

Incidencia sobre el proyecto y la construcción de los petroleros, de los convenios internacionales para la prevención de la contaminación de la mar

Por ANDRES LUNA MAGLIOLI

Doctor Ingeniero Naval.
Catedrático de la E.T.S. de Ingenieros Navales de Madrid.

Una de las causas fundamentales de la contaminación de la mar son las descargas procedentes de petroleros. Se pasa revista en este trabajo a los convenios internacionales sobre la prevención de la polución debida a esta causa y su incidencia sobre el proyecto de buques, así como los aspectos de la explotación de los petroleros de lastre segregado y la contaminación por averías.

0. GENERALIDADES

Los petroleros pueden contaminar la mar por dos causas fundamentales:

1. Descargas de petróleo intencionadas y accidentales.
2. Descargas de mezclas petróleo-agua.

Desde 1969 se han conseguido una serie de acuerdos internacionales bajo los auspicios de la IMCO (Intergovernmental Maritime Consultive Organization) que es una agencia especializada en problemas y negocios marítimos de las Naciones Unidas. De ellos, tratan entre otras cuestiones, las dos causas de contaminación citadas, y tienen íntima relación con el proyecto y construcción de los petroleros los conseguidos en (*):

- The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, conocida en general como MARPOL 73.
- The International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, conocida en general como SOLAS.
- The International Conference on Tanker Safety and Pollution Prevention de 2-78.

La primera sustituye a la International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil de 1954 modificada en 1962. Los resultados alcanzados en la tercera se concretan en:

- Acta final.

(*) IMCO en octubre de 1971 define la disposición y tamaño máximo de los tanques de carga de los petroleros.

- Dos adiciones al Acta final. Protocolo de 1978 referente a SOLAS 1974. Protocolo de 1978 referente a MARPOL 1973.
- Un anexo a cada adición, uno se refiere a adiciones y modificaciones a SOLAS 1974 y el otro contiene adiciones y modificaciones a MARPOL 73.

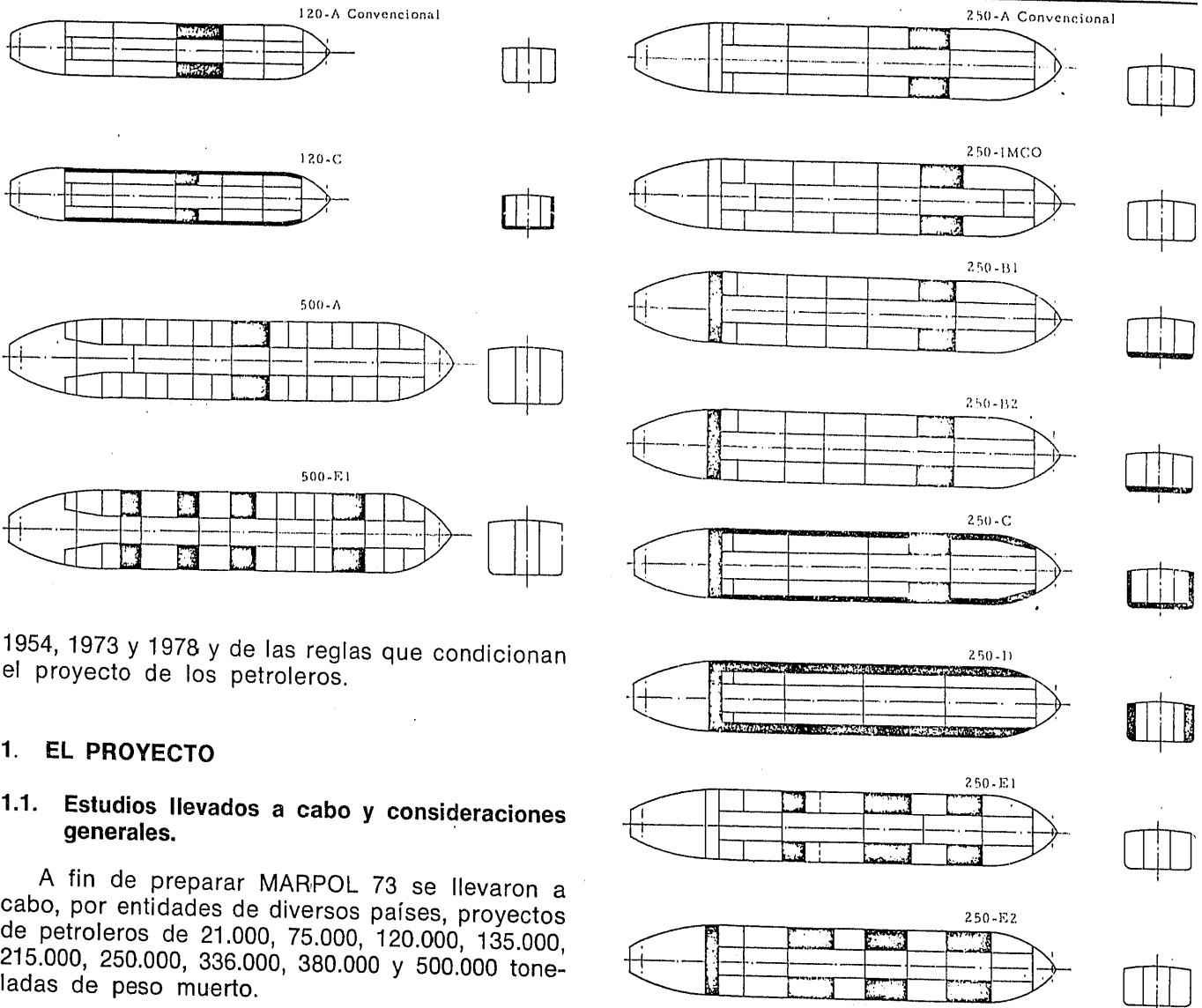
MARPOL 73 sólo ha sido ratificado por tres naciones por dificultades técnicas referentes al anexo II en el tratamiento y forma de desprenderse de los residuos del lavado de tanques con productos químicos. Se acordó posponer tres años la entrada en vigor de este anexo; esto se juzgó conveniente para no retrasar la entrada en vigor del anexo I que contiene las reglas para la prevención de la contaminación por petróleo.

Una vez ratificados por 15 naciones que posean el 50 por 100 del R.B. de la flota mercante mundial, el Protocolo SOLAS entra en vigor seis meses después y un año y medio después el Protocolo MARPOL 78. Sin embargo, las condiciones que han de satisfacer los nuevos buques especifican fechas, más que fecha de entrada en vigor de los acuerdos.

El objetivo principal de estos congresos es eliminar por completo las descargas intencionadas de petróleo y las de mezclas petróleo-agua, y minimizar las descargas accidentales. MARPOL 1973 resuelve plenamente el primer objetivo, y mejora francamente la situación y aún más el Protocolo MARPOL 78 con relación a las descargas accidentales.

Como resumen de todo, se incluyen al final los aspectos más salientes de los convenios de

INCIDENCIA SOBRE EL PROYECTO Y LA CONSTRUCCION DE LOS PETROLEROS



1954, 1973 y 1978 y de las reglas que condicionan el proyecto de los petroleros.

1. EL PROYECTO

1.1. Estudios llevados a cabo y consideraciones generales.

A fin de preparar MARPOL 73 se llevaron a cabo, por entidades de diversos países, proyectos de petroleros de 21.000, 75.000, 120.000, 135.000, 215.000, 250.000, 336.000, 380.000 y 500.000 toneladas de peso muerto.

Por lo que a la limitación del tamaño de los tanques se refiere, sólo se aprecia su efecto a partir de las 200.000 DWT. A partir de este peso muerto aumenta rápidamente el número de mamparos: por ejemplo un petrolero de unas 500.000 DWT con tamaño limitado de tanques tiene más o menos doble número de tanques de carga que un petrolero clásico del mismo peso muerto (construido aproximadamente antes de 1973). Tiene más trascendencia que la limitación de tamaño de tanques el volumen mínimo de lastre segregado exigido, que en lo sucesivo será suficiente, salvo condiciones climatológicas de dureza extrema, para que no sea necesario, lastrar con agua, tanques de carga.

1.2. Lastre necesario para grandes petroleros.

a) A fines de atracar y desatracar se necesita una cantidad de lastre del 20 por 100 del peso muerto. El desplazamiento para este calado es del orden del 35 por 100 del de plena carga.

b) Un VLCC clásico —anterior a 1973— tiene una capacidad de lastre segregado del 10 al 12 por 100 del peso muerto. El desplazamiento para este calado es del orden del 35 por 100 del de plena carga.

c) Satisfacer la condición impuesta por MARPOL 73 de calado mínimo en la sección media da lugar, aproximadamente, en petroleros de 120.000 y 500.000 DWT, a los siguientes calados y desplazamientos con relación a los correspondientes a plena carga, y a las siguientes cantidades de lastre segregado como fracción del peso muerto:

DW	Calado	Desplaz.	Lastre segregado
120.000	0,45	0,46	0,36
500.000	0,37	0,35	0,26

lo que nos indica que la capacidad de lastre necesario es de hasta tres veces la que se precisaba antes de 1973 y que la capacidad relativa de lastre

necesario es menor a medida que crece el peso muerto.

La solución más económica para conseguir esta mayor capacidad de lastre es aumentar el puntal y esta ha sido la solución elegida en el dimensionamiento de los proyectos citados más arriba.

d) De siempre se consideró que con condiciones de tiempo relativamente duras todo buque debía alcanzar en la condición de lastre, un desplazamiento no inferior al 50 por 100 del de plena carga, y en las especificaciones de los petroleros se ha venido exigiendo que con tiempo muy duro este desplazamiento alcanzase hasta el 60 por 100 del de plena carga.

IMCO 71 exigía que los tanques de lastre segregado dieran lugar a un desplazamiento en lastre del 50 por 100 del de plena carga. Todo ello justifica que en los estudios citados se consideren tanques de lastre segregado con capacidad suficiente para conseguir estos desplazamientos.

Se plantea el problema de si los calados en lastre fijados por MARPOL 73 o si se prefiere si la capacidad de tanques de lastre segregado a que éstos dan lugar son suficientes para que se pueda navegar desde los siguientes puntos de vista:

- Movimientos del buque. De ellos depende su seguridad y habitabilidad.
- Vibraciones de baja frecuencia en la viga-buque.
- Slamming o pantocazos.
- Emersión de la hélice por oscilación vertical y cabezada con mar dura. La máquina se embala con el consiguiente peligro para la misma y para la línea de ejes sometida a esfuerzos elevados.
- Resistencia longitudinal.
- Posibilidad de controlar el buque.

Como resultado de ensayos con modelos y de observaciones de viajes de petroleros se llega a las siguientes conclusiones:

- Buques análogos, en condiciones de mar similares, y desplazamientos en lastre muy diferentes, navegan satisfactoriamente.
- En general, los capitanes de los petroleros tienen tendencia a navegar con desplazamientos en lastre, superiores a los absolutamente necesarios.
- Los ensayos con modelos demuestran que con los desplazamientos mínimos en lastre se consigue mejor maniobrabilidad y que el efecto del viento sobre los francobordos elevados —calados bajos— no son de mayor importancia.

- Asimismo, se llega a la conclusión de ser satisfactoria la navegación con lastres IMCO e incluso inferiores.
- Las estadísticas de ensayos con buques de 250.000 DWT muestran que las condiciones de navegabilidad son plenamente satisfactorias con relación a todos los parámetros importantes de la misma a niveles de lastre próximos a los IMCO.
- Es de verdadero interés para la rentabilidad del buque, y puesto que parece viable, navegar con lastres IMCO, e incluso menores, por la reducción de consumo de combustible a que da lugar.

1.3. Dimensiones, capacidades y pesos de los proyectos estudiados.

En (1) se consideraron buques de los tres pesos muertos base siguientes: 120.000, 250.000 y 500.000 DWT. En todos ellos se partió del petrolero clásico —denominado A— anterior a 1973. Puesto que como el buque base 250-A no satisface las condiciones IMCO de descarga accidental de petróleo a la mar —40.000 m³— se obtuvo el 250-IMCO aumentando el número de tanques de carga. Se supusieron capacidades de lastre segregado tales que el peso de éste más el del buque vacío fuesen del orden del 45 por 100 y del 60 por 100 del desplazamiento a plena carga.

Se desarrolló una familia de ocho buques en la serie 250 para llevar a cabo diversos estudios. El buque base de la serie tiene 32.000 shp y 16 nu-



INCIDENCIA SOBRE EL PROYECTO Y LA CONSTRUCCION DE LOS PETROLEROS

dos. La capacidad de lastre segregado incluye la capacidad del pique de proa.

Se han dispuesto dobles fondos para lastre con alturas de B/15, o mayores, doble casco, tanques laterales alternados de lastre y combinaciones de éstos.

Para que de acuerdo con las hipótesis IMCO de avería, el buque no pudiera producir descarga accidental de petróleo a la mar, bastaría con dotarle de doble fondo de altura B/15 y doble casco con espesor de B/5 ó 11,5 (m) la que sea menor. Disponer B/15 de doble fondo y B/5 de doble casco supone perder aproximadamente el 50 por 100 de la sección recta dedicada a la carga, Manteniendo la hipótesis básica de proyecto de conseguir la capacidad necesaria de los tanques de

carga, variando el puntal se llega a una relación manga/puntal de 1,37. Esto conduce a su vez a una estabilidad inicial, $MG = 0,60$ m, que no permite satisfacer las condiciones de estabilidad en avería. Por tanto, sobre la base de mantener las relaciones típicas entre las dimensiones principales, es inviable el buque, que con avería IMCO, no efectúe descargas.

Tanto la serie 120 como la 500 consta de dos buques. Los cuatro satisfacen la condición IMCO de volumen de petróleo descargado por accidente a la mar. Para conseguirlo en la serie 500, se dispuso un doble fondo en el tanque central núm. 2.

En la tabla 1 se relacionan las dimensiones, pesos, capacidades y resumen de estabilidad en avería de estos doce proyectos.

TABLA 1

Buque	120-A clásico	120-C 60 % D lastre segreg.	250-A clásico	250 IMCO	250-B1	250-B2 45 % D lastre segreg.	250-C 60 % D lastre segreg.	250-D 60 % D lastre segreg.	250-E1 45 % D lastre segreg.	250-E2 60 % D lastre segreg.	500-A clásico	500-E1 45 % D lastre segreg.
Dimensiones (m)	L = 259,1; B = 42,1 T = 15,8		L = 330,7; B = 51,8; T = 19,9						L = 360,0; B = 62,0 T = 28,0			
Puntal (m)	20,7	25,2	25,6	25,6	28,0	29,6	32,3	31,7	29	31,7	36	40,7
B/T	2,665		2,603						2,214			
B/H	2,034	1,671	2,023		1,850	1,750	1,604	1,634	1,786	1,634	1,722	1,523
T/H	0,763	0,627	0,777		0,711	0,672	0,616	0,628	0,686	0,628	0,553	0,688
L/H	12,517	10,282	12,918		11,811	11,172	10,238	10,432	11,403	10,432	10,000	8,845
Altura del doble fondo (m)	No tiene	2,8	No tiene	No tiene	3,5	4,4	3,5	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene
Ancho del doble casco (m)	No tiene	3,0	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	3,5	6,6	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene
Tanques	No tiene No tiene											
Carga (100 %) (m ³)	151.000	152.000	312.000	312.000	307.000	310.000	312.000	312.000	311.000	316.000	585.000	584.000
Lastre segregado (t)	24.587	69.088	42.672	40.640	73.660	101.295	134.315	135.738	94.894	135.026	76.708	172.720
Pesos (t)												
Acero normal	11.886	22.631	20.848	21.111	28.814	30.059	36.494	30.362	24.698	30.518	45.760	56.909
Acero alta	5.357	2.209	11.054	11.054	8.362	8.074	6.789	9.262	9.575	8.495	12.073	11.203
Acero total	17.243	24.840	31.902	32.165	37.176	38.133	43.283	39.624	34.273	39.013	57.833	68.112
Habon. y equip.	2.231	2.506	3.653	3.755	3.454	3.603	3.925	3.855	3.872	3.901	5.093	5.314
Máquinas	1.133	1.148	1.179	1.179	1.179	1.202	1.217	1.217	1.202	1.202	1.524	1.515
Margen	821	854	1.102	1.113	1.254	1.288	1.453	1.341	1.181	1.324	1.934	2.213
Buque vacío	21.428	29.348	37.836	38.212	43.063	44.226	49.878	46.037	40.528	45.440	66.384	77.314
Peso muerto	126.369	118.449	253.350	252.974	248.123	246.960	241.308	245.149	250.658	245.746	481.646	470.616
Desplazamiento	147.797	147.797	291.186	291.186	291.186	291.186	291.186	291.186	291.186	291.186	548.030	548.010
MG a plena carga (m)		5,7	8,3	—	—	4,3	3,2	4,8	—	5,0	—	5,1
MC necesario para limitar el ángulo de escora a 15° (m)		2,5	3,4	—	—	2,1	4,7	4,7	—	2,5	—	1,9

1.4. Observaciones acerca de los proyectos.

Los buques con 45 y 60 por 100 de lastre tienen un incremento de puntal con relación al buque base de 13 y 26 por 100 respectivamente. La relación lastre/peso muerto oscila entre 16 y 20 por 100 para los buques base, y es aproximadamente 40 por 100 para los buques de 45 por 100 de lastre y 56 por 100 para los de 60 por 100 de lastre. El proyecto 250-B1 tiene una relación lastre/peso muerto del 30 por 100 intermedia entre las de los proyectos base y 45 por 100.

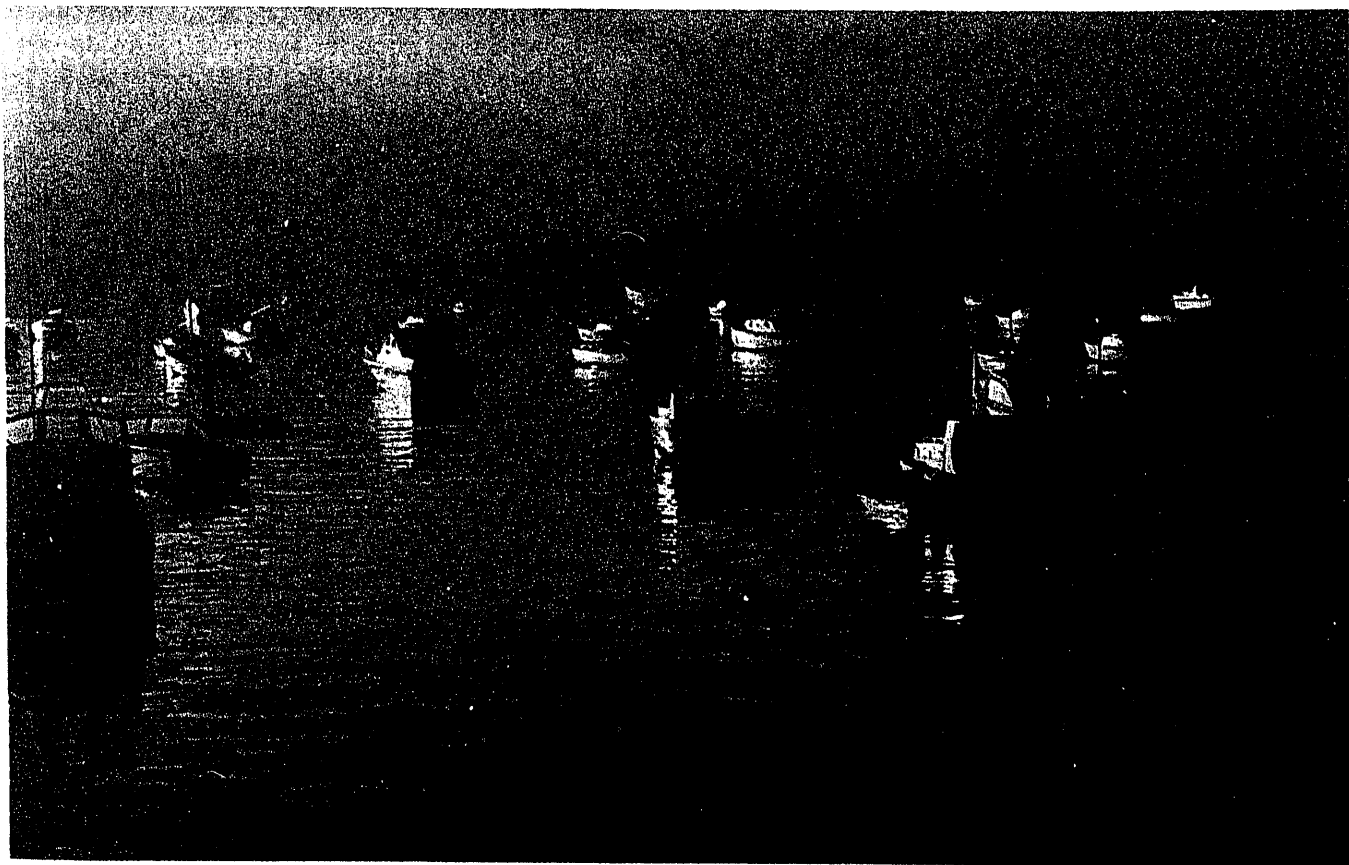
La relación peso de acero/peso muerto varía del 13,6 al 12,6 por 100 para los buques base. El máximo es del 21,0 por 100 para el proyecto 120-C y de 17,9 por 100 para el 250-C. Esta relación decrece con el peso muerto y aumenta con la cantidad de lastre y por aumentar el número de tanques o disponer doble fondo y/o doble casco. Los mayores puntales precisos de acuerdo con la solución adoptada para conseguir mayor cantidad de lastre, conducen a un mayor peso de acero que se invierte en gran medida en acero normal. La razón es que al crecer el puntal, el módulo resistente necesario de la cuaderna maestra se consigue con escantillones menores en cubierta y fondo en toda la zona en que se puede sustituir el acero normal por acero de alta. Los espesores de fondo y cubierta decrecen al decrecer la relación L/H.

Por tanto, al reducir L/H desde valores como 12,9 ó 12,1 (tabla 1) es posible reemplazar acero de alta con acero normal. En el proyecto 500-A la relación L/H es tan baja que sólo es posible esta sustitución en pequeña medida.

Estos pesos de acero corresponden en todo caso al calado constante de cada serie, que para los buques de puntales más elevados es inferior al máximo correspondiente al francobordo. En una palabra, el calado de proyecto corresponde siempre a un crudo de un peso específico de 0,835 (38 grados API) inferior al que por francobordo podrían cargar los proyectos de mayor puntal.

Los pesos de habilitación y equipo están comprendidos entre 0,08 y 0,11 del peso del buque vacío. Los valores inferiores corresponden a los proyectos de mayor puntal que son los que han tenido un mayor aumento del peso de acero. Las partidas más importantes de habilitación y equipo que varían con el volumen de lastre y con el puntal son:

- a) Bombas y tubería de lastre, tubería de carga y válvulas y accesorios de estos servicios.
- b) Equipo de amarre, anclas, cadenas y cables.



El peso de la maquinaria es muy poco afectado por el puntal.

Se analizó la estabilidad en avería. Para ello se consideró el caso más desfavorable; avería en dos tanques laterales contiguos o dobles tanques de doble fondo de lastre, y penetración a los tanques interiores de lastre —proyecto 250-C—. Los márgenes (tabla 1) son menores para los buques de mayor puntal. Un valor de $MG = 2,8$ (m) limita a $21,7^\circ$ el ángulo de escora del proyecto 250-C que sumerge el ángulo de trancanil con un ángulo de escora de $23,3^\circ$. El proyecto se consideró viable por no sumergir la cubierta.

2. ASPECTOS DE LA EXPLOTACION DE LOS PETROLEROS DE LASTRE SEGREGADO. CONTAMINACION DEBIDA A LA EXPLOTACION

2.1. Operaciones de carga y descarga.

En un petrolero que dispone de suficiente capacidad de lastre segregado, pueden simultanearse en el puerto de descarga; la descarga del crudo y la carga del lastre necesario para desatracar o navegar, y en el puerto de carga, pueden simultanearse las operaciones inversas. Además, se prescinde de la carga de lastre sucio en tanques de carga sin lavar y salvo casos excepcionales no es necesario el lavado a fondo de los tanques de carga previstos para lastre limpio. Es asimismo posible prescindir en todo o en gran medida de:

- Cambiar trimado del estado de carga de lastre sucio al de lastre limpio.
- Separar residuos después de trasvasar los lastres sucios de los fondos de los tanques de carga al tanque/separador de aguas sucias.

Todo ello hace que la reducción en contaminación de la mar a que da lugar la explotación de un petrolero de lastre segregado comparada con la ocasionada por un petrolero típico —anterior al año 1973— sea muy elevada.

Sin embargo, subsiste la necesidad de lavar los tanques de carga para inspecciones, reparaciones, entrada en dique, o por cambio del tipo de carga. Por tanto, no cabe evitar rigurosamente en los petroleros de lastre segregado, la contaminación por descargas impuestas por la explotación.

El lavado con crudo sustituirá al lavado con agua salada. Para ello el crudo se descarga en los tanques a lavar mediante máquinas fijas de lavado. Los residuos semisólidos se desprenden y quedan en suspensión en el crudo del lavado, que se des-

carga a otro tanque de carga, o con el resto de la descarga en los tanques receptores en tierra.

La condición tanque de carga dispuesto para tanque de lastre limpio se consigue con un lavado posterior más somero o enjuagado con agua salada para eliminar cualquier resto de crudo que permanezca en el fondo del tanque.

Cabe dentro de lo posible que en el futuro se pueda suprimir este enjuagado con agua. De hecho continúa siendo necesario el equipo para la separación petróleo/agua mediante el sistema "load on top".

2.2. La cantidad de lastre en relación con la altura de los colectores de descarga y la capacidad de las bombas.

La altura de los colectores de descarga sobre la flotación es un factor que de siempre se ha tenido y se ha de tener en cuenta al disponer éstos en los puertos correspondientes. Estas alturas están de acuerdo en la actualidad con los francobordos de los buques a flote. La altura máxima corresponde al francobordo de los buques actuales cuando se está terminando la descarga. Para limitar en esta situación el francobordo de los petroleros de lastre segregado, las bombas de lastre habrán de tener capacidad suficiente para llenar los tanques de lastre antes de terminar la descarga. La potencia requerida por estas bombas será sólo ligeramente superior en un petrolero de lastre segregado, puesto que gran parte del lastrado y del deslastrado se efectúa por gravedad.

3. CONTAMINACION POR AVERIAS

3.1. Tipos de averías. Generalidades.

Entre estos cabe citar:

- Colisión de un buque con otro.
- Varada.
- Fuego.
- Explosión.
- Colisión con objetos a flote.
- Rotura de la estructura.

De ellos analizamos los dos primeros por ser en los que más influye la disposición de los tanques de carga y de lastre en la cantidad de petróleo descargada a la mar.

El cálculo IMCO de flujo hipotético tanto por colisión (OC) como por varada (OS) se basa en suponer que la avería se produce en la situación

más desfavorable, esto es, en la intersección de mamparas que afecte al conjunto de tanques de carga de volumen total máximo. La probabilidad de que se presente esta avería es escasa. Este método dará lugar a una valoración errónea de diferentes proyectos si como parece más lógico, se toma como término de comparación la cantidad media de petróleo que puede ser descargada a la mar, o la cantidad correspondiente a la avería más probable. Parecen asimismo criterios más razonables de valoración, establecer como índices:

- a) La probabilidad de que se produzca una avería que ocasione descarga de petróleo, es decir, la unidad, menos la suma de las probabilidades de avería de los compartimientos que no contienen petróleo.
- b) La suma de los productos de las probabilidades de que se produzcan las distintas averías que ocasionan descarga de petróleo, por la cantidad descargada correspondiente a cada una de ellas.

De hecho parece ser que IMCO adoptó una solución determinista para el cálculo del petróleo descargado, por facilitar el trabajo de proyectistas y Sociedades de Clasificación y quizá también por falta de número suficiente de datos acerca de averías para poder establecer un método basado en la probabilidad de avería, que ya adoptó con anterioridad para los buques de pasaje.

3.2. Colisión.

Los datos que figuran a continuación están tomados de la referencia (1). Para determinar la eficacia relativa de los diferentes proyectos de la serie 250 se ha determinado la descarga media debida a todas las averías posibles. Los resultados de estos cálculos para una longitud de avería de 14,5 m se representan en la tabla 2. Es de hacer notar que se utilizaron longitudes de avería comprendidas entre 1 y 35 m, encontrándose que las cantidades relativas de descarga de cada uno de los ocho buques de 250.000 DWT eran aproximadamente independientes de la longitud de avería. Para valorar la eficacia del doble casco se determinó el porcentaje de casos de avería en los que no fue perforado. De los datos disponibles se tuvo en cuenta la penetración absoluta en metros y la relativa o fracción de la manga del buque sinistrado. Estos valores se corrigieron, partiendo de la base de que para el mayor tamaño de los buques en estudio, la magnitud de la penetración estará comprendida entre el valor independiente del tamaño del buque, y el valor proporcional a la manga del mismo. La media de estos dos valores es: Eficacia en colisión del doble casco para los buques 250-C y 250-D; a) Ancho del doble casco =



= 3,5 m, eficacia = 30 por 100; b) Ancho del doble casco = 6,55 m, eficacia = 55 por 100. En la línea 2 de la tabla 3 figura como probabilidad de perforación del doble casco, 1 menos la eficacia en colisión. En los buques que no tienen doble casco se ha supuesto que la probabilidad es del 100 por 100, aunque habrá colisiones que no darán lugar a contaminación por no interesar tanques con petróleo.

La línea 4 de la tabla 3 presenta la descarga relativa a que dará lugar una colisión media teniendo en cuenta la reducción debida al doble casco.

De todo ello se deduce:

- Que la reducción IMCO de las dimensiones de los tanques de carga es eficaz para reducir la contaminación.

INCIDENCIA SOBRE EL PROYECTO Y LA CONSTRUCCION DE LOS PETROLEROS

TABLA 2.—Avería por colisión. Descarga hipotética IMCO.

B U Q U E	250-A IMCO	250-A	250-B1	250-B2	250-C	250-D	250-E1	250-E2
1. Tanques de carga averiados. Posición más desfavorable (A).	5B, 6B	4B, 5B	5B, 6B	5B, 6B	4B, 5B	1B, 2B	7B, Agua sucia	7B, Agua sucia
2. Volumen de los tanques averiados (m ³).	28.700	44.800	29.900	28.500	35.000	40.200	26.100	28.000
3. Descarga por avería de estos tanques (m ³) (B).	28.700	44.800	29.900	28.500	35.000	40.200	26.100	28.000
4. Flujo hipotético IMCO (m ³) (B).	28.700	44.800	29.900	28.500	23.100	14.800	26.100	28.000

- A) En los casos de doble casco (250-C, 250-D) se ha supuesto que la avería ha roto el forro interior puesto que el ancho del doble forro es inferior a B/5, ó 11,5 (m).
- B) El cálculo IMCO de flujo hipotético, reduce OC para los buques de doble casco (250-C, 250-D), sin embargo, hay que tener en cuenta la posibilidad de perforación del forro interior. La descarga a la mar en esta hipótesis es la que figura en la línea 3.

TABLA 3.—Avería por colisión. Descarga debida a la colisión media.

B U Q U E	250-A IMCO	250-A	250-B1	250-B2	250-C	250-D	250-E1	250-E2
1. Descarga media si se averían por colisión uno o más tanques (m ³) (A).	17.400	21.900	18.300	17.600	17.300	21.500	13.700	11.400
2. Probabilidad de avería (%) en los tanques (B).	100	100	100	100	70	45	100	100
3. Descarga estadística (m ³).	17.400	21.900	18.300	17.600	12.100	9.700	13.700	11.400
4. Descarga estadística relativa (250 IMCO = 100).	100	126	105	101	70	56	79	86

- A) Longitud de avería supuesta, 14,5 (m). Se consideran todas las posibles situaciones de avería en la eslora de los tanques de carga. Se supone además que se pierde toda la carga del tanque averiado.
- B) Se ha efectuado una reducción como se indica en el texto en los casos de doble casco. Probabilidad en los casos de casco sencillo, 100 por 100.

— En comparación con el buque base 250-A IMCO, el doble casco reduce sensiblemente las descargas por colisión.

— Las descargas por colisión para los buques con sólo doble fondo (250-B1 y 250-B2) es incluso ligeramente superior a la del buque base.

— La disposición alternada de los tanques de lastre lateral (250-E1 y 250-E2) puede producir una notable reducción, en la descarga por colisión, de magnitud análoga a la proporcionada por el doble casco 250-C y 250-D. Esto no lo refleja, sin embargo, el cálculo IMCO de descarga hipotética —línea 4 de la tabla 2— puesto que no tiene en cuenta la eficacia de la posición alternada de los tanques de lastre laterales a causa del criterio de posición más desfavorable de avería.

superficie del casco protegida por los tanques, de lastre segregado, laterales, y la superficie, lateral y de fondo, total del casco dentro de la zona de tanques.

Las normas de la Regla 13E sobre superficie de protección de la carga, las de descarga o flujo hipotético, y las de limitación de tamaño de tanques de carga permiten la utilización de doble fondo, doble casco y tanques laterales alternados de lastre segregado y de carga. En general, los buques con tanques laterales alternados exigirán un mayor grado de compartimentación con los consiguientes menores tamaños de los tanques de carga y descarga potencial de petróleo, lo que en definitiva es lo que se pretendía conseguir.

Se consideró por el grupo de trabajo de la Conferencia de 2-78, que disponer una cierta superficie de forro de costado y de fondo, dentro de la zona de tanques como superficie de protección era una solución válida, hasta la obtención de una solución basada en la probabilidad de avería de los diferentes tanques, para decidir la po-

Este hecho se recoge en la Regla 13E del Protocolo MARPOL al imponer la relación entre la

INCIDENCIA SOBRE EL PROYECTO Y LA CONSTRUCCION DE LOS PETROLEROS

TABLA 4.—Avería por varada. Descarga hipotética IMCO y descarga que cabé esperar, ambas en la hipótesis de avería en la posición más desfavorable.

B U Q U E	250-A IMCO	250-A	250-B1	250-B2	250-C	250-D	250-E1	250-E2
1. Tanques de carga averiados. Posición más desfavorable (A).	4C, 5C 5B, 6B	3C, 4C 4B, 5B	1C, 2C 1B	1C, 2C 1B	3C, 4C 4B, 5B	1C, 2C 1B, 2B	4C, 5C 7B	4C, 5C 7B
2. Volumen de los tanques averiados (m ³) (B).	84.150	112.650	91.350	94.100	122.300	120.250	88.550	85.350
3. Flujo hipotético IMCO (m ³) (B).	28.050	37.550	0	0	0	30.000	29.500	28.500
4. Descarga que es de esperar para la posición más desfavorable (m ³) (B).	15.000	20.600	20.900	19.700	34.600	40.800	25.000	28.500

A) En los buques con doble fondo (250-B1, B2, C) se ha supuesto perforado el doble fondo para el cálculo de la línea 4. Para el cálculo de la descarga hipotética IMCO, no hay tanques con avería en los buques con doble fondo.

B) El calado decrece 2 m, aceptando equilibrio estático mar/petróleo que permanece en el tanque y crudo de 30, 3.º API de peso específico 0,8746 que es el supuesto en este cálculo; se ha tenido en cuenta la elevación del buque, marea y corriente. En los buques con doble fondo se reduce la descarga por el petróleo que permanece en éste y para el buque 250-C por el petróleo que entra en los tanques del doble casco.

TABLA 5.—Avería por varada. Descarga debida a la varada media.

B U Q U E	250-A IMCO	250-A	250-B1	250-B2	250-C	250-D	250-E1	250-E2
1. Descarga que es de esperar para la posición más desfavorable (m ³), tabla 4, línea 4.	15.000	20.600	20.900	19.700	34.600	40.800	25.000	28.500
2. Relación estimada de la descarga de la varada media a la descarga para la posición más desfavorable (A).	0,33	0,31	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28
3. Probabilidad de que sean averiados los tanques de carga (%) (B).	100	100	39	36	39	100	100	100
4. Flujo estadístico (m ³).	4.950	6.400	2.700	2.300	4.200	12.200	7.250	8.000
5. Flujo estadístico relativo (250 IMCO = 100).	100	129	54	46	85	247	146	161

A) Convierte la varada más desfavorable que comprende 3 ó 4 tanques de carga en varada media en la que en la mayoría de los casos serán abiertos menos tanques.

B) Reducciones correspondientes a los buques con doble fondo (250-B1, B-2, C).

sición relativa y dimensiones tanto de los tanques de carga como de los de lastre segregado.

3.3. Varada.

El cálculo IMCO de la descarga hipotética (OS) por varada, reconoce en cierta forma, al aceptar que sólo vacía a la mar un tercio de la capacidad del tanque averiado, que al abrirse a la mar un tanque por varada, no se descarga a ésta todo el contenido del mismo, puesto que la descarga cesa al establecerse equilibrio entre la altura hidrostática del tanque y de la mar. En una varada de los buques que estamos considerando, los de mayor puntal tendrán en tanques de igual volumen descargas muy superiores a las de los buques con francobordo reglamentario. Por tanto, las cantida-

des hipotéticas IMCO (OS) descargadas son erróneas en muchos casos. La tabla 4 contiene la descarga hipotética IMCO y la descarga teniendo en cuenta lo siguiente:

- Se considera la descarga hasta el equilibrio estático con lo que se refleja la influencia del francobordo de los diferentes buques. En el cálculo se hacen intervenir el efecto de la marea, corrientes y la elevación del buque por la pérdida de desplazamiento.
- En los buques con doble fondo, si se perfora éste hay una reducción de descarga, pues además de la condición de equilibrio citada, una parte del doble fondo se llena con petróleo. En el cálculo se ha supuesto que se llena con un metro de agua el doble fondo

INCIDENCIA SOBRE EL PROYECTO Y LA CONSTRUCCION DE LOS PETROLEROS

situado bajo el tanque de carga abierto a la mar. El resto se supone lleno con petróleo. En el caso de doble casco (250-C) se ha efectuado una reducción de descarga puesto que el petróleo descargará más a los tanques laterales vacíos que a la mar.

En la línea 4 de la tabla 4, se representa la descarga para avería en la posición más desfavorable una vez tenidas en cuenta las condiciones anteriores. De los resultados de la misma se deduce:

- Mientras que el cálculo IMCO de descarga hipotética considera que no hay descarga en los tres buques con doble fondo (250-B1, 250-B2 y 250-C) se presentarán averías en las que se perforará el doble fondo.
- Utilizando el criterio de equilibrio estático, la descarga para los buques de francobordo mínimo es muy inferior a la que arroja el cálculo IMCO. Al aumentar el francobordo aumenta considerablemente la cantidad descargada. Para los buques de mayor puntal (250-C, 250-D y 250-E2) se llega al factor 1/3 de IMCO.

Tanto la línea 3 como la 4 de la tabla 4, que refleja las modificaciones al flujo IMCO, consideran exclusivamente la avería de situación más desfavorable de acuerdo con el criterio IMCO. Como en el caso de colisión, considerar sólo esta posición de avería puede enmascarar las diferencias existentes entre diversos proyectos. Por ello se ha efectuado el cálculo de descarga correspondiente a una avería de varada media cuyo resultado se representa en la tabla 5.

La línea 1 de la tabla 5 es la línea 4 de la tabla 4, que corresponde como hemos dicho a la posición más desfavorable y que supone como indica la tabla 4 que se abren simultáneamente a la mar tres o cuatro tanques de carga. Se efectuó el cálculo del porcentaje de varadas que producirían avería en un número menor de tanques. De él se dedujo que en una varada media la descarga variaría de 0,28 a 0,33 —línea 2 de la tabla 5— de la descarga para la posición más desfavorable. Del análisis de 75 casos de varada se obtuvo la probabilidad —línea 3 de la tabla 5— de que resulte abierto el doble fondo de los buques 250-B1, 250-C y 250-B2. Con los coeficientes de las líneas 2 y 3 y con los datos de la línea 1 se obtiene un flujo

estadístico —línea 4—, y línea 5, el flujo relativo tomando como base el buque 250-A IMCO. De estos resultados se deduce:

- El doble fondo proporciona una notable reducción de descarga a la mar en caso de varada. En los buques 250-B1 y 250-B2 esta reducción es del orden de la mitad comparado con el buque base 250-A IMCO. En el caso de buques con igual fracción de lastre segregado y francobordo análogo (250-B2 y 250-E1) la reducción de descarga debida al doble fondo es del orden de 3 a 1. La mejora conseguida por el doble fondo en el 250-C es escasa, a causa del mayor volumen de sus tanques y de su francobordo muy superior al de los buques B1 y B2.
- Un mayor francobordo, da lugar a una descarga notablemente mayor. Los buques 250-D, 250-E1 y 250-E2 que no tienen doble fondo que compense su mayor francobordo tienen incrementos de descarga con relación al buque base, de 247 a 146 por 100.

REFERENCIAS

1. P. M. KIMON, R. K. KISS and J. D. PORRIGELLY: "Segregated Ballast VLCCS: An Economic and Pollution Abatement Analysis". M. T., 10-73.
2. L. J. CRIGHTON and I. E. Telfer: "Segregated Ballast Tankers". Proceedings of the Symposium on Marine Pollution. 2-73. RINA.
3. H. BRUHN: "Der Einfluss des Doppelbodens auf die Lecksicherheit bei Grundberührung". Hansa, 11-72.
4. International Conference on Marine Pollution, 73. IMCO.
5. International Conference on Tanker Safety and Pollution Prevention, 78. IMCO.
6. W. ABICHT, S. KASTNER and K. WENDEL: "Stability of Ships, Safety from Capsizing and Remarks on Subdivision and Freeboard". Proceedings of the Second West European Conference on Marine Technology. Safety at Sea, 77.
7. W. M. BENKERT and D. H. WILLIAMS: "The Impact of the 1973 IMCO". Convention on the Maritime Industry. M. T., 1-74.
8. A. C. LANDSBURG and J. M. CRUIKSHANK: "Tanker Ballasting. How Light Can You Gou? SNAME. Transactions, 76.
9. "Schiffsentwurf und Schiffssicherheit". Hansa, 75. No. 22.
10. W. D. SNIDER: IMCO. Conference on Tanker Safety and Pollution Prevention. M. T., 7-78.