE LODOS (100%)	= 13.5 x 14.4 x 18.5 = 3.600 m ³

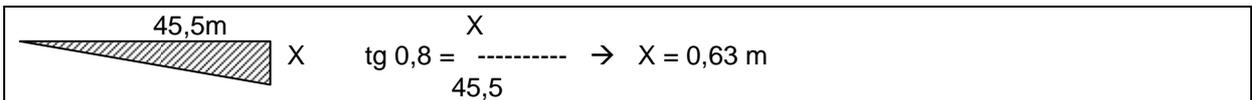
VOLUMEN = ÁREA x MANGA (B) x Nº DE TANQUES		
Vol. (TC2-TC4)	$= \frac{17,9 \times 0,25}{2} \times 17,6 \times 2$	= 78,76 m ³
Vol. (TL1-TL5)	$= \frac{17,9 \times 0,25}{2} \times 14,4 \times 4$	= 128.88 m ³
VOLUMEN TOTAL DE AGOTAMIENTO		= 207,64 m³

2º.- VOLUMEN DE DESCARGA CON BOMBAS AL 50% DE SU RÉGIMEN NOMINAL:

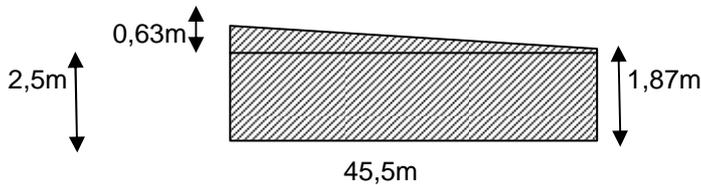


Recordemos que:

VOLÚMENES DE LOS TANQUES:	L x B x T
TANQUES CENTRALES DE CARGA (100%)	= 45.5 x 17.6 x 23.25 = 18.619 m ³
TANQUES LATERALES DE CARGA (Nº1,2,3,4) (100%)	= 45.5 x 14.4 x 23.25 = 15.234m ³
TANQUES LATERALES DE CARGA (Nº 5) (100%)	= 32 x 14.4 x 23.25 = 10.715 m ³
TANQUES DE LODOS (100%)	= 13.5 x 14.4 x 18.5 = 3.600 m ³

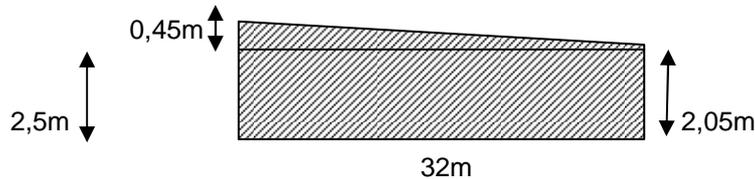
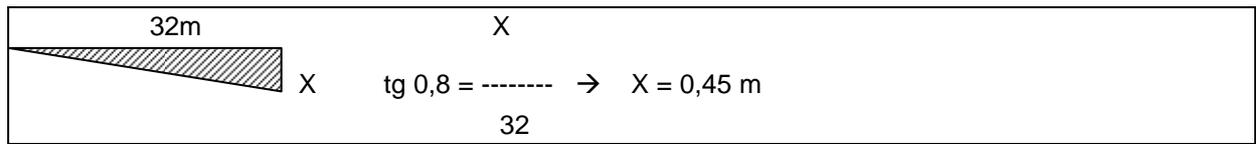


Como el crudo se acumula en el interior del tanque formando una figura irregular, el área total se calculará como la unión de un rectángulo y un triángulo.



VOLUMEN = ÁREA TOTAL x MANGA (B) x Nº DE TANQUES		
Vol. (TC2-TC4)	$= \left[\frac{45,5 \times 0,63}{2} + (45,5 \times 1,87) \right] \times 17,6 \times 2$	= 3.499,24 m ³
Vol. (TL1)	$= \left[\frac{45,5 \times 0,63}{2} + (45,5 \times 1,87) \right] \times 14,4 \times 2$	= 5.726 m ³

Como los Tanques Laterales N°5 son de menor longitud, hay que realizar nuevos cálculos:



VOLUMEN = ÁREA TOTAL x MANGA (B) x N° DE TANQUES		
Vol. (TL5)	$= \left[\frac{32 \times 0,45}{2} + (32 \times 2,05) \right] \times 14,4 \times 2$	= 2.096.64 m ³

VOLUMEN TOTAL	= 11.321,88 m³
----------------------	----------------------------------

Por tanto, el volumen total que van a descargar las bombas, actuando a un 50% de su régimen, va a ser la diferencia entre éste último cálculo y el volumen de agotamiento obtenido anteriormente.

VOLUMEN TOTAL - VOLUMEN TOTAL DE AGOTAMIENTO	= 11.321,88 – 207,64 m ³
VOLUMEN TOTAL DE DESCARGA AL 50%	= 11.114,24m³

3º.- VOLUMEN DE DESCARGA CON BOMBAS AL RÉGIMEN NOMINAL:

Una vez calculado el volumen que descarga la bomba, actuando a régimen reducido, y el volumen que achica la bomba de agotamiento, se calcula el volumen descargado por la bomba, actuando al régimen nominal, restando éstos dos valores anteriores al volumen de la segregación N°3.

VOLUMEN SEGREGACION N°3	89.136m ³
=(Vol. Tk1 x 2) + vol. Tk2 + vol. Tk4 + (vol. Tk 5 x 2)	
VOLUMEN TOTAL DE DESCARGA REGIMEN 50%	11.114,24m ³
VOLUMEN TOTAL DE AGOTAMIENTO	207,64m ³

VOLUMEN TOTAL DE DESCARGA REGIMEN NOMINAL	= 77.814,12m³
--	---------------------------------

4º.- VOLUMEN FINAL DE AGOTAMIENTO DE TUBERÍAS:

Para calcular el volumen final de agotamiento de tuberías se han obtenido los volúmenes interiores de las distintas líneas del sistema y se ha empleado, en este proyecto, el correspondiente a la segregación N°3 ya que al ser la segregación mayor, será la última en descargarse. A continuación se detalla una tabla con los resultados obtenidos:

	D.N.	D.Int.(mm)	D.Ext.(mm)	Long.(m)	Vol.Int. (m ³)
ASPIRACIÓN	800	795,2	812,8	190	94,36
	400	388,8	406,4	60	7,12
DESCARGA	650	651,6	660,4	132	44,02
MANIFOLD	650	651,6	660,4	47	15,67
TOTAL:					161,17

Por último, hay que mencionar que no todo el volumen interior de la tubería va llevar crudo en el agotamiento de las líneas por lo que se ha realizado la estimación de una parte proporcional.

VOLUMEN DE AGOTAMIENTO FINAL DE TUBERÍAS

= 80,58m³

4.- CALCULO DE TIEMPOS DE DESCARGA.**1º.- TIEMPO DE DESCARGA CON BOMBAS AL RÉGIMEN NOMINAL:**

Volumen de desc. a reg. nominal	77.814,12 m ³
Td = ----- = ----- = 17,2 horas	
Capacidad de bombas a rég. nominal	4.500 m ³ /h

(Véase el cálculo de la capacidad de la bomba de carga en el apartado 8.3).

2º.- TIEMPO DE DESCARGA CON BOMBAS AL RÉGIMEN REDUCIDO 50%:

Volumen de desc. a reg. reducido	11.114,24 m ³
Td = ----- = ----- = 4,9 horas	
Capacidad de bombas a rég. reducido	2.250 m ³ /h

3º.- TIEMPO DE AGOTAMIENTO CON BOMBA:

Volumen de agotamiento	207,64 m ³
Td = ----- = ----- = 0,7 horas	
Capacidad de bomba de agotamiento	300 m ³ /h

(Véase el cálculo de la capacidad de la bomba de agotamiento en el apartado 8.4).

4º.- TIEMPO DE AGOTAMIENTO FINAL DE LAS TUBERIAS:

Volumen de agotamiento	80,58 m ³
Td = ----- = ----- = 0,5 horas	
Capacidad de bomba de agotamiento	150 m ³ /h

TIEMPO DE DESCARGA TOTAL**= 23,3 horas**

5.- ELECCION DE LA CAPACIDAD DE LAS BOMBAS DE CARGA

A continuación, resumiremos en un cuadro los resultados sobre los tiempos de descargas obtenidos, sobre 3 opciones de bombas de distintas capacidades, para explicar la elección de la bomba utilizada en los cálculos anteriores.

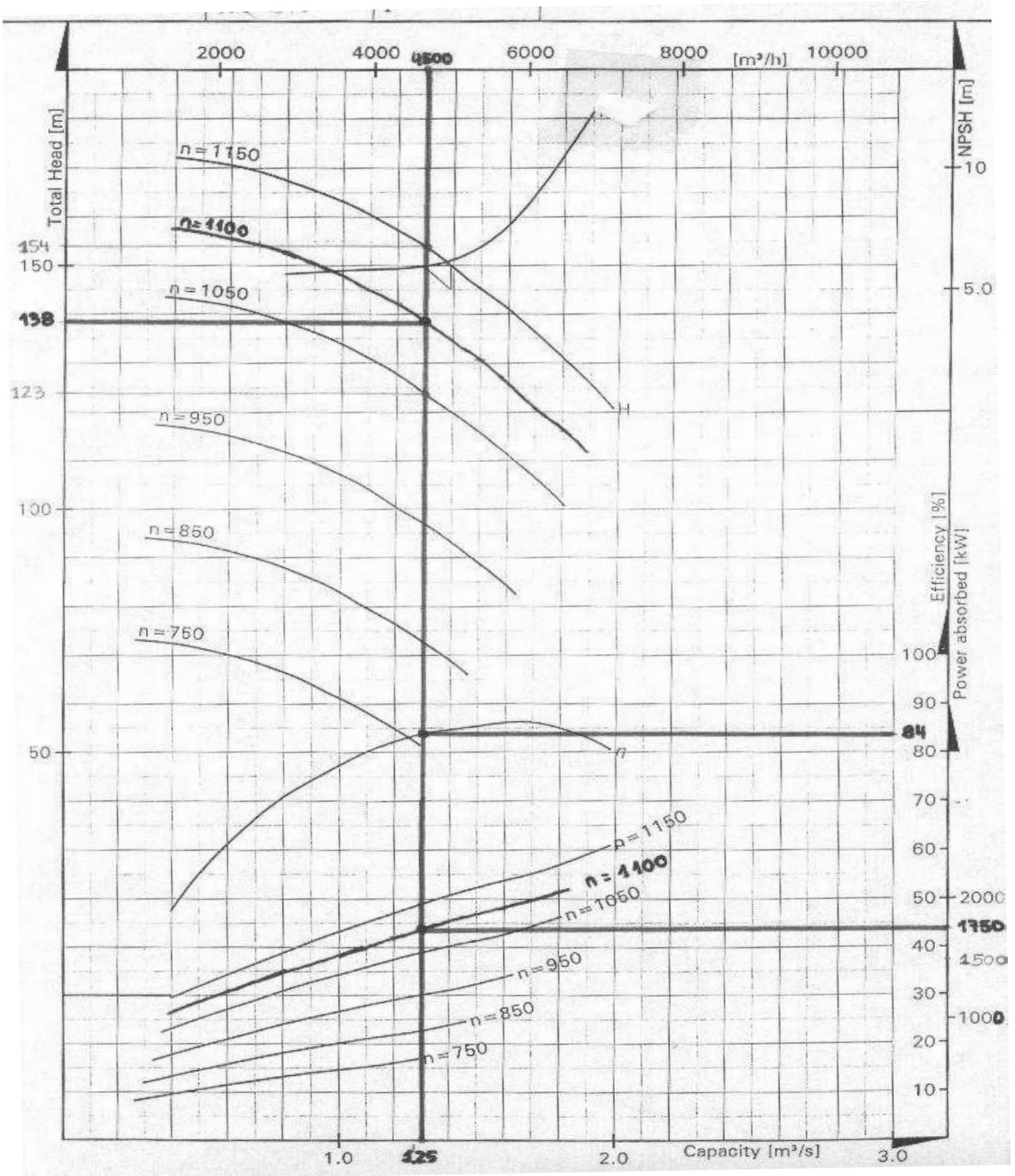
TIEMPOS DE DESCARGA (horas)	CAPACIDAD (m ³ /h)		
	OPCIÓN 1 4.000	OPCIÓN 2 4.500	OPCIÓN 3 5.000
A RÉGIMEN NOMINAL	19,4	17,2	15,5
A RÉGIMEN REDUCIDO	5,5	4,9	4,4
AGOTAMIENTO DE TANQUES	0,7	0,7	0,7
AGOTAMIENTO DE TUBERÍAS	0,5	0,5	0,5
TOTAL:	26,1	23,3	21,1

(Capacidad seleccionada en color azul.)

Observando los valores obtenidos en la tabla, se ha desechado la **OPCIÓN 1** por su excesivo tiempo de descarga al sobrepasar las 24 horas que, generalmente, puede durar dicha operación como máximo en grandes petroleros. Las otras dos opciones presentan tiempos de descarga prudentes, pero se ha escogido la **OPCIÓN 2** para disminuir el volumen y coste de la maquinaria. La **OPCIÓN 3** suele emplearse en petroleros superiores al aquí proyectado como pueden ser los *Very Large Crude Carriers* o *Ultra-large Crude Carriers*. En cualquier caso, podría cambiarse la capacidad de dichas bombas o las propias bombas, según requerimientos del armador, en el caso de querer variar el tiempo de descarga o por razones económicas.

Una vez conocida la capacidad de cada bomba de carga y realizando el estudio sobre la siguiente gráfica, donde se representan las curvas características de dichas bombas para una capacidad de 4.500 m³/h, se observa que el punto óptimo de funcionamiento se conseguiría a 1.100 r.p.m. obteniendo una altura total manométrica de 138 m.c.l. y con un rendimiento total del 84 %.

CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA DE CARGA:



Por otro lado, una vez conocida la capacidad de cada bomba, el rendimiento de la misma y la altura total manométrica, obtengo el valor de la **Potencia unitaria absorbida** por cada bomba a través de la siguiente expresión:

$$Pa = \frac{0,736 \times Q \times ATM \times 1000 \times p}{3.600 \times 75 \times n} = \frac{0,736 \times 4.500 \times 138 \times 1.000 \times 0,895}{3.600 \times 75 \times 0,84} = 1.803,6kw$$

donde:

Pa = Potencia unitaria de la bomba (kW)

Q = Capacidad de la bomba (m³/h)

ATM = Altura total manométrica (m.c.l.)

P = Densidad de la carga (t/m³)

n = Rendimiento de la bomba

Este último dato de la potencia unitaria absorbida por la bomba también puede ser obtenido, de forma aproximada, en la gráfica anterior de la curva característica.

Como resumen, las características de las bombas de carga empleadas en el sistema de carga y descarga de crudo de nuestro estudio son:

Nº de bombas-----	3
Tipo -----	Centrífugas
Capacidad -----	4.500 m ³ /h (cada una)
Presión -----	138 m.c.l.

6.- ELECCION DE LA CAPACIDAD DE LAS BOMBAS DE AGOTAMIENTO

Para calcular la capacidad necesaria de esta bomba alternativa para la realización del servicio de agotamiento tomaremos como referencia un determinado tiempo estimado para realizar dicha operación, que será de unos 45 minutos. De esta forma, a continuación se detallarán los tiempos de agotamiento obtenidos para bombas con diferentes capacidades.

$$T_d = \frac{\text{Volumen de agotamiento}}{\text{Capacidad de bomba de agotamiento}}$$

Recordemos que el volumen de agotamiento ya ha sido calculado previamente en el apartado dedicado a los volúmenes de descarga, donde se obtuvo el valor de 207,64 m³.

	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
CAPACIDAD (m³/h)	250	300	350
TIEMPO DE AGOTAMIENTO (h)	0,83	0,7	0,6

(Capacidad seleccionada en color azul.)

Con los resultados obtenidos y con el tiempo de agotamiento estimado anteriormente, se ha optado por elegir la **OPCIÓN 2** por su aproximación a esos 45 minutos mencionados anteriormente.

Del mismo modo que en el apartado dedicado a las bombas de carga, resumimos las características principales de la bomba de agotamiento empleada en este proyecto:

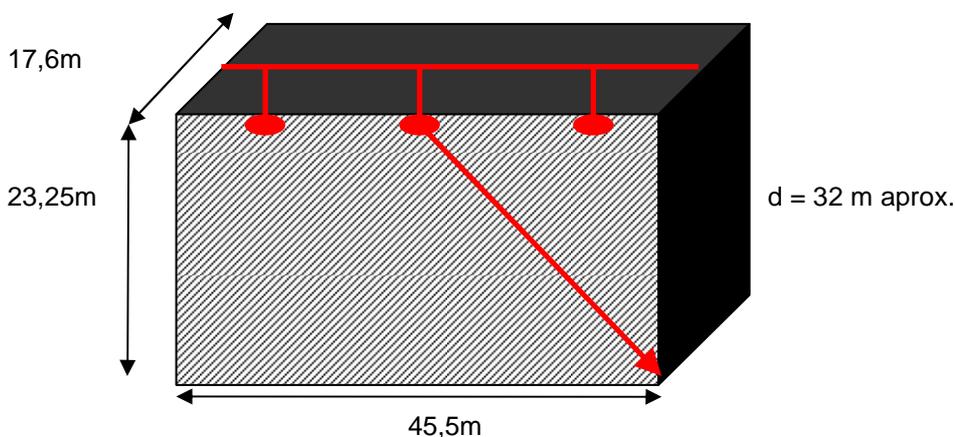
Nº de bombas-----	1
Tipo -----	<i>Alternativa</i>
Capacidad -----	300 m ³ /h
Presión -----	140 m.c.l.

7.- ELECCION DE LA CAPACIDAD DE LOS EYECTORES

Para calcular la capacidad y número de eyectores de agotamiento que debemos emplear en este sistema, hay que tener en cuenta previamente los criterios exigidos por la **I.M.O.** donde se expone que los eyectores serán diseñados teniendo en cuenta la alimentación de las máquinas de limpieza empleadas. Por ello, y de acuerdo con la **I.M.O.** en el Reglamento sobre los sistemas de lavado con crudo (Crude Oil Washing Systems, Edición 1.983, Pto 6.1), el sistema de crudo se diseña de forma que se realice la limpieza simultáneamente de $\frac{1}{4}$ del total de los tanques de carga.

También hay que señalar que la capacidad del eyector debe ser 1,25 veces la capacidad total de las máquinas de limpieza, que puedan operar simultáneamente para lavado del fondo, como se indica en el Reglamento del **Bureau Veritas** (Pt E, Cap 7, Ap 2, Pto 2.4.3).

Calcularemos antes el número de máquinas de limpieza de tanques y el caudal de las mismas, que serán estimados utilizando una tabla extraída de otros proyectos similares, donde se representa la variación del caudal en función de la presión suministrada por la bomba que acciona la máquina de limpieza. Además, también ha sido necesario calcular la distancia al punto más lejano donde debe llegar el chorro de las máquinas de limpieza, para determinar así el tipo de boquilla a emplear.

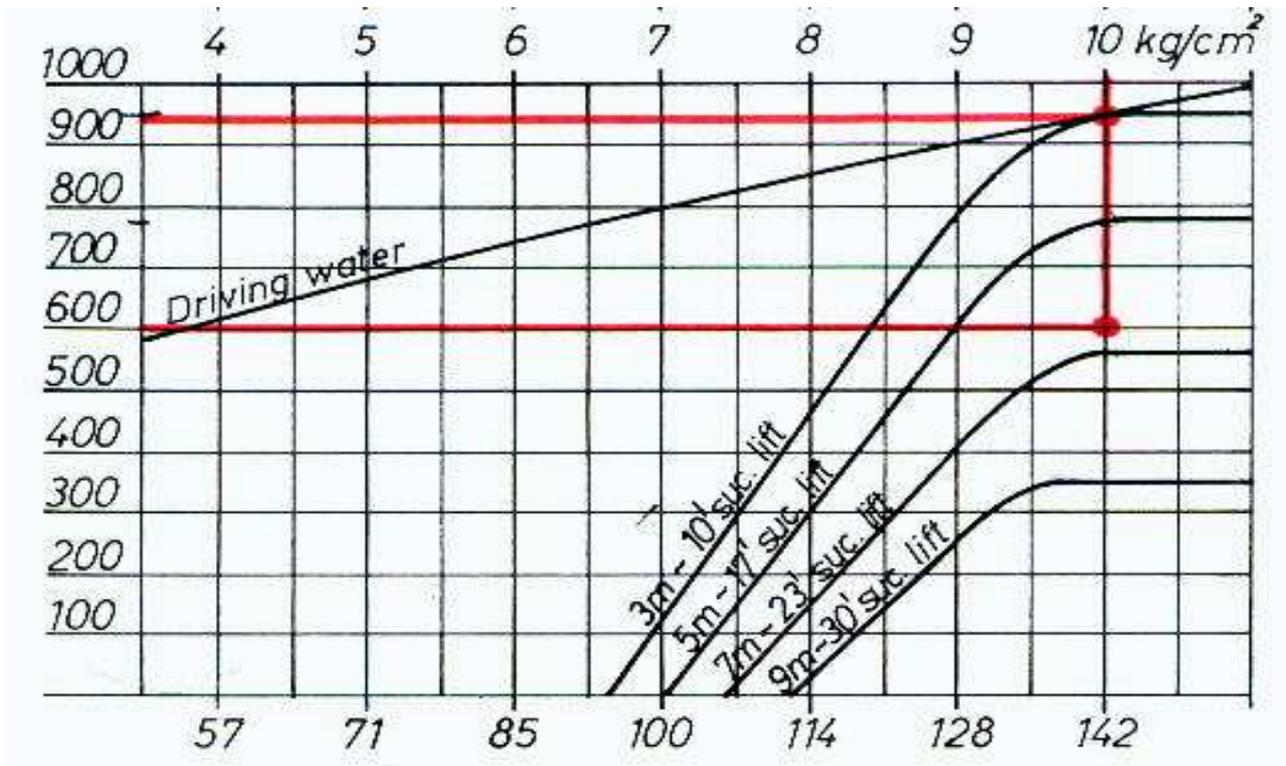


PRESIÓN Kg/cm ²	Boquilla de 25 mm de diámetro		Boquilla de 30 mm de diámetro	
	Caudal m ³ /h	Long. del chorro m	Caudal m ³ /h	Long. del chorro m
7	55	25	80	33
8	60	26	87	34
9	65	27	94	35
10	70	28	100	36
11	74	29	106	37
12	78	30	112	38
CAUDAL ESTIMADO PARA CADA MAQUINA DE LIMPIEZA				= 85 m³/h.

Calculamos ahora la capacidad y número de eyectores necesarios mediante la siguiente tabla donde se han introducido los datos obtenidos hasta ahora.

Nº de tanques de carga	15 Und.
Nº de tanques de carga con operación de limpieza simultanea: ($\frac{1}{4} \times$ Nº de tanques de carga)	= 3,75 Und.
Nº de máquinas de limpieza por tanque	3 Und.
Nº total de máquinas de limpieza trabajando simultaneamente: (Nº de tanques de carga con operación de limpieza x nº de máquinas)	= 11,25 Und.
Caudal estimado de la máquina de limpieza de tanque	85 m ³ /h
Capacidad total máquinas de limpieza trabajando simultaneamente: (Nº total de máquinas simultáneas x Caudal estimado cada máquina)	= 956,25 m ³ /h
CAPACIDAD NECESARIA DEL EYECTOR: (1,25 x Capacidad total máquinas de limpieza trabajando simultaneamente)	= 1.195 m³/h
Nº DE EYECTORES	= 2
CAPACIDAD DE CADA EYECTOR	= 600 m³/h

Procederemos entonces al cálculo de las distintas capacidades y presiones que existen en la alimentación, aspiración y descarga del eyector empleado, según las curvas del eyector. Estos datos serán utilizados posteriormente para dimensionar las tuberías de conexión al eyector.

CURVA DE EYECTORES

Delivery head: 20 m – 66'

Tipo de eyector: (Alim. –Asp. –Desc.):	10-12-14
Presión de aspiración	= 6,8 m.c.l.
Capacidad de aspiración	= 600 m ³ /h
Presión de alimentación	= 10 kg/cm ²
Capacidad de alimentación	= 950 m ³ /h
Presión de descarga	= 20 m.c.l.
Capacidad de descarga	= 1.550 m ³ /h

Estos datos se han obtenido de la curva del eyector, partiendo de la estimación sobre varios proyectos similares, donde las presiones en la aspiración y descarga de un eyector con capacidad de aspiración de 600 m³/h deben aproximarse a 5 y 20 m.c.l. respectivamente y donde la presión en la alimentación debe ser próxima a 10 kg/cm², por lo que, a partir de estos datos, se ha empleado la curva adecuada obteniendo el resto de valores.

8.- DIMENSIONAMIENTO DE LAS TUBERIAS

Antes de calcular los diámetros y espesores requeridos por las distintas tuberías del sistema, debemos determinar como criterio del diseño, que la velocidad de la carga a través de las distintas líneas no excederá de los siguientes límites:

Aspiración máxima de la bomba	3,00 m/s
Descarga máxima de la bomba	4,50 m/s

La siguiente es la tabla de diámetros y espesores, de donde se han recogido los valores necesarios para el cálculo del dimensionamiento de las diferentes líneas del sistema.

Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro Interior (mm)
200	219,10	8,80	201,50
250	273,00	8,80	255,40
300	323,90	8,80	306,30
350	355,60	8,80	338,00
400	406,40	8,80	388,80
450	457,20	8,80	439,60
500	508,00	8,80	490,40
600	609,60	8,80	592,00
700	711,20	8,80	693,60
800	812,80	8,80	795,20
900	914,40	8,80	896,80
1000	1.016,00	8,80	998,40

A continuación, se detallan las diferentes opciones estimadas, señalando la opción escogida por su aproximación a la velocidad de la carga requerida.

- **Líneas de carga:**

		Colector de Aspiración			Líneas de Carga	
		1	2	1	1	2
Segregaciones del buque	Nº	3	3	3	3	3
Nº de bombas de carga por segregación	Nº	1	1	1	1	1
Caudal por bomba o campana de aspiración	m ³ /h	1.125	1.125	750	4.500	4.500
Caudal por segregación	m ³ /h	1.125	1.125	750	4.500	4.500
Velocidad máxima permitida de la carga	m/s	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Diámetro interior mínimo requerido	mm	364,35	364,35	297,49	728,70	728,70
Diámetro nominal seleccionado	mm	350	400	300	700	800
Diámetro exterior de la línea seleccionada	mm	355,6	406,4	323,90	711,2	812,8
Espesor de la línea seleccionada	mm	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
Diámetro interior de la línea seleccionada	mm	338,00	388,80	306,30	693,60	795,20
Velocidad de la carga en la línea	m/s	3,49	2,63	2,83	3,31	2,52
DIÁMETRO DEL COLECTOR DE ASPIRACIÓN				= 400 mm		
DIÁMETRO DE COLECTORES DE ASPIRACIÓN (Tanques centrales)				= 300 mm		
DIÁMETRO DE LAS LÍNEAS DE CARGA				= 800 mm		

(Datos de entrada en color rojo.)

(Diámetro seleccionado en color rojo-negrita.)

(Velocidad en la línea seleccionada en color azul.)

El caudal en la campana de aspiración se reduce a $\frac{1}{4}$ de la capacidad total de la bomba de carga porque está aspirando simultáneamente de cuatro tanques, en la segregación N°1, y se ha escogido esta segregación ya que, al ser de la que menor número de tanques se aspira, representa la condición más negativa, es decir, donde mayor caudal va a haber en la campana de aspiración y, por tanto, donde el diámetro de tuberías debe ser mayor.

-Líneas de descarga:

		Líneas de Descarga		
		1	2	3
Segregaciones del buque	Nº	3	3	3
Nº de bombas de carga por segregación	Nº	1	1	1
Caudal por bomba de carga	m ³ /h	4.500	4.500	4.500
Caudal por segregación	m ³ /h	4.500	4.500	4.500
Velocidad máxima permitida de la carga	m/s	4,50	4,50	4,50
Diámetro interior mínimo requerido	mm	594,98	594,98	594,98
Diámetro nominal seleccionado	mm	500	600	700
Diámetro exterior de la línea seleccionada	mm	508	609,6	711,2
Espesor de la línea seleccionada	mm	8,8	8,8	8,8
Diámetro interior de la línea seleccionada	mm	490,40	592,00	693,60
Velocidad de la carga en la línea	m/s	6,62	4,55	3,31
DIÁMETRO DE LAS LÍNEAS DE DESCARGA			= 650 mm	

(Datos de entrada en color rojo.)

(Diámetro seleccionado en color rojo-negrita.)

(Velocidad en la línea seleccionada en color azul.)

- Líneas de agotamiento:

		Colector de Aspiración		Lineas de Agotamiento	
		1	2	1	2
Caudal por bomba	m ³ /h	300	300	300	300
Nº de bombas de agotamiento	Nº	1	1	1	1
Velocidad máxima permitida de la carga	m/s	3,00	3,00	4,50	4,50
Diámetro interior mínimo requerido	mm	188,15	188,15	153,62	153,62
Diámetro nominal seleccionado	mm	250	200	250	200
Diámetro exterior de la línea seleccionada	mm	273,00	219,10	273,00	219,10
Espesor de la línea seleccionada	mm	8,8	8,8	8,8	8,8
Diámetro interior de la línea seleccionada	mm	255,40	201,50	255,40	201,50
Velocidad de la carga en la línea	m/s	1,63	2,61	1,63	2,61
				DN < 200 mm	
DIÁMETRO DEL COLECTOR DE ASPIRACIÓN				= 200 mm	
DIÁMETRO DE LA LÍNEA DE AGOTAMIENTO				= 150 mm	

(Datos de entrada en color rojo.)

(Diámetro seleccionado en color rojo-negrita.)

(Velocidad en la línea seleccionada en color azul.)

- Líneas de unión a eyectores:

		Alimentación de cada Eyector		Aspiración de cada Eyector	
		1	2	1	2
Nº de eyectores	Nº	1	1	1	1
Caudal por eyector	m ³ /h	950	950	600	600
Caudal en la línea	m ³ /h	950	950	600	600
Velocidad máxima permitida de la carga	m/s	4,50	4,50	3,00	3,00
Diámetro interior mínimo requerido	mm	273,37	273,37	266,08	266,08
Diámetro nominal seleccionado	mm	300	250	300	250
Diámetro exterior de la línea seleccionada	mm	323,90	273	323,90	273
Espesor de la línea seleccionada	mm	8,8	8,8	8,8	8,8
Diámetro interior de la línea seleccionada	mm	306,30	255,40	306,30	255,40
Velocidad de la carga en la línea	m/s	3,58	5,16	2,26	3,26
DIÁMETRO EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DE CADA EYECTOR				= 300 mm	
DIÁMETRO EN LA LÍNEA DE ASPIRACIÓN DE CADA EYECTOR				= 300 mm	

		Descarga de cada Eyector		Descarga a Tk Lodos y Tk nº5	
		1	2	1	1
Nº de eyectores	Nº	1	1	2	2
Caudal por eyector	m ³ /h	1.550	1.550	1.550	1.550
Caudal en la línea	m ³ /h	1.550	1.550	3.100	3.100
Velocidad máxima permitida de la carga	m/s	4,50	4,50	4,50	4,50
Diámetro interior mínimo requerido	mm	349,19	349,19	493,83	493,83
Diámetro nominal seleccionado	mm	400	350	500	600
Diámetro exterior de la línea seleccionada	mm	406,40	355,60	508	609,60
Espesor de la línea seleccionada	mm	8,8	8,8	8,8	8,8
Diámetro interior de la línea seleccionada	mm	388,80	338,00	490,40	592
Velocidad de la carga en la línea	m/s	3,63	4,80	4,56	3,13
DIÁMETRO EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE CADA EYECTOR				= 400 mm	
DIÁMETRO EN LA LÍNEA DE DESCARGA A T.LODOS Y T.C. Nº5				= 500 mm	

		Alimentación de los 2 Eyectores		Aspiración de los 2 Eyectores	
		1	2	1	2
Nº de eyectores	Nº	2	2	2	2
Caudal por eyector	m ³ /h	950	950	600	600
Caudal en la línea	m ³ /h	1.900	1.900	1.200	1.200
Velocidad máxima permitida de la carga	m/s	4,50	4,50	3,00	3,00
Diámetro interior mínimo requerido	mm	386,61	386,61	376,30	376,30
Diámetro nominal seleccionado	mm	450	400	350	400
Diámetro exterior de la línea seleccionada	mm	457,20	406,40	355,60	406,40
Espesor de la línea seleccionada	mm	8,8	8,8	8,8	8,8
Diámetro interior de la línea seleccionada	mm	439,60	388,80	338,00	388,80
Velocidad de la carga en la línea	m/s	3,48	4,45	3,72	2,81
DIÁMETRO EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN A EYECTORES				= 400 mm	
DIÁMETRO EN LA LÍNEA DE ASPIRACIÓN A EYECTORES				= 400 mm	

(Datos de entrada en color rojo.)

(Diámetro seleccionado en color rojo-negrita.)

(Velocidad en la línea seleccionada en color azul.)

9.- PÉRDIDAS DE CARGA

A continuación se realizará el cálculo de las pérdidas de carga existentes en las principales líneas que forman el sistema de carga y descarga de nuestro petrolero. Con la obtención de estos valores se podrá comprobar que los equipos instalados realizarán de manera eficaz sus funciones de aspiración y descarga.

Hay que distinguir dos tipos de pérdidas de carga: una primera es la pérdida de carga provocada por el rozamiento provocado por los distintos elementos que forman el sistema y la segunda es debida a la energía potencial requerida, es decir, a las diferentes alturas que existen en los distintos tramos de tuberías del sistema.

Debido a que los diferentes elementos instalados a lo largo de las líneas de carga, como: válvulas, acoplamientos con bridas, codos, tubos curvados,... provocan una pérdida de carga diferente, se realizará una estimación del número de dichos elementos.

Este tipo de pérdida de carga se obtendrá a partir de la realización de una hoja de cálculo donde introduciremos los datos sobre las propiedades físicas del crudo, el dimensionamientos de las líneas calculado anteriormente y el número de elementos que provocan dichas pérdidas.

PROPIEDADES FISICAS DEL CRUDO	
VOLUMEN ESPECÍFICO	0,001 m ³ /kg
DENSIDAD	896 kg/m ³
VISCOSIDAD DINÁMICA	4,529 10 ⁻² kg/m·s
VISCOSIDAD CINEMÁTICA	5,06·10 ⁻⁵ m ² /s
TEMPERATURA	25 ° C

TABLAS DE VISCOSIDADES

Viscosidad dinámica de los fluidos expresada en kg' - seg/m²

Cuerpo	0° C	10° C	20° C	30° C	40° C	50° C	60° C	70° C	80° C	90° C	100° C
Agua	181 × 10 ⁻⁶	133 × 10 ⁻⁶	103 × 10 ⁻⁶	—	67 × 10 ⁻⁶	—	48 × 10 ⁻⁶	—	36 × 10 ⁻⁶	—	29 × 10 ⁻⁶
Aire a 760 mm	1,7 × 10 ⁻⁶	1,77 × 10 ⁻⁶	1,8 × 10 ⁻⁶	—	1,95 × 10 ⁻⁶	—	2,1 × 10 ⁻⁶	—	2,2 × 10 ⁻⁶	—	2,3 × 10 ⁻⁶
Alcohol etílico	180 × 10 ⁻⁶	145 × 10 ⁻⁶	120 × 10 ⁻⁶	100 × 10 ⁻⁶	85 × 10 ⁻⁶	70 × 10 ⁻⁶	60 × 10 ⁻⁶	51 × 10 ⁻⁶	—	—	—
Benceno	—	76,5 × 10 ⁻⁶	66 × 10 ⁻⁶	58 × 10 ⁻⁶	51,5 × 10 ⁻⁶	45,5 × 10 ⁻⁶	40 × 10 ⁻⁶	37 × 10 ⁻⁶	—	—	—
Fuel oil:											
γ = 970 kg'/m ³	—	—	—	0,28	0,12	0,054	0,0277	0,014	0,0089	0,0058	0,004
γ = 940 kg'/m ³	—	0,28	0,11	0,043	0,019	0,0095	0,0057	0,0035	0,0025	0,0017	0,0013
γ = 895 kg'/m ³	0,034	0,0105	0,0048	0,0027	0,0019	0,0012	0,000885	0,00067	0,00048	0,00040	0,00033
Gas oil:											
γ = 870 kg'/m ³	930 × 10 ⁻⁶	630 × 10 ⁻⁶	460 × 10 ⁻⁶	435 × 10 ⁻⁶	275 × 10 ⁻⁶	217 × 10 ⁻⁶	182 × 10 ⁻⁶	150 × 10 ⁻⁶	133 × 10 ⁻⁶	120 × 10 ⁻⁶	110 × 10 ⁻⁶
Gasolina:											
γ = 680 kg'/m ³	39 × 10 ⁻⁶	35 × 10 ⁻⁶	31 × 10 ⁻⁶	28 × 10 ⁻⁶	25,5 × 10 ⁻⁶	23,5 × 10 ⁻⁶	22 × 10 ⁻⁶	20,5 × 10 ⁻⁶	—	—	—
Glicerina	—	—	0,078	0,034	0,016	—	—	—	—	—	—
Kerosene:											
γ = 810 kg'/m ³	315 × 10 ⁻⁶	250 × 10 ⁻⁶	200 × 10 ⁻⁶	160 × 10 ⁻⁶	134 × 10 ⁻⁶	118 × 10 ⁻⁶	—	—	—	—	—
γ = 793 kg'/m ³	160 × 10 ⁻⁶	140 × 10 ⁻⁶	120 × 10 ⁻⁶	110 × 10 ⁻⁶	97 × 10 ⁻⁶	85 × 10 ⁻⁶	—	—	—	—	—
Mercurio	17 × 10 ⁻⁵	—	16 × 10 ⁻⁵	—	15 × 10 ⁻⁵	—	14 × 10 ⁻⁵	—	—	13 × 10 ⁻⁵	—
Petróleo crudo:											
γ = 930 kg'/m ³	0,032	0,015	0,0077	0,0046	0,0032	0,0023	0,00174	0,00136	0,0011	0,00092	0,00078
γ = 860 kg'/m ³	0,0018	0,0011	0,00077	0,00063	0,00052	0,00044	0,00039	0,00035	318 × 10 ⁻⁶	280 × 10 ⁻⁶	260 × 10 ⁻⁶
Salmuera (20% Cl Na)	0,00027	0,000205	0,00016	0,00013	0,00011	—	—	—	—	—	—
Tetracloruro de carbono	130 × 10 ⁻⁶	115 × 10 ⁻⁶	100 × 10 ⁻⁶	87 × 10 ⁻⁶	77 × 10 ⁻⁶	70 × 10 ⁻⁶	62 × 10 ⁻⁶	57 × 10 ⁻⁶	—	—	—
Gases a 0° C y 760 mm	Anhidrido carbónico, 1,5 × 10 ⁻⁶ ; hidrógeno, 0,88 × 10 ⁻⁶ ; oxígeno, 2 × 10 ⁻⁶ ; y nitrógeno, 1,7 × 10 ⁻⁶ .										
Aceite de colza	A 0° C: 0,283, y a 20° C: 0,0202										

Viscosidad cinemática de los fluidos

$$v = 10\,000 \frac{\eta}{\gamma} \text{ g en cm}^2/\text{seg}$$

Cuerpo	0° C	10° C	20° C	30° C	40° C	50° C	60° C	70° C	80° C	90° C	100° C
Aceite S.A.E. 30	—	—	5,3	2,25	1,2	0,72	0,47	0,33	0,24	0,18	0,135
Aceite S.A.E. 10	—	2	0,92	0,50	0,31	0,20	0,14	0,11	0,082	0,065	0,053
Agua	0,0177	0,0131	0,0101	—	0,00661	—	0,00482	—	0,00368	—	0,00296
Aire a 760 mm	0,13	0,14	0,15	—	0,17	—	0,19	—	0,22	—	0,245
Alcohol etílico	0,022	0,018	0,015	0,0124	0,0106	0,009	0,0075	0,0065	—	—	—
Benceno	—	0,0085	0,0074	0,0065	0,00575	0,0051	0,0045	0,0041	—	—	—
Fuel oil:											
γ = 970 kg'/m ³	—	—	—	—	—	5,5	2,8	1,42	0,90	0,59	0,4
γ = 940 kg'/m ³	—	29	11,5	4,5	2	1	0,6	0,37	0,26	0,18	0,136
γ = 895 kg'/m ³	3,7	1,15	0,53	0,30	0,21	0,135	0,097	0,073	0,053	0,044	0,036
Gas oil:											
γ = 870 kg'/m ³	0,105	0,071	0,052	0,049	0,031	0,0245	0,0205	0,017	0,015	0,0135	0,0125
Gasolina:											
γ = 680 kg'/m ³	0,0056	0,0050	0,0045	0,0040	0,0037	0,0034	0,0032	0,0030	—	—	—
Glicerina	—	—	6,3	2,6	1,2	—	—	—	—	—	—
Kerosene:											
γ = 810 kg'/m ³	0,038	0,030	0,024	0,019	0,0162	0,014	—	—	—	—	—
γ = 793 kg'/m ³	0,02	0,0175	0,015	0,0135	0,012	0,0105	—	—	—	—	—
Mercurio	0,00123	—	0,00115	—	0,00108	—	0,00101	—	—	0,00094	—
Petróleo crudo:											
γ = 930 kg'/m ³	3,4	1,58	0,81	0,49	0,34	0,24	0,18	0,14	0,12	0,10	0,082
γ = 860 kg'/m ³	0,21	0,125	0,09	0,072	0,060	0,050	0,044	0,04	0,036	0,032	0,030
Salmuera (20% Cl Na)	0,023	0,017	0,014	0,011	0,0095	—	—	—	—	—	—
Tetracloruro de carbono	0,008	0,007	0,006	0,0053	0,00474	0,0043	0,0038	0,0035	—	—	—

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	Descarga a Manifold		Descarga a Tubería de Bomba de Carga
	Desde Bomba de Carga	Desde Bomba de Agotamiento	
Rugosidad absoluta (mm)	0,050	0,050	0,050
Caudal (m ³ /h)	3.600	150	300
Diámetro exterior (mm)	660,4	165,2	219,1
Espesor (mm)	8,80	8,80	8,80
Diámetro interior (mm)	642,80	147,60	201,50
Área (m ²)	0,32451	0,01711	0,03189
Velocidad (m/s)	3,08	2,44	2,61
Nº de Reynolds	3,914·10 ⁴	7,10·10 ³	1,04·10 ⁴
Rugosidad relativa	7,778·10 ⁻⁵	3,387·10 ⁻⁴	2,481·10 ⁻⁴
Coeficiente de fricción, régimen laminar			
Coeficiente de fricción, régimen turbulento	0,02225	0,03476	0,03119
LONGITUD DE TUBERÍA (m)	150	150	10
CURVAS (Codos y tubos curvados)	15	6	4
VÁLVULAS	5	2	2
FILTROS			
INJERTOS	4	2	5
REDUCCIONES			
AMPLIACIONES	1		
ENTRADAS	1		
SALIDAS	1	1	
ACOPLAMIENTO (Bridas)	20	15	1
PÉRDIDA DE CARGA EN TRAMO (kPa)	76,09	118,26	28,46
PÉRDIDA DE CARGA EN TRAMO (m.c.l.)	7,76	12,06	2,90

(Datos de entrada en color rojo.)

(Pérdidas de carga en color azul.)

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	Línea de Aspiración de la Bomba de Carga	
	Colector de Aspiración	Tubería de Aspiración
Rugosidad absoluta (mm)	0,050	0,050
Caudal (m ³ /h)	900	3.600
Diámetro exterior (mm)	406,4	812,8
Espesor (mm)	8,80	8,80
Diámetro interior (mm)	388,80	795,20
Área (m ²)	0,11872	0,49663
Velocidad (m/s)	2,11	2,01
Nº de Reynolds	1,62·10 ⁴	3,16·10 ⁴
Rugosidad relativa	0,000129	0,000063
Coeficiente de fricción, régimen laminar		
Coeficiente de fricción, régimen turbulento	0,02772	0,02333
LONGITUD DE TUBERÍA (m)	35	210
CURVAS (Codos y tubos curvados)	10	18
VÁLVULAS	6	3
FILTROS		
INJERTOS	6	10
REDUCCIONES		
AMPLIACIONES	4	2
ENTRADAS	8	
SALIDAS		1
ACOPLAMIENTO (Bridas)	4	40
PÉRDIDA DE CARGA EN TRAMO (kPa)	40,07	38,56
PÉRDIDA DE CARGA EN TRAMO (m.c.l.)	4,09	3,93
		8,02

(Datos de entrada en color rojo.)

(Pérdidas de carga en color azul.)

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	Línea de Aspiración del Eyector		
	Colector de Aspiración	Tubería de Aspiración1	Tubería de Aspiración2
Rugosidad absoluta (mm)	0,050	0,050	0,050
Caudal (m ³ /h)	150	600	600
Diámetro exterior (mm)	219,1	812,8	323,9
Espesor (mm)	8,80	8,80	8,80
Diámetro interior (mm)	201,50	795,20	306,30
Área (m ²)	0,03189	0,49663	0,07368
Velocidad (m/s)	1,31	0,34	2,26
Nº de Reynolds	5,20·10 ³	5,27·10 ³	1,37·10 ⁴
Rugosidad relativa	0,000248	0,000063	0,000163
Coeficiente de fricción, régimen laminar			
Coeficiente de fricción, régimen turbulento	0,03857	0,03865	0,02898
LONGITUD DE TUBERÍA (m)	8	210	20
CURVAS (Codos y tubos curvados)		16	6
VÁLVULAS	15	2	1
FILTROS			
INJERTOS		8	3
REDUCCIONES			
AMPLIACIONES		2	
ENTRADAS	15		
SALIDAS			
ACOPLAMIENTO (Bridas)		35	2
PÉRDIDA DE CARGA EN TRAMO (kPa)	21,42	1,52	17,47
PÉRDIDA DE CARGA EN TRAMO (m.c.l.)	2,18	0,16	1,78
		4,12	

(Datos de entrada en color rojo.)

(Pérdidas de carga en color azul.)

Una vez calculada la pérdida debida a los elementos instalados en el sistema, se procederá a calcular la pérdida originada por la diferencia de alturas entre los distintos tramos.

Las distintas alturas fijas entre las líneas son:

Altura de Manifold sobre cubierta superior (m)	2,10
Puntal (m)	27,00
Altura del doble fondo (m)	3,75
Altura de la tubería de carga principal sobre el doble fondo (m)	0,70

Para obtener la pérdida de carga total del sistema, se ha realizado otra hoja de cálculo dónde, de forma similar a la anterior, hemos introducido los datos sobre las diferencias de alturas entre las distintas líneas y la pérdida obtenida en el cálculo anterior.

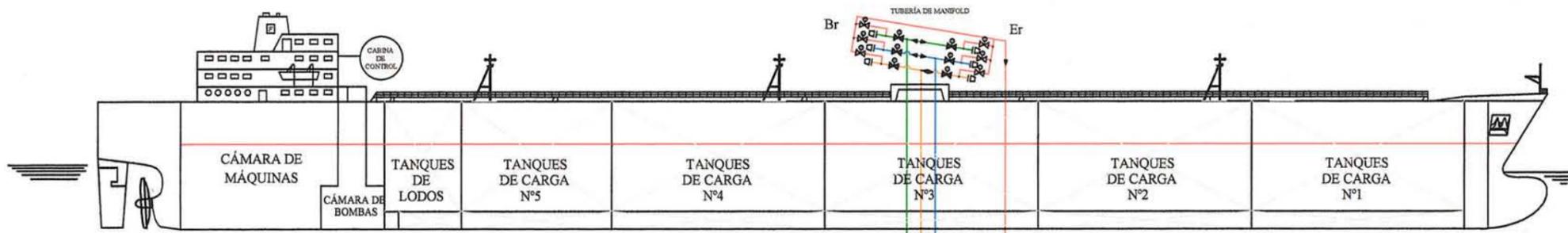
	Descarga a Manifold		Descarga a Tubería de Bomba de Carga	Línea de Aspiración de Bomba de Carga	Línea de Aspiración de Eyectores
	Bomba de Carga	Bomba de Agotamiento			
Presión requerida en Manifold (m.c.l.)	100	100	-	-	-
Presión del gas inerte en tanques de carga (m.c.l.)	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Altura estática de la descarga de la bomba de carga / agotamiento / eyector (m.c.l.)	25,40	25,40	1	-	-
Altura estática de la aspiración de la bomba de carga / agotamiento / eyector (m.c.l.)	3,05	0,55	0,55	3,05	0,55
Perdida de carga (m.c.l.)	7,76	12,06	2,90	8,02	4,12
Presión requerida por la Bomba (m.c.l.)	128,01	135,91	2,35	2,87	2,57

La presión requerida en Manifold ha sido referida a la reglamentación exigida por la **SHELL** a los buques transportadores de crudo (Edición 1.987, Pto 9.1) y la presión realizada por los ventiladores del sistema de gas inerte ha sido estimada según la consulta de proyectos similares.

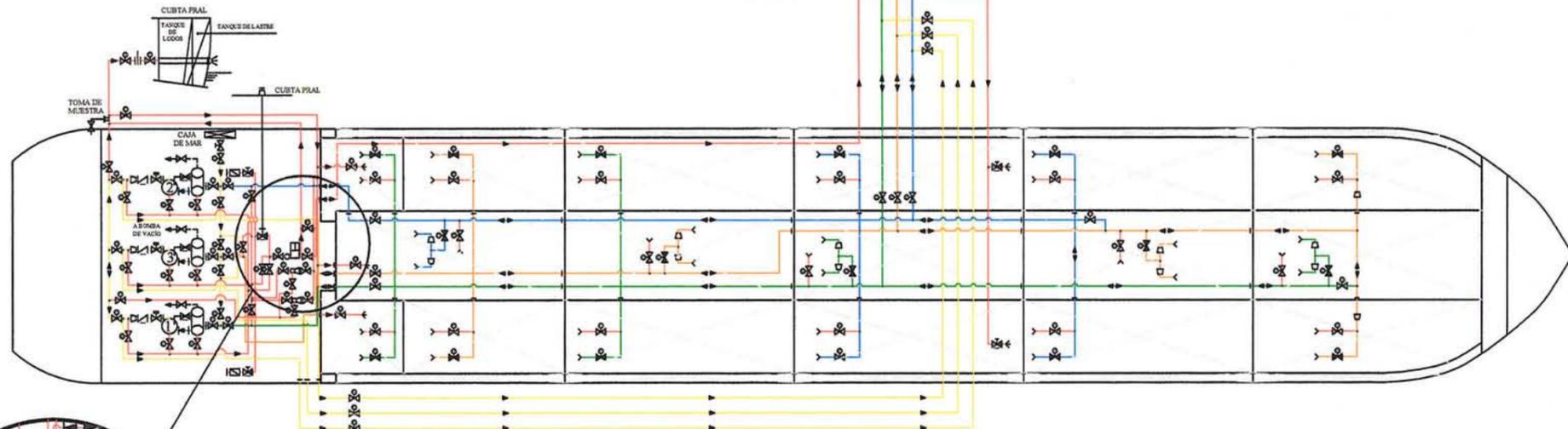
Los dos primeros casos representan la descarga del crudo desde la bomba de carga y bomba de agotamiento respectivamente hasta la tubería de Manifold en cubierta principal. El primer caso representa la descarga de cualquiera de las segregaciones y el segundo, la limpieza de tuberías final. De este modo y como consecuencia a los datos obtenidos podemos resumir que la presión requerida a dichas bombas va a ser de 128,01m.c.l. y 135,91m.c.l. respectivamente con lo que se demuestra que las bombas empleadas en este proyecto, que poseen una presión de descarga de 140 m.c.l., son las adecuadas y realizarán perfectamente su trabajo.

En los siguientes casos se han representado las presiones necesarias para que el crudo fluya desde la bomba de agotamiento hasta la tubería de descarga de la bomba de carga desde donde será enviado a la línea de Manifold realizando el agotamiento de los tanques, y las necesarias en la aspiración tanto de la bomba de carga como de los eyectores. De esta forma, se demuestra que dichas presiones necesarias son muy bajas y por tanto no va a existir ningún problema en conseguirlas, ya que una bomba de carga puede alcanzar los 10 kg/cm² y los eyectores, en su aspiración, alcanzan 6,8 m.c.l..

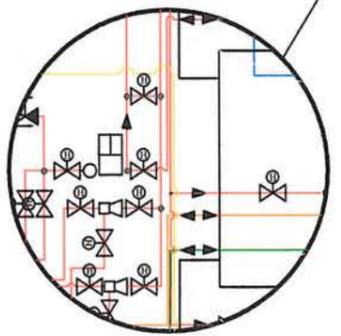
10.- PLANOS



ALZADO



PLANTA POR EL DOBLE FONDO



DETALLE A

DETALLE DE LA ZONA DE CAMARA DE BOMBAS

SEGREGACIONES

1	3	1	2	2	3
2	3	1	3	1	
1	3	1	2	2	3

- SEGREGACIÓN Nº1
- SEGREGACIÓN Nº2
- SEGREGACIÓN Nº3
- AGOTAMIENTO
- DESCARGA A CUBIERTA (MANIFOLD)

LISTA DE ELEMENTOS:

- BOMBA DE CARGA Y DESCARGA
- BOMBA DE CARGA Y DESCARGA
- BOMBA DE CARGA Y DESCARGA
- BOMBA DE AGOTAMIENTO
- EYECTOR
- VÁLVULA DE CLAPETA
- VÁLVULA DE REGULACIÓN DE CAPACIDAD
(Suministrada con el sistema separador)
- VÁLVULA DE MARIPOSA
- VÁLVULA DE MARIPOSA CON ESTRANGULACIÓN
- VÁLVULA DE PASO RECTO
- VÁLVULA DE NO RETORNO
- ACCIONAMIENTO POR TRANSMISIÓN MECÁNICA
- BRIDA DE CAMBIO
- REDUCCIÓN
- SEPARADOR
- FILTRO
- CAJA DE FANGO

11.- PRESUPUESTO

Antes de detallar los diferentes datos referidos al presupuesto del sistema, se ha representado una tabla con diferentes cálculos de las líneas que forman dicho sistema, basándonos en los diámetros obtenidos en el apartado dedicado al dimensionamiento de las mismas, y que nos van a servir para los posteriores cálculos del presupuesto.

LÍNEAS:	DN	D. Int.(mm)	D. Ext.(mm)	Long. (m)	Peso k/m	Peso k
ASPIRACIÓN						
SEG-1	800	795,2	812,8	190	195,60	37.164,29
	400	388,8	406,4	60	96,73	5.803,82
SEG-2	800	795,2	812,8	190	195,60	37.164,29
	400	388,8	406,4	60	96,73	5.803,82
SEG-3	800	795,2	812,8	190	195,60	37.164,29
	400	388,8	406,4	60	96,73	5.803,82
DESCARGA						
SEG-1	650	651,6	660,4	132	79,80	10.533,29
SEG-2	650	651,6	660,4	132	79,80	10.533,29
SEG-3	650	651,6	660,4	132	79,80	10.533,29
AGOTAMIENTO						
	100	93,7	111,3	24	24,94	598,48
	150	147,6	165,2	130	38,05	4.946,48
	200	201,5	219,1	27	51,16	1.381,40
	300	306,3	323,9	20	76,66	1.533,19
	400	388,8	406,4	10	96,73	967,30
	500	490,4	508	10	121,45	1.214,48
	650	651,6	660,4	20	79,80	1.595,95
MANIFOLD						
	650	651,6	660,4	141	79,80	11.251,47
TOTAL:				1.528		183.993

Peso k/m = Peso por metro de tubería.

Peso k = Peso total de la tubería.

Peso = Volumen de acero de la tubería x Peso específico del acero

Peso específico del acero = 8,80 t/m³

RESUMEN:

DN	Peso k/m	Peso k	Long.(m)
800	195,60	111.492,9	570
650	79,80	44.447,3	557
500	121,45	1.214,5	10
400	96,73	18.378,8	190
300	76,66	1.533,2	20
200	51,16	1.381,4	27
150	38,05	4.946,5	130
100	24,94	598,5	24
		183.993	1.528

A continuación se va a detallar el presupuesto realizado para el sistema de carga y descarga de crudo proyectado. En este presupuesto se ha incluido los diferentes materiales empleados en el sistema como son los equipos, calderería y tuberías, además de la mano de obra necesaria para el diseño y montaje de los mismos. Por último se ha incluido una serie de costes generales pertenecientes a la documentación, limpieza, andamios, etc... Por el contrario, no se han incluido los costes referentes al sistema de gas inerte, sistema de lastre, acero y alumbrado.

MATERIALES:

EQUIPOS:	Sist.unds	Cantidad	Coste/u		Coste total	
Turbinas de vapor	u	3	93.157		279.471	
Bombas de carga	u	3	39.066		117.197	
Equipo de autocebado	u	3	51.086		153.258	
Bomba de agotamiento	u	1	41.470		41.470	
Eyectores	u	2	4.207		8.414	
Detectores de hidrocarburos	u	1	42.071		42.071	
Equipo de válvulas y telemandos	u	1	540.911		540.911	
TOTAL:					<u>1.182.792</u>	

ARMAMENTO:						
Calderería:	Sist.unds	Cantidad	Coste/u	Long	Coste total	
Soportado de tuberías	t	36,80	2.104		77.410	20% peso tub
Polines	t	2,50	1.803		4.508	Estimación
Resto calderería	t	18,40	2.104		38.705	10% peso tub
Tubería acero:	Sist.unds	t/m	Coste/u	Long	Coste total	Tabla
DN = 800 mm	t	0,1956	1.503	570	167.520	
DN = 650 mm	t	0,0798	1.503	557	66.785	
DN = 500 mm	t	0,12145	1.503	10	1.825	
DN = 400 mm	t	0,09673	1.503	190	27.615	
DN = 300 mm	t	0,07666	1.503	20	2.304	
DN = 200 mm	t	0,05116	1.503	27	2.075	
DN = 150 mm	t	0,03805	1.503	130	7.432	
DN = 100 mm	t	0,02494	1.503	24	899	
Resto	t	5%	1.503	9,2	691	5% peso tub
Bridas	t	10%	2.404	18,4	4.423	10% peso tub
Uniones especiales	u	255	120		30.652	1 cada 6m
Pasamamparos	u	35	2.104		73.624	Estimación
Restos		5%			25.323	5% coste part

Tubería de obra (Cu):	Sist.unds	t/m	Coste/m	Long	Coste total	
Tubería de telemandos			6	15.000	90.152	Estimación
Soportado de tuberías		10%			9.015	10%coste tub
Accesorios		60%			54.091	60%coste tub
TOTAL:					<u>685.050</u>	

VARIOS:	Sist.unds	t/m	Coste/u	t y m2	Coste total	
Materiales auxiliares	t	1%	15.025	1,84	27.647	1%peso tub.
Materiales de soldadura, gases	t	0,1%	72.121	0,18	12.982	0,1%peso tub.
Pintura armamento	m2		15	5.750	86.395	m2 tub x 1,5
Varios		5%			6.351	5% part. Ant.
TOTAL:					<u>133.375</u>	

TOTAL MATERIALES:					<u>2.001.217</u>	

MANO DE OBRA:

Coste hora	Armamento	Auxiliares	Ingeniería			
€/hora	30	24	36			
ARMAMENTO:	Sist.unds	Cantidad	Horas/u	Horas tot.	Coste total	m.o.armamento
Tubos	u	255	15	3.825	114.750	1tub cada 6m
Tubería de obra	m	15.000	1	15.000	450.000	
Calderería	t	58	350	20.300	609.000	
Válvulas	u	80	6	480	14.400	
Equipos	u	16	35	560	16.800	
Resto	%	5%		2.008	60.248	
TOTAL:					<u>1.265.198</u>	
AUXILIARES:	Sist.unds	Cantidad	Horas/u	Horas tot.	Coste total	m.o.auxiliares
Marinería, Transporte, Grúas...	%	12%	5.061		121.459	
Pruebas	%	4%	1.534		36.814	
Varios	%	5%	1.167		28.018	
TOTAL:					<u>186.291</u>	
INGENIERÍA:				Horas tot.	Coste total	
Básica				1.500	54.000	
Desarrollo				10.000	360.000	
Producción				2.000	72.000	
TOTAL:					<u>486.000</u>	
TOTAL MANO DE OBRA:					<u>1.937.489</u>	

OTROS GASTOS:

	Sist.unds	Cantidad			Coste total	
Clasificación y certificados, Seguros, Servicio provisiones, Andamios...	%	4%			157.548	4% Coste total material y mano de obra
TOTAL:					<u>157.548</u>	

TOTAL OTROS GASTOS:					<u>157.548</u>	
----------------------------	--	--	--	--	-----------------------	--

RESUMEN:

<u>MATERIALES:</u>					COSTE TOTAL	
Equipos					1.182.792	
Armamento					685.050	
Varios					133.375	
TOTAL:					<u>2.001.217</u>	

<u>MANO DE OBRA:</u>	HORAS				COSTE TOTAL	
Armamento	42.173				1.265.198	
Auxiliares	7.762				186.291	
Ingeniería	13.500				486.000	
TOTAL:					<u>1.937.489</u>	

<u>OTROS GASTOS:</u>					COSTE TOTAL	
Clasificación y certificados, Seguros, Servicio provisiones, Andam					157.548	
TOTAL:					<u>157.548</u>	

TOTAL COSTE:					<u>4.096.254</u>	€
---------------------	--	--	--	--	-------------------------	----------



CAPITULO III

**PROCEDIMIENTOS O PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN PARA EL
FUNCIONAMIENTO SISTEMA Y SECUENCIAS ÓPTIMAS
POSTERIORES DE LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO A
EFECTUAR**

1.- PROCEDIMIENTOS DE ACTUACION.

PROCEDIMIENTO PARA EL SISTEMA DE CARGA:

El sistema de carga es independiente a cualquier otro sistema de tuberías instalado en el buque según las exigencias del Reglamento de **Bureau Veritas** (Pt E, Cap 7, Sec 4 Pto 3.1.1). Durante la operación de carga, son las bombas de la Terminal las que se encuentran en funcionamiento, por lo que las del buque permanecen fuera de servicio, por lo que deberá impedirse que el crudo llegue a la cámara de bombas del buque y solo recorra las diferentes segregaciones de carga a tanques.

Los colectores de carga, que son los mismos que los de aspiración para la descarga, corren por el fondo de los tanques, tan abajo como sea posible, para evitar la generación de electricidad estática como exige el Reglamento de **Bureau Veritas** (Pt E, Cap 7, Sec 4 Pto 3.4.4) y, cada uno de ellos, se encuentra conectado a los ramales que forman cada segregación. Cada ramal posee una válvula de cierre para permitir la selección del tanque que se desea cargar o descargar. Cada ramal termina en una campana de aspiración o descarga, según el caso, cuyo fondo debe encontrarse muy próximo al fondo del tanque permitiendo un adecuado llenado de los mismos. La disposición de las tuberías de carga se realiza de forma que se evite su paso por tanques o compartimentos localizados fuera de la zona de carga, como exige el Reglamento de **Bureau Veritas** (Pt E, Cap 7, Sec 4 Pto 3.4.1 aptos a, b, c y d).

Durante este servicio, el crudo es introducido directamente en los tanques de carga, a través de líneas de tubería que forman las tres segregaciones del buque. Generalmente, las tres bombas de carga de la Terminal, una por cada segregación, actúan simultáneamente, aunque deben existir conexiones de tuberías que permitan el llenado de los tanques de carga correspondientes a una segregación a través de cualquiera de las otras dos, para caso de avería en algún tramo de cualquier segregación. La operación de llenado de los diferentes tanques de carga se realiza teniendo en cuenta que en los extremos de la tubería de Manifold localizada sobre cubierta principal, se exige que vayan dispuestas unas reducciones que permitan el acoplamiento de las mangueras de la terminal, de menor diámetro que la tubería de carga.

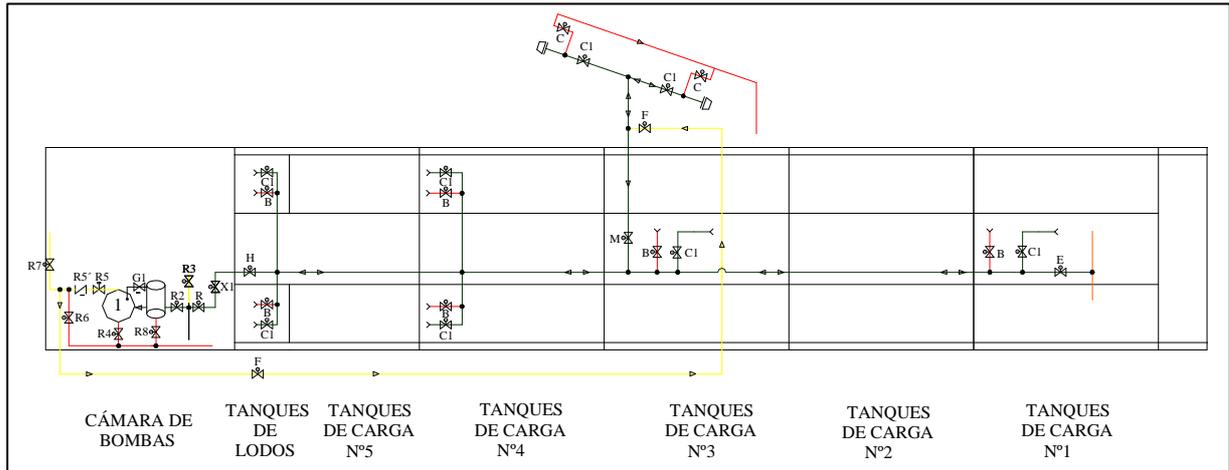
CARGA DE CRUDO DESDE LA TERMINAL HASTA LOS TANQUES DE CARGA

Una vez acopladas las mangueras de la Terminal a través de las reducciones correspondientes, tras quitar la brida ciega que actúa de cierre de la tubería de Manifold, se deberá abrir la válvula de Babor o Estribor según se encuentre el buque atracado al muelle y cerrar la válvula correspondiente al agotamiento, a tanques laterales, de la tubería de Manifold.

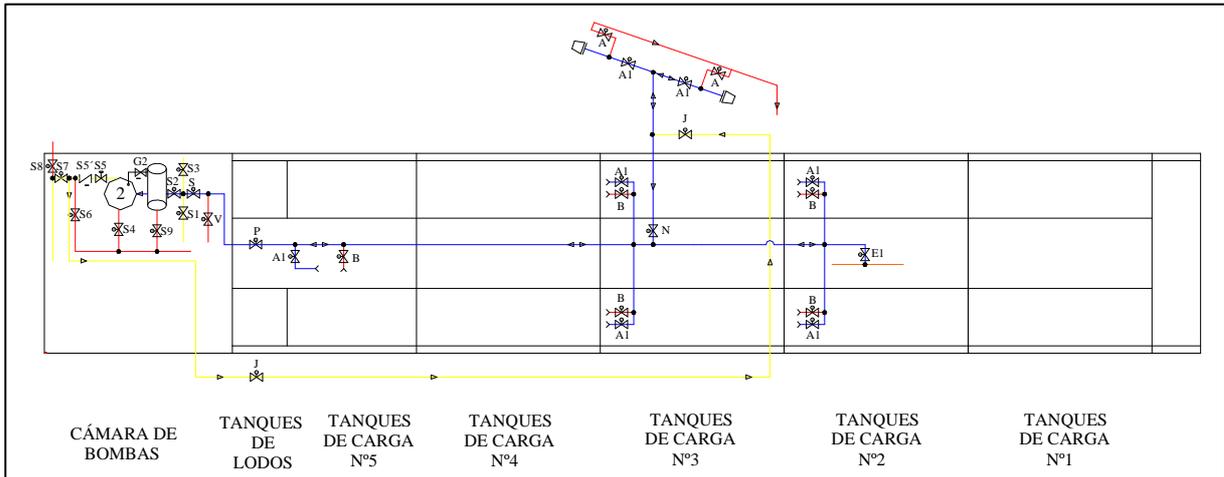
A partir de aquí, se cargará el crudo en los correspondientes tanques de carga, según la segregación elegida, mediante el siguiente procedimiento:

- Cerrar las válvulas de unión entre segregaciones.
- Debe abrirse la válvula correspondiente a la tubería de bajada a tanques de carga.
- Abrir las válvulas correspondientes al colector de carga de cada uno de los tanques, excepto las de los tanques de lodos ya que alguno de ellos solo deberá llevar agua aceitosa para el caso de limpieza de tanque en alta mar, permitiendo mandar el lodo acumulado por el crudo a dicho tanque.
- Debe permanecer cerrada la válvula dispuesta en el tramo final, sobre la línea de descarga, próxima a la conexión con la tubería ascendente a cubierta principal, impidiendo que el crudo se introduzca a través de dicha línea de descarga.
- Una vez que el crudo ha pasado de la tubería de Manifold a las tuberías de carga que recorren el interior de los tanques, la válvula dispuesta antes de entrar en la cámara de bombas debe permanecer cerrada aislando dicha zona del paso del crudo.
- Cerrar todas las válvulas correspondientes al agotamiento de todos los tanques.

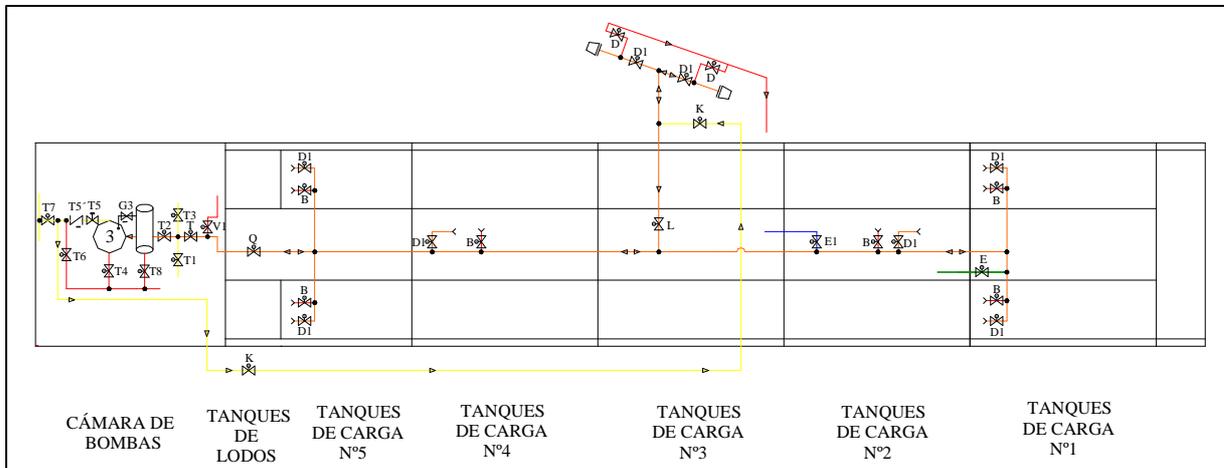
CARGA SEGREGACION N°1



CARGA SEGREGACION N°2



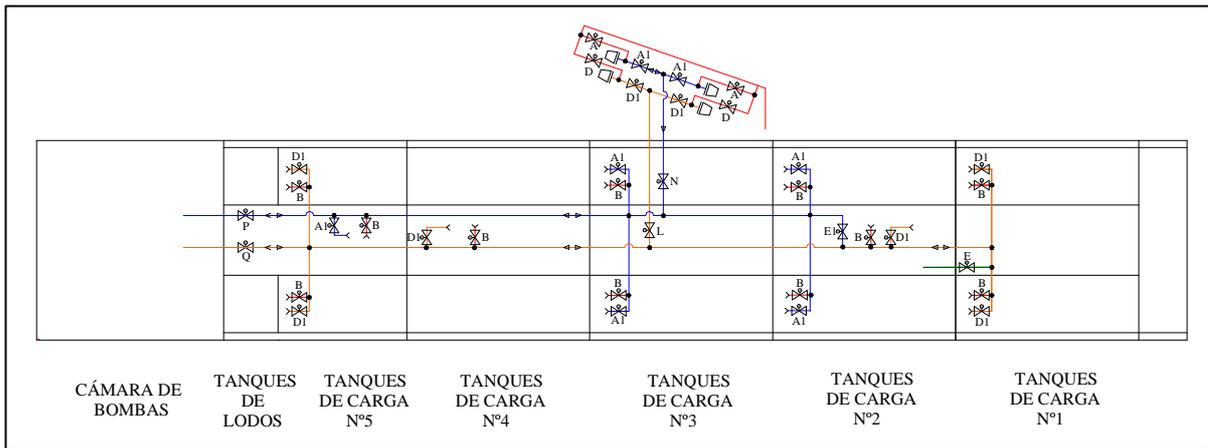
CARGA SEGREGACION N°3



Para realizar la carga alternativa de una segregación a través de otra segregación, deberemos modificar el procedimiento anteriormente descrito:

- Abrir las válvulas de unión entre las segregaciones elegidas.
- Cerrar las válvulas correspondientes al colector de carga de cada uno de los tanques de la segregación de trasbordo.
- Abrir las válvulas correspondientes al colector de carga de cada uno de los tanques de la segregación que se desea cargar, excepto las de los tanques de lodos ya que alguno de ellos solo deberá llevar agua aceitosa para el caso de limpieza de tanque en alta mar, permitiendo mandar el lodo acumulado por el crudo a dicho tanque.

CARGA ALTERNATIVA SEGREGACIÓN N°3 A TRAVES DE LA SEGREGACIÓN N°2



PROCEDIMIENTO PARA EL SISTEMA DE DESCARGA:

En este caso, son las bombas del propio buque las que se encargan de descargar, a través de las tres segregaciones de carga, el crudo depositado en los tanques hasta la terminal.

Como ya sabemos, los colectores de aspiración para la descarga, recorren el fondo de los tanques y cada uno de ellos se encuentra conectado a ramales que forman cada segregación. Cada ramal posee una válvula de cierre para permitir la selección del tanque que se desea descargar. Y además, cada ramal termina en una campana de aspiración, cuyo fondo debe encontrarse muy próximo al fondo del tanque permitiendo una adecuada aspiración de los mismos.

Durante este servicio, el crudo es aspirado de los tanques de carga, a través de líneas de tubería que forman las tres segregaciones del buque y, posteriormente, tras su paso por las bombas, es enviado a través de las tres líneas de descarga que recorren toda la cubierta superior hasta la tubería de Manifold.

Generalmente, las tres bombas de descarga del buque, una por cada segregación, actúan de forma homogénea hasta que los tanques de carga alcanzan un nivel medio, a partir de aquí, se puede regular la aspiración del caudal de cada uno de los tanques, permitiendo la descarga más rápida de unos u otros según interese. Antes de cada bomba de descarga se disponen unos separadores cuya función consiste en evacuar los gases procedentes del crudo en la aspiración y son enviados a una bomba de vacío.

Como también se explicó en el sistema anterior, deben existir conexiones de tuberías que permitan el vaciado de los tanques de carga correspondientes a una segregación a través de cualquiera de las otras dos, para caso de avería en algún tramo de cualquier segregación o de la propia bomba de descarga.

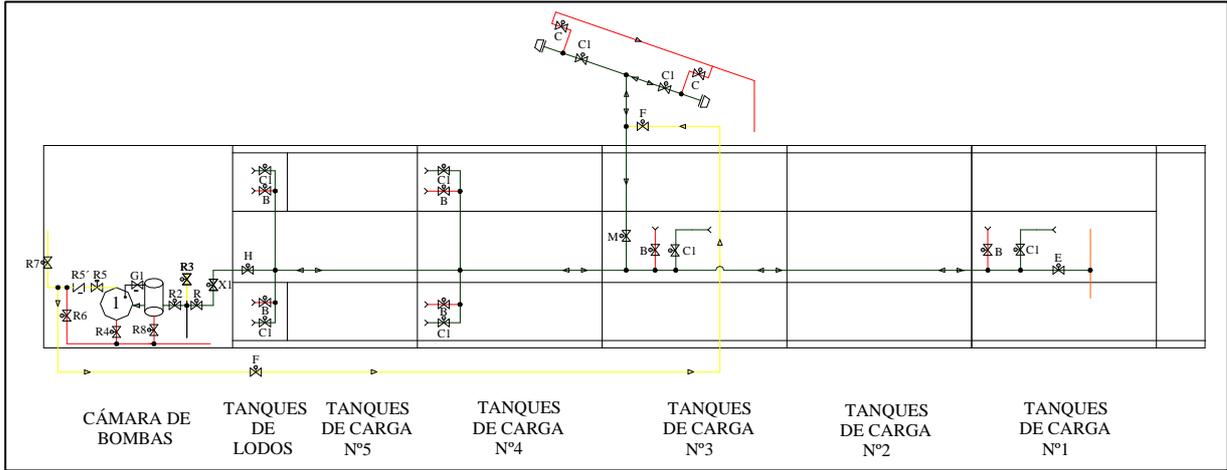
DESCARGA DE CRUDO DESDE LOS TANQUES DE CARGA HASTA LA TERMINAL

Una vez abiertas las válvulas correspondientes al colector de carga de cada uno de los tanques a descargar, excepto las de los tanques de lodos ya que estos suelen ir sin carga para permitir la acumulación del lodo para el caso de limpieza de alguno en alta mar. Se mantiene cerradas todas las válvulas correspondientes al agotamiento de cada uno de los tanques, y además, se cierra también la válvula situada en la tubería ascendente a Manifold impidiendo el paso del crudo hacia dicha zona.

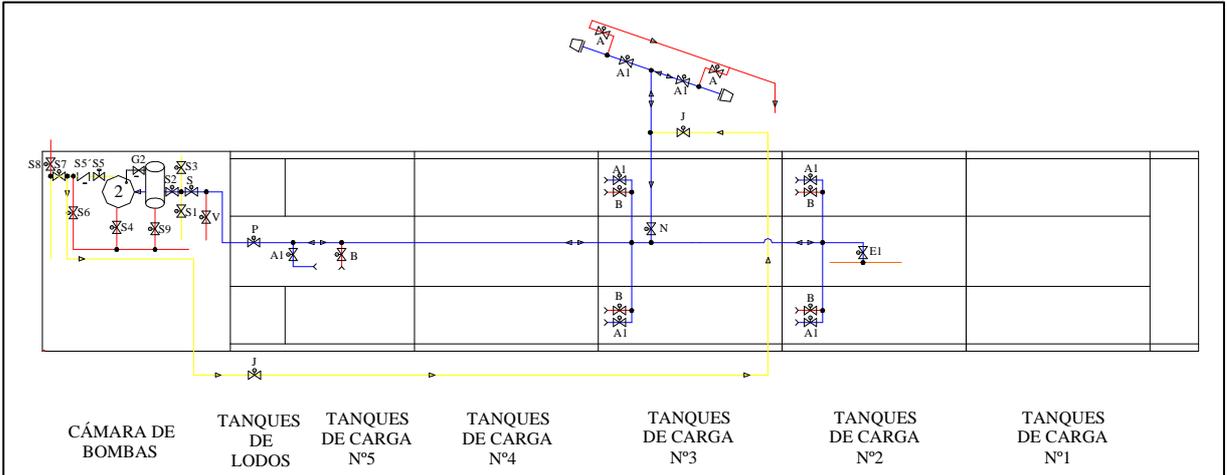
A partir de aquí, se descargará el crudo hasta la Terminal, según la segregación elegida, mediante el siguiente procedimiento:

- Deben mantenerse cerradas las válvulas de unión entre segregaciones.
- Abrir la válvula correspondiente a la entrada a la cámara de bombas para que el crudo pueda acceder a dicha zona.
- Se deberá cerrar la válvula situada en la tubería de agotamiento impidiendo el paso del crudo hacia bomba de agotamiento y eyectores.
- Y se cierra también la válvula situada en la entrada del separador y que impide el paso del crudo hacia la línea de unión de segregaciones antes del separador proveniente de la caja de mar.
- Se abren las válvulas situadas sobre la segregación que se desea descargar, antes de entrar en el separador, y se mantienen cerradas las válvulas correspondientes a líneas de agotamiento de las tuberías de cámara de bombas y líneas de descarga al mar.
- Abrir la válvula situada al comienzo de la línea de descarga después de la bomba, pasando el crudo a través de ella.
- Deben abrirse las válvulas correspondientes a tubería de salida de cámara de bombas y a la tubería de unión a zona de Manifold, el crudo llega así hasta dicha zona en cubierta.
- Se abre la válvula de Babor o Estribor, según se encuentre el buque amarrado a muelle.
- Permaneciendo cerrada la válvula correspondiente al agotamiento de la tubería de Manifold a tanques laterales.
- Quitar la brida ciega que actúa de cierre de tubería de Manifold y acoplar la manguera de la terminal o estación petrolífera a través de las reducciones.

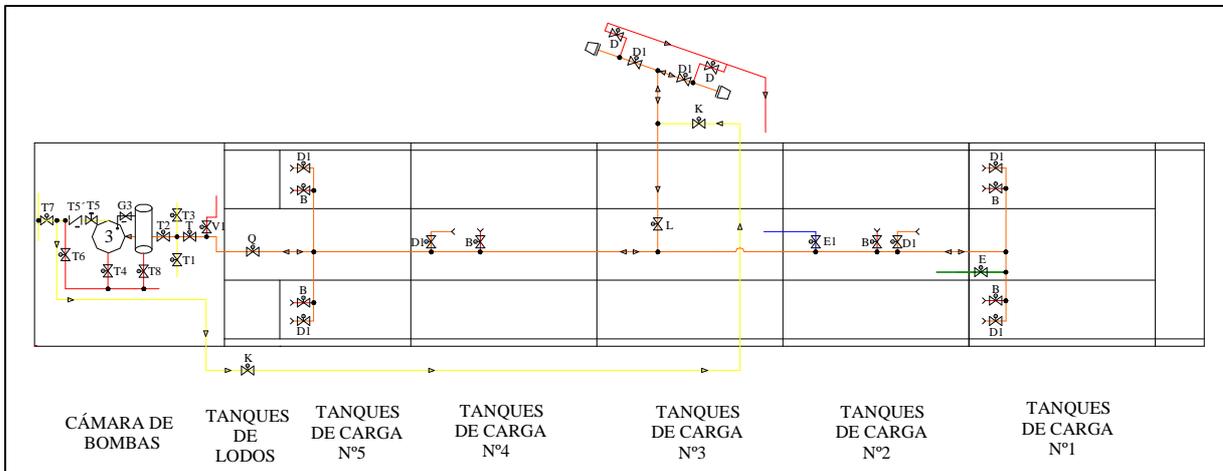
DESCARGA SEGREGACION N°1



DESCARGA SEGREGACION N°2



DESCARGA SEGREGACION N°3

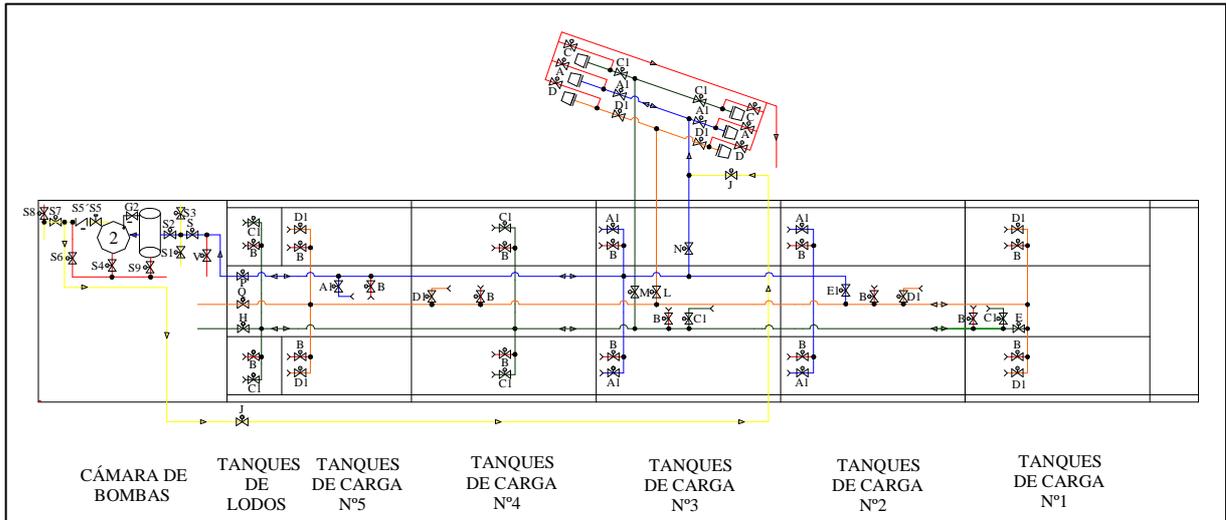


Para realizar la descarga alternativa de una segregación a través de otra segregación, deberemos modificar el procedimiento anteriormente descrito:

Una vez abiertas las válvulas correspondientes al colector de carga de cada uno de los tanques a descargar, excepto las de los tanques de lodos ya que estos suelen ir sin carga para permitir la acumulación del lodo para el caso de limpieza de alguno en alta mar. Se mantiene cerradas todas las válvulas correspondientes al agotamiento de cada uno de los tanques, y además, se cierra también la válvula situada en la tubería ascendente a Manifold impidiendo el paso del crudo hacia dicha zona.

- Abrir las válvulas de unión entre las segregaciones elegidas.
- Cerrar las válvulas correspondientes a la entrada a la cámara de bombas de las segregaciones por las que no queremos descargar.
- Cerrar las válvulas de los colectores de aspiración de los tanques de carga de las segregaciones que no se van a descargar. Se conseguirá así, que el crudo pase de la segregación elegida para descargar a la segregación donde hemos abierto la válvula de entrada a cámara de bombas por donde se va a realizar la descarga.
- Abrir la válvula de acceso a la zona de la cámara de bombas de la segregación por donde se ha decidido descargar.
- Se deberá cerrar la válvula situada en la tubería de agotamiento impidiendo el paso del crudo hacia bomba de agotamiento y eyectores.
- Se abren las válvulas situadas sobre la línea de la segregación por la que se desea descargar, antes de entrar en el separador, y se mantienen cerradas las válvulas correspondientes a línea de descarga de unión de segregaciones antes del separador y a la líneas proveniente de la caja de mar.
- Una vez cerradas las válvulas correspondientes a las tuberías de agotamiento, el crudo pasa por la bomba.
- Deben abrirse las válvulas correspondientes a tubería de salida de cámara de bombas y a la tubería de unión a zona de Manifold, llegando el crudo de esta forma hasta dicha zona en cubierta.
- Se abre la válvula de Babor o Estribor, según se encuentre el buque amarrado a muelle.
- Permaneciendo cerrada la válvula correspondiente al agotamiento de la tubería de Manifold a tanques laterales.
- Quitar la brida ciega que actúa de cierre de tubería de Manifold y acoplar la manguera de la terminal o estación petrolífera a través de las reducciones.

DESCARGA ALTERNATIVA SEGREGACIÓN N°1 A TRAVES DE LA SEGREGACIÓN N°2



PROCEDIMIENTO PARA EL SISTEMA DE AGOTAMIENTO:

El sistema de agotamiento de la carga se dispone para absorber la carga que queda cuando las bombas principales de carga empiezan a tomar aire, evitando que se produzca su cavitación. Así, la buena práctica exige que la etapa final del vaciado de los tanques se efectúe usando bombas de agotamiento de pequeña capacidad en lugar de con las bombas de carga.

Del mismo modo, se pueden emplear eyectores para realizar una parte del agotamiento y para la aspiración final de tanques tras su limpieza con crudo, enviando la carga aspirada a tanques de lodos, o bien, a algún tanque situado próximos a ellos y designado previamente para dicha función ya que los eyectores no tienen la suficiente presión de descarga como para descargar directamente a Manifold. Tanto los medios de agotamiento como la disposición de tuberías descargando a tierra, a tanques de lodos o a un tanque de carga son exigidos en el Reglamento de **Bureau Veritas** (Pt E Cap 7 Sec 4 Pto 3.4.6).

El sistema de agotamiento posee aspiraciones y ramales independientes de pequeño diámetro. La tubería debe ir dispuesta de forma que permita a las bombas de agotamiento descargar el crudo que quede en la tubería y los tanques después de la descarga. Además, el sistema de agotamiento está diseñado para descargar el crudo residual de los tanques de lodos al Manifold a lo largo de la cubierta principal, descargar el agua de los tanques de lodos al mar a través de un sistema de medición de contenido de hidrocarburos y achicar la cámara de bombas en una emergencia. La bomba de agotamiento está dispuesta también para descargar la sentina aceitosa de la cámara de bombas a los tanques de lodos.

A continuación se van a describir los procedimientos de agotamiento de las distintas segregaciones a través de la bomba de agotamiento y, el mismo proceso, a través de cualquiera de los dos eyectores hasta tanques de lodos.

Debido a la posibilidad de la existencia de algunos problemas en los cálculos posteriores de dimensionamiento de tuberías, pérdidas de carga, capacidades y presión de descarga de la bomba de agotamiento, se ha diseñado el sistema de agotamiento de forma que el crudo sea enviado desde dicha bomba de agotamiento a la de descarga principal y posteriormente a la línea de Manifold evitando así grandes dimensiones de bombas. De este modo, se deja la tubería de agotamiento directamente a Manifold para el secado final de todas las tuberías empleando así caudales más bajos y desapareciendo así el problema anteriormente mencionado.

AGOTAMIENTO DE LOS TANQUES CORRESPONDIENTES A UNA SEGREGACIÓN

- Inicialmente, se deben abrir las válvulas correspondientes al agotamiento de todos los tanques, permaneciendo cerradas las válvulas del colector de aspiración de cada uno de ellos.
- Cerrar las válvulas de unión entre las segregaciones.
- Cerrar la válvula dispuesta en la tubería ascendente a Manifold en cubierta.
- A continuación, se abre la válvula que permite la entrada del crudo en cámara de bombas.
- Una vez alcanzada dicha zona, se cierran las válvulas que impiden el paso del crudo a separadores y bombas de descarga.
- Abrir la válvula dispuesta en la tubería de agotamiento de unión de segregaciones.
- Se cierran las válvulas que impiden el paso del crudo hacia eyectores y, de esta forma, el crudo llega a la bomba de agotamiento habiéndose cerrado previamente la válvula correspondiente para que no retorne el crudo hacia la tubería de agotamiento de las bombas de descarga.
- Abriendo las válvulas dispuestas a la entrada de la bomba.

Una vez que el crudo pasa a través de la bomba de agotamiento, se pueden escoger tres formas diferentes de agotamiento:

- a) Una hacia el mar, por el costado, atravesando los tanques de lastre, si el contenido de crudo es permisivo respecto a la contaminación, o bien, si en caso de emergencia es necesario descargar el tanque designado como tanque de mal tiempo. En este caso, se debe cerrar la válvula dispuesta sobre la tubería de agotamiento a Manifold en cubierta principal además de las válvulas de unión con la tubería de agotamiento a tanques de lodos y tanque central N°5 y la válvula de unión a la tubería de descarga de las bombas de carga. Por el contrario, se abren las válvulas de descarga al mar.
- b) Otro agotamiento puede realizarse hacia los tanques de lodos y tanque central N°5. En este caso, se deben cerrar las válvulas correspondientes al agotamiento por el costado, la válvula correspondiente a la tubería de descarga de las bombas de carga y la válvula correspondiente al agotamiento a Manifold en cubierta principal. Por el contrario, se debe abrir la válvula correspondiente para que el crudo llega así a la tubería de agotamiento a tanques de lodos y tanque central N°5 y es descargado en los mismos abriéndose las correspondientes válvulas.

c) Por último, un tercer agotamiento puede realizarse hacia tubería de Manifold en cubierta principal para ser enviado a alguna refinería. Este caso, como se ha mencionado anteriormente, se va a realizar a través de dos recorridos diferentes, uno para el agotamiento de tanques a régimen máximo y otro para el agotamiento final de tuberías a régimen reducido.

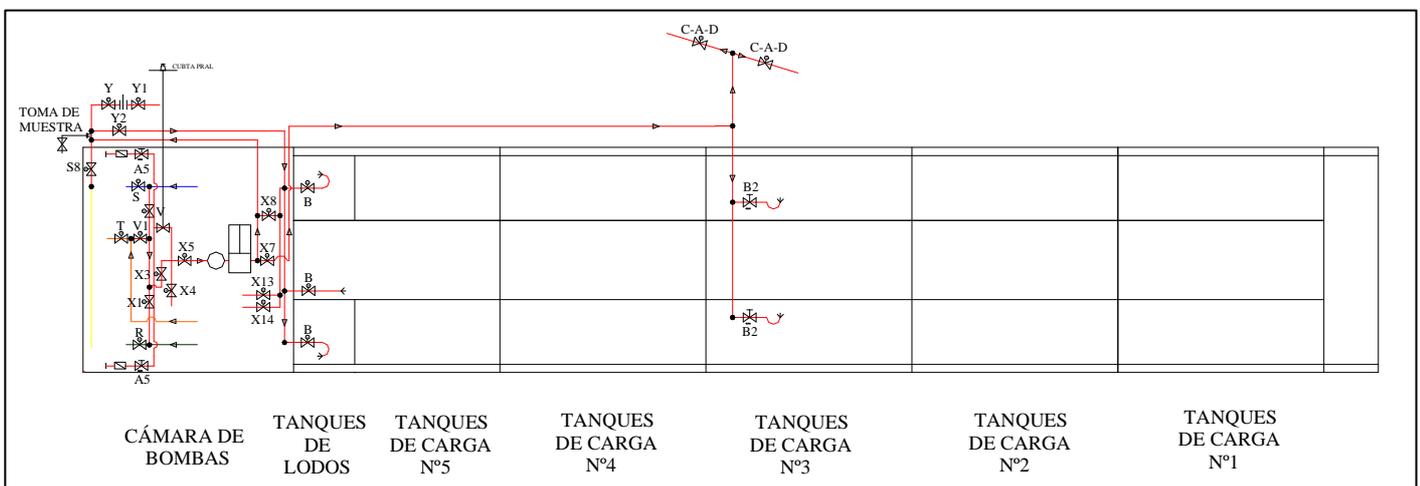
- En el **primer caso**, se deben cerrar las válvulas correspondientes a las tuberías de agotamiento directo a Manifold y a tanques de lodos respectivamente además de las válvulas correspondientes a la descarga por el costado y, a continuación, se abre la válvula que permite el paso del crudo a la tubería de descarga de la bomba de carga y desde allí, éste, es enviado a la tubería de Manifold a través de la bomba de carga principal del mismo modo que se ha explicado anteriormente el proceso de descarga.

- En el **segundo caso**, se debe cerrar la válvula correspondiente al agotamiento por el costado, y las válvulas de unión con la tubería de agotamiento a tanques de lodos y tanque central N°5. Por el contrario, se debe abrir la válvula que alcanza la zona de Manifold en cubierta principal habiéndose cerrado previamente las válvulas cuyo fin es el de agotar la tubería de Manifold a tanques laterales N°3. Una vez alcanzada dicha zona se abre la válvula de Babor o Estribor, según se encuentre el buque amarrado a muelle, cerrándose las válvulas correspondientes al agotamiento a través de las otras dos segregaciones, y posteriormente, cerrando la válvula correspondiente a la carga a través de segregación N°1 y quitando la brida ciega, el crudo entraría en las mangueras acopladas desde la terminal.

AGOTAMIENTO ALTERNATIVO DE LOS TANQUES CORRESPONDIENTES A UNA SEGREGACIÓN A TRAVÉS DE OTRA SEGREGACIÓN

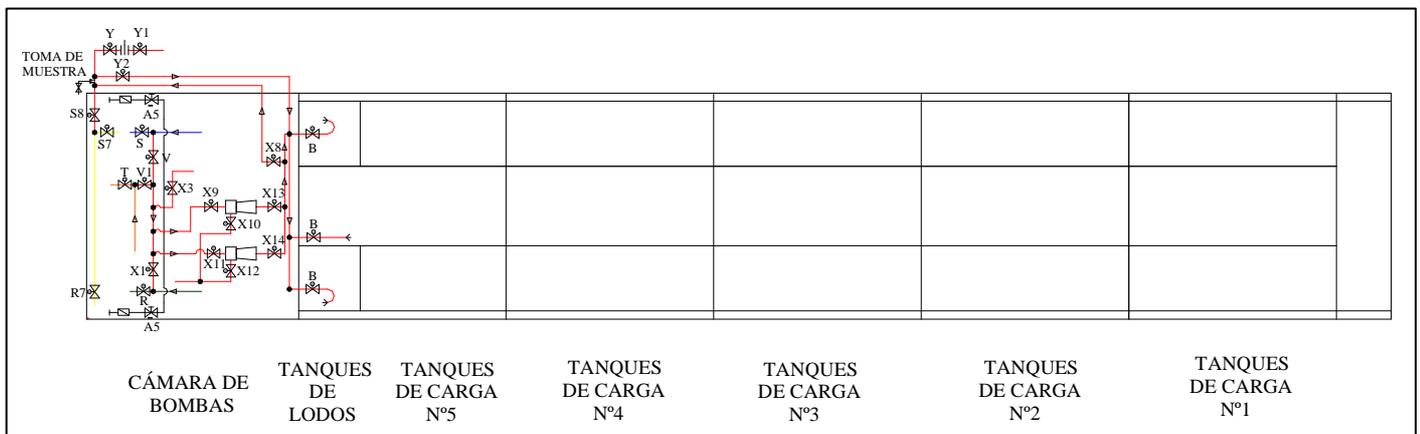
- Inicialmente, se deben abrir las válvulas correspondientes al agotamiento de todos los tanques permaneciendo cerradas las válvulas correspondientes al colector de aspiración de cada uno de ellos.
- Abrir la válvula de unión entre las segregaciones elegidas, permitiendo el paso del crudo de una segregación a otra y manteniendo cerrada la válvula correspondiente a la unión de las demás segregaciones, impidiendo que el crudo pase a dicha última segregación.
- Del mismo modo, deben permanecer cerradas las válvulas dispuestas en la tubería ascendente a Manifold en cubierta, las válvulas correspondientes a los colectores de aspiración y agotamiento de los tanques pertenecientes a la segregación por donde se realizará el agotamiento y la válvula dispuesta en la entrada a cámara de bomba por la segregación a agotar.
- A continuación se abre la válvula que permite la entrada del crudo en cámara de bombas a través de la segregación desde donde haremos el agotamiento.
- Una vez alcanzada dicha zona, se cierran las válvulas que impiden el paso del crudo a separadores y bombas de descarga, y se abre la válvula dispuesta en la tubería de agotamiento de unión de segregaciones.
- Posteriormente, se cierran las válvulas correspondientes para impedir el paso del crudo hacia eyectores y, de esta forma, el crudo llega a la bomba de agotamiento habiéndose cerrado previamente la válvula que no deja retornar del crudo hacia la tubería de agotamiento de las bombas de descarga, y abriéndose las válvulas dispuestas a la entrada de la bomba.

Una vez que el crudo pasa a través de la bomba de agotamiento, se pueden escoger una de las tres formas diferentes de agotamiento ya descritas en el caso anterior.



AGOTAMIENTO DE LOS TANQUES CORRESPONDIENTES A UNA SEGREGACIÓN A TRAVÉS DE EYECTORES:

- Inicialmente, deben abrirse todas las válvulas correspondientes al colector de agotamiento de cada uno de los tanques de carga de la segregación elegida permaneciendo cerradas las válvulas correspondientes al colector de aspiración de dichos tanques además de la válvula correspondiente a la unión de segregaciones.
- Es necesario que permanezca cerrada la válvula correspondiente a la tubería ascendente a Manifold en cubierta.
- Se debe abrir la válvula correspondiente a la entrada a cámara de bombas y una vez que el crudo alcanza dicha zona se cierra la válvula que impide el paso del crudo hacia el separador y bomba de descarga.
- Posteriormente, se abre la válvula dispuesta sobre la tubería de agotamiento de unión de segregaciones.
- Se cierran las válvulas que impiden el paso del crudo hacia bombas de descarga y la válvula que impide el paso a su vez hacia la bomba alternativa de agotamiento.
- Cuando el crudo llega a cualquiera de los dos eyectores a través de las válvulas correspondientes, según el eyector, deben permanecer abiertas las válvulas de alimentación del eyector.
- Una vez que el crudo sale del eyector se cierran las válvulas que impiden que el crudo se descargue al mar y, de esta forma, es descargado a los tanques de lodos y al tanque central N°5 abriendo las válvulas correspondientes, los cuales son descargados a través de las bombas de descarga y de agotamiento de la forma explicada en sus correspondientes apartados. Estos tanques se dejan para ser descargados al final.



AGOTAMIENTO DE LA TUBERÍA Y SENTINA DE LA CÁMARA DE BOMBAS.

Una vez finalizado el proceso de agotamiento completo de los tanques de carga se procede al agotamiento de la tubería de la cámara de bombas.

Este procedimiento se efectúa de la manera descrita a continuación:

El crudo acumulado en la tubería de agotamiento, a la salida de las bombas de descarga, circula a través de las válvulas, que permanecen abiertas, correspondientes a la salida de cada bomba. Posteriormente, deben permanecer cerradas las válvulas que impiden el paso del crudo hacia sus respectivas bombas y las válvulas que impiden a su vez el paso hacia sus respectivos separadores de gases.

A continuación, todo el crudo es dirigido hacia la tubería de agotamiento de unión de las tres segregaciones y abriendo las válvulas hacia la bomba de agotamiento, y cerrando la válvula que evita el retorno del crudo a las bombas de descarga, todo el crudo acumulado en la tubería de las bombas alcanza la bomba de agotamiento y a partir de este punto es descargado a los tanques de lodos o a la tubería de Manifold en cubierta principal de forma similar a la explicada anteriormente en el procedimiento de agotamiento de los tanques de carga.

Por último, si por cualquier emergencia se inundara la cámara de bombas, el sistema de tubería de agotamiento está provisto de dos elementos aspiradores de la sentina de dicha cámara de forma que abriendo las válvulas de no retorno y la válvula de entrada a bomba de agotamiento y, al mismo tiempo, cerrando las válvulas que impiden el retorno del crudo a las bombas de descarga, el crudo alcanza la entrada de dicha bomba de agotamiento y a partir de este punto es descargado a los tanques de lodos o a la tubería de Manifold en cubierta principal de forma similar a la explicada anteriormente en el procedimiento de agotamiento de los tanques de carga.

2.- PROCEDIMIENTO PARA LA OPERACIÓN DE LAVADO CON CRUDO.

La operación de lavar consta de tres fases bien diferenciadas:

- Planificación de la descarga y el lavado.
- Preparación del equipo.
- Operación de lavado propiamente dicha.

Las dos primeras fases han de efectuarse antes de la llegada del buque al puerto de descarga, y si se realizan después de un determinado estudio de situación y características del buque y su cargamento, puede afirmarse que la tercera, la realmente operativa, carecerá de toda dificultad y los objetivos serán alcanzados.

Planificación de la descarga y el lavado:

Tanques a lavar.

- Todos los tanques que vayan a recibir lastre, ya sea sucio (de salida), limpio (de llegada) o de emergencia.
- Apróx. un 25% de los restantes tanques con el fin de prevenir la acumulación y solidificación de sedimentos en ellos, sin que ha estos efectos sea necesario lavar estos tanques más de una vez cada cuatro meses.

Está claro pues que al planificar la operación de descarga y lavado asociado a ella, el primer oficial de acuerdo con las circunstancias propias de la operación del buque, terminal, tipo de viaje, cargamento, etc., determinará los tanques a lavar, cumpliendo como mínimo con la indicada regulación.

Planificación.

Antes de la llegada a puerto, el primer oficial planificará la descarga y el lavado con crudo de los tanques que decida con objeto de realizar la operación con absoluta seguridad, máxima eficacia y mínima demora.

Identificará los tanques a lavar, que, tal como hemos dicho, incluirá siempre los tanques que vayan a contener lastre y otros o todos los restantes, según las circunstancias.

Establecerá las bases de la operación, entre las que podemos citar las siguientes:

- Cumplir con todas las normas de seguridad.
- Mantener siempre el buque dentro de los esfuerzos estructurales permitidos.
- Fijar la presión de descarga.
- Fijar la presión de lavado.
- Identificar el tanque o tanques que en cada fase van a alimentar a las máquinas de lavar y a los eyectores.
- Identificar el tanque o tanques que van a recibir la descarga de los eyectores, fijando su vacío de seguridad.
- Establecer el tipo de lavado a efectuar en cada tanque, señalando el nivel del tanque para la puesta en marcha de las máquinas.
- Fijar los niveles de seguridad, tales como frecuencia en las comprobaciones del nivel de oxígeno, presiones mínimas, etc.

Con las bases anteriores decidirá el plan de descarga y lavado, plan que registrará en el Libro de Operaciones, juntamente con las normas de seguridad e instrucciones generales necesarias para llevarlo a cabo.

Esta planificación, de acuerdo con las bases previamente establecidas, determinará, entre otras, las siguientes operaciones:

- Orden de arranque de las bombas.
- Tanques a descargar por cada una de las líneas, con su orden de agotamiento.
- Secuencia de alimentación de cada una de las bombas.
- Momento de iniciar la operación de lastre y su régimen.
- Orden de lavado de los tanques.
- Asiento previsto durante la operación de lavado.
- Número de ciclos de lavado en cada caso.
- Relación de precauciones generales.

Todo el plan de descarga y lavado lo reflejará esquemáticamente, ya sea ordenando la operación por secuencias mediante un gráfico u otro sistema, con el fin de tener todo el plan a la vista y además poder identificar con facilidad las situaciones críticas en lo que a esfuerzos estructurales se refiere, y poder así comprobar con fiabilidad la viabilidad del plan.

Preparación del equipo.

Después de la planificación, llegamos a la inspección y preparación del equipo. Esta preparación consiste realmente en una comprobación sistemática, dejando el equipo listo para su puesta en servicio.

Así se comprobará:

- La planta de gas inerte, sus alarmas y aparatos de control, ajustando los ceros.
- Los elementos de protección de las bombas principales y sus alarmas.
- Los manómetros del circuito de carga, agotamiento y lavado.
- Las líneas de lavado a la presión adecuada (la máxima de lavado), eliminando las pérdidas si existen.
- Que todas las válvulas del circuito y máquinas de lavar están cerradas.
- Que las máquinas están en la correcta posición para empezar el lavado, etc.

Operación de lavado

No existe duda de que, después de una adecuada planificación y de una buena preparación del equipo, la operación de lavado propiamente dicha, a efectuar durante la descarga, será simplemente una consecuencia de aquellas. Es más, incluso la función principal de descarga se efectuará con más orden y menos imprevistos al formar parte de la planificación conjunta.

BIBLIOGRAFIA

- ESPECIFICACIONES DE PROYECTOS SIMILARES.
- MANUAL DEL BUQUE TANQUE (Eduardo Puertolas Gorina).
- REGLAMENTO DEL BUREAU VERITAS (Edición 2.001).
- REGLAMENTO M.A.R.P.O.L. 73/78 (Edición 1.997).
- CRUDE OIL WASHING SYSTEMS (Edición 1.983).
- REGLAMENTO O.C.I.M.F. (Oil Companies International Marine Forum – Edición 1.991).
- LAVADO CON CRUDO (Sergio Mantolán Casalí).
- CURSO LAVADO DE TANQUES CON CRUDO (Wilson Walton International).
- CATÁLOGOS DE DIFERENTES EMPRESAS AUXILIARES.
- APUNTES DE ASIGNATURAS DE INGENIERÍA TÉCNICA NAVAL.

