

CONSIDERACIONES SOBRE EL ACCIDENTE, LA FRACTURA Y EL HUNDIMIENTO DEL PRESTIGE

Ignacio Diez de Ulzurrun R., Miguel A. Herreros S.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, Departamento de Arquitectura y Construcción Navales
Universidad Politécnica de Madrid. Avda. Arco de la Victoria sn. Madrid 28040

Resumen. El accidente del buque *Prestige*, petrolero monocasco, de 243,5 m de eslora total y cargado con cerca de 77.000 t de fuel pesado, produjo su hundimiento en el Atlántico el 19 de noviembre de 2002 a 140 millas frente a las costas de Galicia a la altura del cabo Touriñán en profundidades de agua superiores a los 3 500 m, originando graves efectos sobre el ecosistema y la economía de amplias zonas, como consecuencia de unos vertidos superiores a las 63 000 t hasta la fecha. Riesgo de accidente que tiene su origen en la probabilidad que tiene un petrolero de sufrir incidentes durante la navegación por diversas causas, ya sean internas del propio buque o externas, con la consecuencia de daños en el casco que pueden llegar a afectar a su integridad estructural y a la estanqueidad de la zona de cántara y, finalmente, derivar en vertidos contaminantes al mar. Accidentes cuyos efectos han demostrado que la recuperación de los ecosistemas puede durar muchos años, y que debe considerarse que si bien la mar, valiosa fuente de recursos y vida que cubre el 71% de la superficie terrestre, diluye, dispersa y degrada la contaminación, su capacidad tiene un límite.

En este trabajo, se describe la cronología del accidente considerando las diferentes hipótesis sobre las causas que lo originaron y su evolución hasta el naufragio, con un especial enfoque en las solicitaciones estructurales que determinaron su fractura por la maestra y su posterior hundimiento. Asimismo, se sitúa globalmente el problema de los derrames de petróleo al mar y se revisan los tipos, las causas y los efectos de accidentes en petroleros que afectan a la integridad de su estructura y producen contaminación marina, analizando el papel que puede desempeñar el diseño estructural en la necesaria prevención y en la reducción de sus graves efectos. No obstante, debemos admitir, ya de partida, que únicamente con medidas de ingeniería estructural y arquitectura naval no se podrán evitar estas catástrofes ecológicas, pero sí contribuir en lo posible a reducirlas y minimizar sus consecuencias, como nos demanda la Sociedad.

Abstract. On 13 November 2002 the single hull tanker *Prestige* reported a sudden starboard list in a storm 140 miles off the Spanish coast. The vessel subsequently broke into two and sank on 19 November 2002, spilling most of its 77.000 t of fuel. A severe environmental damage was produced along the coast. In this paper the *Prestige* accident is described, several hypotheses on the initial hull damages and its evolution to the sinking are considered, with a special focus on the structural conditions that eventually produced the fracture and final collapse of the ship. An overall view on marine pollution from oil tanker's spilling, due to several types of accidents compromising the structural integrity of the ship are reviewed, and their causes and effects on different vessels are considered. Finally, the role of the structural design in the prevention of these events are analyzed. However, we should accept that only with structural measures is not possible to completely eliminate the risk of an accident, but it is necessary to endeavour to reduce the terrible ecological and economical consequences.

ÍNDICE

1. Los petroleros y la contaminación marina.
 2. El *Prestige* y su carga.
 3. Cronología del desastre.
 4. Análisis de la integridad estructural.
 5. Medidas preventivas de diseño estructural.
 6. Conclusiones.
- Referencias.

1. LOS PETROLEROS Y LA CONTAMINACIÓN MARINA

De acuerdo con el programa de la ONU para el medio ambiente de 2002, el transporte marítimo en petroleros provoca la mitad de los **vertidos de petróleo al mar**

que se producen en el mundo. El otro 50% del volumen de vertidos de crudo al mar, no procedentes del transporte marítimo en petroleros, tiene su origen en diversas causas, entre las que pueden citarse: las operaciones fuera de costa para la explotación de yacimientos petrolíferos submarinos, averías o accidentes en oleoductos submarinos, fugas naturales y los vertidos procedentes de tierra, estos últimos con un gran porcentaje.

Los vertidos contaminantes como resultado de los 7.600 accidentes registrados en petroleros, en el período entre 1968, año en el que comenzaron a registrarse, y el 2000, arrojan un total de 10,6 millones de toneladas (no anualmente). Hay que considerar que en la UE el 90%

del petróleo que se comercializa lo hace por mar y que, diariamente a escala mundial, los petroleros transportan un promedio de 107 millones de toneladas, y el 90% en barcos con bandera de conveniencia. España recibe unos 100 millones de toneladas de petróleo por mar al año.

En la actualidad se puede considerar que se arrojan al mar anualmente más de 3 millones de toneladas de petróleo y derivados, de las que cerca de 200.000 t corresponderían a los accidentes de petroleros, con una reducción del 80% en los últimos 30 años.

Puede concluirse que si bien las mareas negras tienen un grave impacto sobre los ecosistemas, la contaminación crónica de los océanos tiene órdenes de magnitud muy superiores a los que puedan darse puntualmente por accidentes. No obstante, el reto es lograr una tolerancia nula como se demanda.

Los principales tipos de **accidentes en petroleros** con consecuencias en la contaminación marina al margen de acciones bélicas, pueden clasificarse en:

- Abordaje o colisión.
- Varada, embarrancamiento o encallada.
- Fallos estructurales internos.
- Fuego y explosión.

Respecto al volumen de vertidos producidos, más de la mitad son consecuencia de encalladas que afectan al fondo de la estructura de tanques. Y es de destacar que el 80% de los accidentes en buques petroleros de los últimos años se ha producido en buques viejos, así de los 77 petroleros que naufragaron entre 1992 y 1999, 60 tenían más de 20 años.

2. EL PRESTIGE Y SU CARGA

El *Prestige*, petrolero de productos abanderado en Bahamas, estaba registrado a nombre de *Mare Shipping Inc.* (Liberia) y fue construido por *Hitachi Shipbuilding and Engineering Co.* (Maizuru) en 1976. Tenía las siguientes características principales de proyecto: eslora total: 243,5 m; manga: 34,4 m; calado: 14,0 m; puntal: 18,7 m; peso muerto: 81.589 t

Era un monocasco de estructura longitudinal, con una clara entre anillos transversales de 4.220 mm y entre refuerzos longitudinales de 950 mm en cubierta. Disponía de dos mamparos longitudinales planos y los mamparos transversales eran del tipo corrugado. El acero estructural del *Prestige* era un acero suave de tensión de fluencia 2.400 kg/cm².

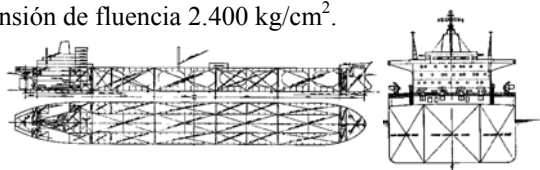


Fig.1- Disposición tanques *Prestige*

Transportaba 76.973 t de fuel pesado tipo M-100, que pertenecía a la empresa de capital ruso *Crown*, registrada en Gibraltar y estaba distribuido de acuerdo al esquema adjunto (fuente: *American Bureau of Shipping*).

Tanks	Tank capacity (tonne)	Cargo for the last voyage (tonne)
No. 1 C/W	22,319	20,155
No.2 C/W	19,355	19,004
No.3 C	11,979	11,819
No. 4 C/W	22,281	22,045
Slop Tank W	3,983	3,950
Total	79,917	76,973

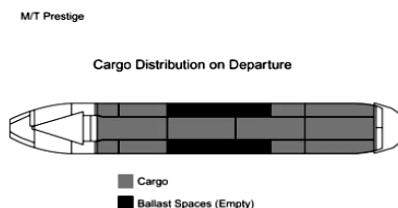


Fig.2 – Condición de carga *Prestige*

El fuel es un residuo de la destilación del crudo, producto refinado de lenta degradación. El fuel pesado del *Prestige*, combustible industrial (*bunker oil C*), está compuesto sobre todo de hidrocarburos alifáticos no saturados (olefinas) y otros componentes como azufre (2,58%), ácidos grasos, fenoles, nitrógeno y metales pesados, de toxicidad también alta.

3. CRONOLOGÍA DEL DESASTRE

□ **5 de noviembre:** el *Prestige* parte del Puerto de Riga, capital de Letonia, con 27 tripulantes.

□ **13 de noviembre:** a 28 millas de Fisterra se produce la inundación de los 2 tanques de lastre vacíos de estribor próximos a la maestra por una vía de agua y adquiere una importante escora, el barco queda a la deriva. A las 15:15 h lanza un SOS y 1 h después parte de la tripulación (24) es evacuada en helicóptero. A las 20 h Smit Co. se hace cargo del rescate. Aparece un primer vertido de fuel estimado en 6.000 t.

□ **14 de noviembre:** el barco deriva hacia el sureste y se acerca a menos de 4 millas de Muxía. Se encienden los motores auxiliares y es remolcado hacia el norte a unos 6 nudos. Se aprecia una grieta de 10-15 m que afecta a los 2 tanques del costado de estribor (3s,2as). Se corrige en parte la escora contra-inundando los tanques de babor correspondientes.

□ **15 de noviembre:** a las 8 horas estando el barco a 65 millas de la costa se cambia el rumbo al sur. La grieta del casco progresa por encima de los 40 m. Se apagan los motores a mediodía. El capitán y la restante tripulación son evacuados.

□ **16 de noviembre:** continua el remolque hacia el sur a 1 nudo y a 50 millas de la costa. Vaciado del tanque 4s. Nuevo vertido estimado en 4.000 t. Llega la 1ª marea negra contaminando 190 km de costa.

□ **17 de noviembre:** se encuentra a la altura de Corrubedo a unas 60 millas de la costa y rompe otro tanque produciendo nuevas manchas de fuel.

□ **18 de noviembre:** al alcanzar aguas portuguesas a 100 millas de la costa es obligado a virar de nuevo al norte. Los daños afectan a la cubierta, cae el palo de estribor. Surgen nuevos derrames procedentes del tanque 3c.

□ **19 de noviembre:** a las 8 am el *Prestige* rompe por la maestra a 133 millas de Finisterre, la popa se hunde a las 12 pm y unas 4 horas después la proa. La fractura daña otros tanques y se producen nuevos vertidos estimados entre 5.000 y 11.000 t.

Primeros daños

El primer signo apreciable (13/10/2003) fue la inundación de dos tanques de lastre del costado de estribor por un fallo en el forro externo del costado, concretamente en el trancanil, en la cuaderna 71 próxima a la maestra y en la unión de un mamparo transversal con el costado, a la altura de la cubierta. Inundación que provoca una escora del buque de unos 25° a estribor e induce un aumento importante del momento flector máximo en la maestra.

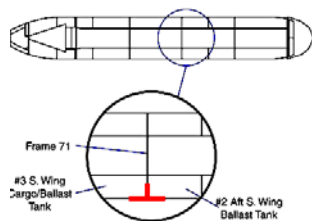


Fig. 3- Daños en el Prestige

La maniobra de contra-inundación ordenada por el capitán del *Prestige* supuso un aumento del momento flector vertical, pasando de la situación de quebranto a la de arrufo.

La fractura y el hundimiento

Parece ser que en la zona del daño se apreció una grieta inicial que progresó hasta alcanzar los cerca de 40 m en sólo 2 días, con la pérdida de varias tracas del forro exterior de costado y de cubierta. Daños iniciales que progresaron, en gran parte por la acción, sobre una estructura dañada con pérdida de módulo y resistencia, de la mar y la carga y, probablemente también, de las solicitaciones inducidas en las posteriores operaciones de adrizamiento y remolque del buque, hasta producir la rotura de tanques y su fractura final en dos semicuerpos.

En resumen, después de 6 días, en los que se realizaron operaciones de adrizamiento y de remolque, a las 8 h del 19/10/02 el buque partió por la maestra y se hundió en menos de cuatro horas. En el impacto con el lecho marino se produjeron serios daños estructurales. Los pecios aparecieron separados unos 3.700 m, a 3.820 m

de profundidad el de proa y 3.545 m el de popa sobre un talud.

4. ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD ESTRUCTURAL

La **resistencia última** del buque viga corresponde a la máxima capacidad de flexión que superada dará lugar a la fractura, que vendrá determinada por el momento flector vertical en cubierta con el buque sobre la ola.

Resistencia longitudinal del buque

La resistencia longitudinal del barco como viga a flexión queda determinada principalmente por el momento flector longitudinal máximo. Es la sollicitación básica en barcos convencionales de estructura longitudinal con esloras medias y grandes.

En la condición de aguas tranquilas los momentos flectores y las fuerzas cortantes que se originan son debidos a la desigual distribución de pesos y de empujes en cada sección transversal a lo largo de la eslora.

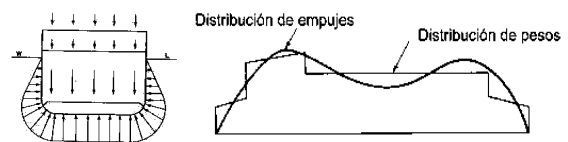


Fig. 4 – Cargas transversales y longitudinales

De acuerdo al planteamiento clásico estándar para el cálculo de la resistencia longitudinal en olas regulares, el barco se considera como una viga en equilibrio sobre una ola trocoidal de longitud igual a la eslora, con la cresta o el seno en la cuaderna maestra; es decir, en las situaciones de quebranto y de arrufo.

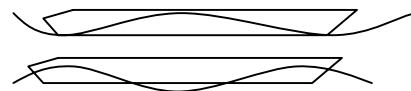


Fig. 5 – Quebranto y arrufo

A continuación, con la metodología típica de Arquitectura Naval, se determinan las curvas de distribución longitudinal de pesos y de empujes (a partir de las *curvas de Bonjean* o de áreas sumergidas de cada sección). Y por integración de la distribución de cargas resultante se obtiene la de la fuerza cortante e integrando ésta, la distribución del momento flector.

$$F = \int (g A - mg) dx; \quad M = \int F dx$$

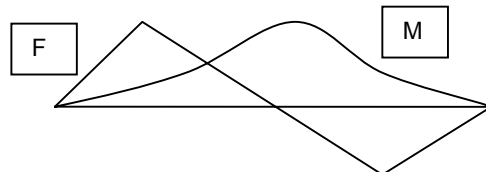


Fig. 6 – Curvas momento y cortante

Curvas típicas del momento flector y la fuerza cortante son las esquematizadas en la figura, en donde puede apreciarse que el cortante tiene su valor máximo a un cuarto de la eslora desde los extremos mientras que el momento flector lo tiene aprox. en la maestra y ambos se anulan en los extremos.

De esta forma y de acuerdo a la teoría de la flexión de Navier, conociendo el módulo de la sección recta podemos obtener la respuesta; es decir, las tensiones que se producen, que serán máximas en fondo y cubierta, y que determinan su resistencia longitudinal.

$$\text{Tensión} = \text{Momento flector} / \text{Módulo de la sección}$$

Otras solicitaciones globales del buque-viga son la fuerza cortante, el momento flector horizontal y la torsión respecto del eje de crujía, generalmente de menor entidad en buques monocasco que las locales.

En mares irregulares los momentos flectores y fuerzas cortantes pueden representarse mediante los operadores de amplitud de la respuesta (RAO) y los espectros de energía, de la misma manera que son utilizados para la respuesta en movimientos del barco.

Características resistentes del *Prestige*

Los momentos flectores de Reglamento (ref.3), son: en aguas tranquilas= 180.375 t.m y en olas(*)= 292.375 t.m; obtenido de acuerdo a la siguiente expresión :

$$\text{MF olas} = 190 C L^2 B C_b 10^{-3} \text{ kNm}; \text{ siendo:}$$

L la eslora, B la manga, C_b el coeficiente de bloque y la constante $C = 10.75 - [(300-L)/100]^{1.5}$

(*) La altura de ola considerada es función de la eslora e igual a: $0,607 L^{0,5}$, que en el caso del *Prestige* da un valor de 11,8 m.

El *Prestige* antes del accidente tenía un módulo de la sección estimado en cubierta: $304.973 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$; valor que fue corregido en mayo de 2001 a: $296.740 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$, y en el fondo: $326.098 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$ Siendo el módulo resistente de la sección requerido de: $284.302 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$

Después de los daños puede estimarse el módulo en:
- Con pérdida de planchas del costado: $281.421 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$
- También con pérdida de planchas en cubierta: $226.600 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$

Por otro lado, de acuerdo a los cálculos realizados por el ABS (ref.2) y considerando que el IMN, informó que la fuerza del viento en la zona y día del accidente era de grado 8, el momento flector total en la maestra en las diferentes situaciones, es el siguiente.

- Buque intacto: 271.262 t m
- Con el tanque de estribor inundado: 442.988 t m
- Con el tanque de babor también inundado: 497.105 tm

De esta forma podemos concluir que después de los daños, la resistencia última residual era próxima a las

50.000 t.m, tomando como referencia la tensión de fluencia, si bien había superado la de reglamento. La **resistencia última al pandeo** no se ha considerado al ser su tensión crítica un 13% superior a la tensión de fluencia.

Otras cargas a considerar: a estas cargas globales deben superponerse otras de carácter local que también concurren en el accidente, tales como:

- **El chapoteo de la carga (sloshing)**

Produce fuertes impactos sobre la parte interna superior del costado de los tanques.

- **Cargas de impacto de las olas con el costado**

Pueden estimarse considerando la siguiente altura de ola en función del período T: $H = 0,02 g T^2$

- **Fatiga-corrosión**

Se supone la pérdida de 1 mm de espesor en todos los elementos estructurales en el cálculo del módulo de la sección por la acción del ambiente corrosivo. Estimándose su influencia en una pérdida del 5% del módulo resistente.

Aunque, también pudo tener lugar una corrosión acelerada en determinadas zonas locales, como en la de unión entre los refuerzos longitudinales y los mamparos transversales. Las grietas por corrosión y fatiga más comunes en barcos de estructura longitudinal tienen lugar en esas zonas de unión. La resistencia a fatiga se evalúa utilizando curvas S-N estándares.

Fractura final

En resumen, puede afirmarse que la rotura del *Prestige* por la maestra fue consecuencia de la progresiva degradación de la estructura sometida a fallos estructurales internos (corrosión-fatiga, grietas, desprendimiento de tracas del costado) y a diferentes solicitaciones (impactos de las olas y de la carga), que en definitiva agotaron su resistencia residual.

Los fallos estructurales internos es el tipo de accidente quizá más frecuente de los que actualmente producen vertidos de petróleo al mar. Y entre ellos destaca el fallo por **corrosión-fatiga**, proceso en el que la flexión que se produce en el casco por el paso de las olas, es un factor primordial junto con la acción del ambiente marino, la edad y el mantenimiento de la estructura.

Su prevención, como se desarrolla en el siguiente apartado, está basada en un correcto diseño estructural con atención al detalle utilizando en su análisis los métodos y las herramientas adecuadas, un correcto manejo de la carga que no provoque tensiones superiores a las de diseño, así como un control de la corrosión, factor muy frecuentemente asociado a este tipo de fallos. También la *monitorización permanente* de la estructura puede aportar una nueva línea en la prevención de estos fallos.

5. MEDIDAS PREVENTIVAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Existen dos alternativas básicas para minimizar los vertidos al mar procedentes de petroleros desde el punto de vista del diseño estructural:

A/ Disminuir la probabilidad de que rompa la estructura de tanques como resultado de un accidente.

B/ Reducir la cantidad vertida una vez que se ha producido la rotura.

La primera acción puede consistir simplemente en situar áreas de protección, tanques de lastre, en las zonas más proclives a sufrir accidentes en un abordaje o en una varada. Pero para lograr una mayor eficacia en esta reducción, es necesario transformar el concepto de casco sencillo y optar por una doble barrera de protección de la carga, con el doble costado, fondo o casco. Ya que con el concepto monocasco, un simple aumento de su resistencia estructural no es suficiente para absorber toda la energía liberada en un accidente.

La segunda consiste en utilizar los mecanismos que inciden en la pérdida de carga, como el balance de presiones entre el agua de mar correspondiente al calado y la altura de carga. Puede actuarse sobre los niveles y las condiciones de carga, así como en la disposición de los tanques. En esta línea la *Convención MARPOL 73/78*, puesta en práctica en 1982, para prevenir la contaminación en los buques monocasco, pone el énfasis en dos medidas: los tanques de lastre segregados y disminuir la capacidad máxima de los tanques.

Alternativas al casco sencillo

Entre las diferentes alternativas estructurales al monocasco convencional, pueden destacarse:

- Doble casco, doble costado o doble fondo
- Doble costado y cubierta intermedia

El **doble casco** rodea toda la zona de tanques con un espacio vacío de 2 a 3 m, poniendo una doble barrera de acero entre la carga y el mar.

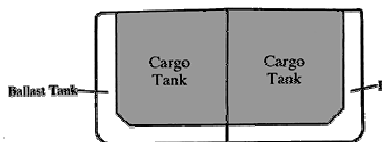


Fig. 7 – Esquema doble casco

Dentro de la solución doble casco existen diferentes opciones de disposición estructural en la zona de tanques:

- ✓ Con o sin mamparo longitudinal, quilla vertical.
- ✓ Con uno o dos mamparos longitudinales.
- ✓ Con o sin mamparos transversales.

Para su selección, con el objetivo de producir la mínima contaminación marina en caso de accidente, es necesario realizar un análisis comparativo de los

posibles flujos de salida en los diferentes escenarios, de varada y abordaje, colisión, posibles. Se estima de acuerdo con los datos de la Organización Marítima Internacional (OMI) que el doble casco hubiera evitado más del 60% de todas las varadas que produjeron vertidos al mar. El coste de construcción del doble casco se sitúa entre un 20-30% por encima del monocasco.

La **cubierta intermedia con doble costado**, también denominada cubierta intermedia estanca al petróleo (IOTD), dispone de un doble costado en toda la zona de cántara, de 4 a 5 m de ancho, que separa los tanques de carga del forro exterior. La parte inferior de la zona de tanques se encuentra desprotegida y está en contacto directo con las tracas del fondo. Sin embargo, los tanques de carga están divididos por una cubierta intermedia estanca al crudo. La altura de esta cubierta será tal que en el caso de un daño en el fondo, la presión externa del agua sea superior a la altura de carga en estos tanques bajos, por lo que el crudo permanecerá en el interior del buque sin vertidos al exterior.

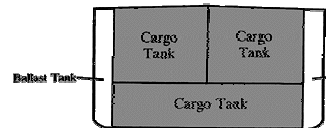


Fig. 8– Esquema de la cubierta intermedia

Si bien en ciertos escenarios de accidente, tales como abordajes, colisiones y varadas de alta energía, esta alternativa ofrece mejores resultados que el doble casco, no ha sido admitida por el USCG.

Puede mencionarse otra alternativa, aprobada por la OMI en 1997, con sistemas de transferencia de carga de emergencia y que surge como una variante de la cubierta intermedia aunque con importantes diferencias.

El diseño estructural en prevención de la contaminación marina

El diseño estructural en prevención de la contaminación marina evalúa las potenciales consecuencias en diferentes escenarios de accidente probables, como un abordaje o varada, es decir, analiza la respuesta estructural y el flujo derramado o vertido, cada uno con una determinada probabilidad de ocurrencia. También considera el análisis de la *resistencia residual del casco* una vez dañado tras el accidente, así como la posible pérdida de su integridad estanca y, finalmente, su impacto ambiental.

El proceso requiere definir un *criterio de daño admisible*, ya sea determinístico o probabilístico, en cuanto a la extensión del daño, el flujo de carga permitido, la resistencia residual del buque dañado y su reserva de estabilidad en averías.

El diseño estructural debe analizar la respuesta y las consecuencias de un accidente en la estructura de tanques, en su resistencia y rigidez, ya sea a causa de

una varada afectando principalmente a la estructura del fondo, como de un abordaje o colisión que afectará esencialmente a la estructura de costado. Con este fin existen diferentes herramientas de cálculo, tales como fórmulas empíricas, métodos analíticos simplificados, simulación mediante técnicas numéricas y, ensayos en canal y a plena escala.

La clave del proceso se encuentra en determinar si la estructura será *capaz de absorber* por deformación esta energía interna inducida en el accidente, sin entrar en un estado límite que haga peligrar su integridad estructural, poniendo la carga en contacto con la mar.

La *simulación del comportamiento* o respuesta de la compleja estructura de un petrolero en los diferentes escenarios de accidente posibles, constituye una herramienta fundamental del diseño preventivo de la contaminación marina. El análisis mediante técnicas numéricas y ayuda del ordenador, debe contemplar las grandes deformaciones y no linealidades del fenómeno, así como la utilización de elementos de contacto. De forma que permita analizar los diferentes estados últimos que puede presentar la estructura, tales como: el colapso plástico, la abolladura con fluencia, la fatiga y la fractura. El modelo estructural utilizado debe ser muy denso de malla muy fina, con cerca del millón de elementos.

Ensayos en la ETSIN

En el año 1991, el **Canal de la ETSIN** desarrolló unos ensayos de derrame, por encargo de Astilleros Españoles S.A. en el desarrollo del diseño del petrolero de doble casco *E3-ECOTANKER*. Trabajo que fue presentado en diferentes grupos de trabajo sobre diseño de petroleros organizados en el período 1990-2 por la OMI, para el estudio de las diferentes alternativas al casco sencillo.

Se utilizó un modelo en metacrilato de un tanque de carga a escala 1:100, simulando en piscina de cristal, para su observación y grabación para el posterior análisis, diferentes disposiciones estructurales, condiciones de carga y tipos de daño al forro exterior e interior.

6. CONCLUSIONES

El tema en debate. Se trata de saber si el buque tras los primeros daños, cuando solicitó auxilio, tenía suficiente reserva de resistencia estructural para acercarle a aguas protegidas así como para absorber las cargas derivadas de su remolque a aguas abiertas. Que determinaría la operación con menos riesgo para su fractura y el consecuente vertido de hidrocarburos a la mar.

También puede formularse mediante la siguiente cuestión: ¿el daño inicial en el costado de estribor era suficiente para partirlo o fue consecuencia del posterior

remolque por aguas abiertas? Debate con implicaciones legales, económicas y políticas, en las que aquí lógicamente no entramos, tratando únicamente de aportar un poco de luz al asunto desde el punto de vista de la *integridad estructural* en accidentes de petroleros y contribuir a disminuir sus efectos contaminantes. En la idea de que gran parte de las respuestas a las cuestiones planteadas se encuentra en el análisis del comportamiento de su estructura bajo las diferentes hipótesis de daño posibles, para saber si superarán su límite de resistencia con antelación a los hechos.

En los nuevos conceptos alternativos al petrolero monocasco como es el doble casco, hemos visto como la inspección y el mantenimiento recobran una extraordinaria importancia en la prevención de accidentes, que requiere un estudio detallado de la accesibilidad en todos los espacios del doble casco. Y, por otro lado, la solicitud por fatiga y corrosión resalta la importancia del análisis del detalle estructural, que exige la utilización de herramientas y métodos avanzados y, en este sentido, la simulación por ordenador es una herramienta fundamental.

El doble casco no es el final de la contaminación de los petroleros, en muchos accidentes la energía inducida es suficiente para romper las barreras estructurales impuestas entre la carga y el mar. La capacidad de absorción de la estructura sin sufrir daños tiene un límite, y en consecuencia, todas las alternativas son vulnerables.

No existe una solución total a los vertidos de crudo con origen en accidentes de los buques petroleros. La eficacia de la lucha contra la contaminación marina por esta causa reside no sólo en medidas de diseño, sino también y principalmente en la aplicación de un gran número de medidas y estrategias operativas con el objetivo de prevenir los accidentes y reducir sus nefastos efectos económicos, ecológicos y sociales. Y también quizás con un replanteamiento de la política energética actual.

REFERENCIAS

- 1- *El diseño estructural de petroleros y la prevención de la contaminación marina.* Ignacio Diez de Ulzurrun R., Miguel A. Herreros S.. Revista de Ingeniería Naval, abril de 2003.
- 2- ABS. *Technical analyses related to the Prestige casualty on 13 nov. 2002.* Febr. 2003.
- 3- IACS. *Unified requirements concerning strength of ships.* Int. Association on Classification Societies, 2001.

Referencias Internet:

www.etsin.upm.es; www.imo.org; www.eagle.org;
www.csic.es; www.lavozdegalicia.es; www.elmundo.es;
www.intertanko.es; www.ifremer.fr; [://europa.eu.int/](http://europa.eu.int/);
www.izar.es; www.greenpeace.org; www.le-cedre.fr