

**COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR
HUNDIMIENTO DEL PRESTIGE**

INFORME SOBRE NEUTRALIZACIÓN DEL PECIO

RESUMEN

13 Febrero de 2003

1. Introducción

El Comité Científico Asesor (CCA), creado el 9 de diciembre de 2002, ha dirigido sus esfuerzos de forma inmediata al seguimiento y control de las tareas de sellado de las fugas del M/T *Prestige* con objeto de disminuir al máximo el escape de fuel-oil del buque y, en paralelo, al análisis y valoración de las distintas opciones para neutralizar el problema de forma permanente.

Para elaborar este documento se ha tenido en cuenta la información obtenida a través de investigadores y técnicos nacionales y extranjeros, empresas, suministradores, entidades y organismos públicos y privados, profesionales y particulares a título personal, por cuyas contribuciones les expresamos nuestro agradecimiento.

2. El Prestige

La narración de los hechos que se reseñan en este apartado se basa en información recogida de distintas fuentes oficiales y son anteriores a la constitución del Comité Científico Asesor.

El barco

El buque *Prestige* fue construido en 1976 por la factoría de Maizuru de los astilleros Hitachi Shipbuilding & Engineering Co. Ltd. de Japón, tuvo el número de construcción 4437 y fue clasificado por el American Bureau of Shipping (ABS). Era el tercer buque de una serie de seis petroleros de casco sencillo tipo pre-MARPOL, de los cuales no quedaba en servicio más que este. El buque estaba autorizado para operar como petrolero para transporte de crudo según el esquema de “carga equilibrada hidrostáticamente” (HBL) o como petrolero para transporte de productos en la modalidad “con tanques de lastre limpio” (CBT) hasta el 11 de marzo de 2005, según la regla 13G del MARPOL.

La carga

El producto transportado por el *Prestige* era un fuel-oil pesado, del tipo M-100 (terminología rusa), N°. 6 (terminología anglosajona) o N°. 2 (terminología francesa). Se trata de un producto residual de destilación del petróleo, sometido a tratamiento térmico (“visbreaking”) y/o mezcla con algún destilado ligero (“cutter stock”) para reducir su viscosidad. La carta de transporte especifica una densidad de 992,1 kg/m³ a 15°C (11,04° API) y una viscosidad de 615 cSt a 50°C. Medidas efectuadas por el CEDRE¹ sobre una muestra de referencia indican 995 kg/m³ y 30.000 cSt a 15°C. Ensayos encargados por el CCA con muestras tomadas en el pecio han determinado la densidad² a 3°C y 350 atm.: 1.012 kg/m³ Su composición es: Carbono, 85,8 %; Hidrogeno, 11,0 %; Azufre, 2,28 % y Nitrogeno, 0,69 %³. Contiene un 22% de hidrocarburos saturados, 50% de hidrocarburos aromáticos y un 28% de resinas y asfaltenos. Se trata, de un

¹ (<http://www.le-cedre.fr>).

² (<http://www.ifremer.fr/envlit/prestige>).

³ (<http://csicprestige.iim.csic.es>).

residuo de tipo naften-aromático. La concentración de los 16 hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) prioritarios de la EPA⁴ es de 1.264 mg/kg, con un índice de toxicidad⁵ equivalente de 49,7. Forma fácilmente emulsiones en el mar, con contenidos del 45-50% de agua. A los dos meses de permanencia en el mar, las pérdidas por evaporación y disolución, no alcanzan el 5%. Su biodegradabilidad en el medio es desconocida, pero se estima no superior al 10% en los primeros meses.

El hundimiento

A las 14:15 UTC del 13 de Noviembre, navegando a unas 30 millas frente a la costa de Finisterre con olas de 8 m, el buque lanza un SOS de peligro indefinido seguido, dos minutos después, de un “mayday” pidiendo la evacuación de la tripulación ya que el buque “está muy escorado y tiene riesgo de hundimiento. Tras varios días de remolque, el buque se parte en dos a las 07:00 UTC del día 19, hundiéndose primero la parte de popa a las 10:45 UTC en la posición 42° 12,6' N 012° 03,0' W y luego la de proa a las 15:18 UTC en la posición 42° 10,8' N 012° 03,6' W.

Tanto en la parte de proa como en la de popa, al iniciarse el hundimiento la zona de la rotura quedó mirando hacia el fondo marino, adoptando los restos una posición casi vertical debido a estar vacíos los espacios de lastre, piques de proa y popa, y al gran volumen de la cámara de máquinas. Sin embargo, poco después estos espacios tuvieron que empezar a inundarse por los troncos de ventilación y los reboses de los tanques, cuyas válvulas no están diseñadas para soportar valores de presión de varias atmósferas.

Asimismo, la estructura, las tuberías de lastre y de carga y sus válvulas están diseñadas para soportar unas presiones del orden de magnitud de 20 a 30 m de columna de agua, por lo que, prácticamente nada más iniciarse el descenso, tuvieron que producirse los primeros fallos en las válvulas y la estructura, dando lugar a un equilibrado de las presiones internas y externas. En aquellos espacios en los que no hubiera facilidad para evacuar el aire embolsado, se debieron producir colapsos estructurales que acabaron equilibrando las presiones.

Una vez inundados los piques y la cámara de máquinas, la posición de los centros de gravedad de los conjuntos cambió, girando sobre sí mismos, dando una media vuelta incompleta e impactando finalmente en el fondo, la proa con la parte baja del bulbo y la zona de popa con el talón del codaste, doblándolo y perdiendo el timón. En ambos casos el impacto fue de gran intensidad originando, además de las fuerzas inerciales de la carga dentro de los tanques, una onda de presión que pudo provocar el fallo de algún mamparo transversal, como es prácticamente seguro que sucediera con el de la cuaderna 51 que separa el tanque 4C y los 5B y 5E de la cámara de bombas y dando lugar presumiblemente a la inundación de ésta con fuel-oil.

La asimetría del impacto debida a la pendiente del fondo queda de manifiesto en las deformaciones que se aprecian en el bulbo, en el codaste y en el costado en la zona de los “cofferdams” contiguos a los tanques de carga. Aparte de los daños de la estructura

⁴ PAHs prioritarios: Naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, criseno, benz[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, benzo[a]pireno, dibenzo[ah]antraceno, indeno[123-cd]pireno, benzo[ghi]perileno.

⁵ Toxicidad equivalente = $\Sigma(\text{Índice de toxicidad de cada PAH} \times \text{Concentración en el fuel-oil})$. La carga de toxicidad equivalente del fuel-oil del *Erika* era de 165,8.

en la zona de la rotura, otros daños que se aprecian son pliegues transversales en la cubierta y hundimientos de ésta en amplias zonas.

Posición del pecio

La parte de proa, situada en su posición natural y prácticamente horizontal, se encuentra en las coordenadas 42° 10,6' N y 012° 03,8' W, con orientación SO en una zona de pendiente moderada (10%) sobre una capa de sedimento muy fino de espesor no determinado a una profundidad de 3.830 m. La parte de popa se encuentra en las coordenadas 42° 12,37' N y 012° 02,93' W, también en su posición natural, en una ladera cuya pendiente es aproximadamente del 30%, apoyada contra una formación rocosa por el lado de estribor de la zona de rotura, habiendo huellas de deslizamiento sobre el fondo antes de quedar en su situación final. La profundidad media a la que se encuentra esta parte es de 3.565 m. La zona del hundimiento se encuentra al Sur del Banco de Galicia y al Oeste de una cresta orientada de Norte a Sur cerrando un valle de gran profundidad. El suelo está formado por rocas areniscas, recubiertas de sedimento blanco muy fino (posiblemente carbonato cálcico), de origen biológico. La temperatura del agua es de 2,6° C. La concentración de oxígeno es de 5,4 mL/L, la presión parcial de CO₂ es de 0,1 atm, y la presión hidrostática es de 365 atm en la parte de popa y de 393 atm en la de proa⁶.

Fugas

Debido a la enorme presión existente, las juntas de neopreno con alma deformable de las puertas estancas y de las tapas de escotilla de los tanques se comprimieron, perdiéndose la estanqueidad y dando lugar a fugas de fuel-oil por siete de estos elementos. En otros cinco casos, debido a las profundas deformaciones estructurales locales, se produjeron grietas. En cuatro casos, se trata de tapas de registro que desaparecieron originando otras tantas fugas. Dos más, corresponden a troncos de ventilación y las dos restantes corresponden al cilindro de más a proa de las bitas situadas en el extremo de proa de la cubierta principal. El conjunto supone un total de 20 fugas entre las partes de proa y popa.

3. La primera fase de la neutralización: Obturación de fugas

A primeros de diciembre y mediante la Sociedad Estatal de Salvamento y Seguridad Marítima (SASEMAR), se contrata a IFREMER/GENAVIR para que se realicen inmersiones con su batiscafo *Nautile* al objeto de localizar el pecio y observar su estado. La primera campaña se prolonga entre el 1 y el 9 de Diciembre en que vuelve a Vigo el buque nodriza del *Nautile*, *L'Atalante*.

El CCA para el hundimiento del *Prestige* se constituye ese mismo día (9 de Diciembre) y se celebra una reunión al día siguiente en la que se estudian los datos recogidos por los observadores desde el *Nautile*. En esta primera campaña se identificaron 14 fugas cuyo caudal conjunto se estimó en 125 t/día⁷. Analizados esos resultados, el CCA

⁶ CCA Prestige: "Informe preliminar sobre la corrosión del casco", Madrid, Enero 2003; <http://www.ccaprestige.es>

⁷ Al estar la cubierta parcialmente bloqueada por restos del naufragio que dificultaron la observación, solo se identificaron 14 fugas a esa fecha.

aconsejó iniciar una segunda campaña para medir la temperatura del fuel en las fugas y ensayar la obturación de una de ellas.

La segunda campaña se efectuó entre los días 11 y 16 de Diciembre, realizándose solamente dos inmersiones efectivas en las que los objetivos previstos fueron cubiertos con éxito. Los resultados se evaluaron el mismo día 16, estudiándose y analizándose varias propuestas para obturar las fugas como una primera fase absolutamente necesaria e inmediata, dirigida a frenar el vertido de fuel-oil de los tanques del *Prestige*. El 18 de diciembre, el CCA, después de analizar distintas propuestas, aconseja al Gobierno que esta obturación de fugas sea abordada por IFREMER/GENAVIR, utilizando el batiscafo *Nautille*.

Hasta el momento de realizar este informe se han completado siete campañas y está en curso la octava⁸. Se han realizado 30 inmersiones con una duración de trabajo en el fondo comprendida entre un máximo de 6h 15m y un mínimo de 1h 45m.

Las técnicas de obturación seguidas según el tipo de fuga han sido las siguientes:

- Tapas de escotilla: Cierre completo de la tapa girando el volante de cierre.
- Escotillones con tapa de bisagra: Recolocación de la tapa y afirmado con sacos de granalla.
- Grietas en cubierta: Colocación de sacos de granalla / barita.
- Registros abiertos: Tapa de acero con brazos articulados ajustables.
- Bitas en proa: Campana lastrada con sacos de granalla
- Válvula de regulación de gas inerte en proa: Saco de lona especial ajustado por la parte inferior.

La estimación total de flujos remanentes, actualizada a 30 de enero, es del orden de 2 t/día, significativamente inferior a lo esperado en el momento de acometer esta primera fase.

4. Planteamiento de la fase de neutralización

Al estudiar los informes de la primera campaña del *Nautille* se comprobó que era necesario dividir el trabajo en dos fases. Una primera de actuación inmediata para limitar al máximo y tan pronto como fuera posible la contaminación provocada por los escapes de fuel-oil desde el pecio. La segunda sería una fase de neutralización definitiva, que debido a su gran complejidad, requeriría un estudio exhaustivo y una planificación cuidadosa. Esta solución supone un importante reto tecnológico, pues hasta la fecha no se ha realizado nada igual en el mundo, por lo que los riesgos pueden ser importantes.

⁸ Entendemos por campaña la que corresponde a la actividad desarrollada saliendo de Vigo y volviendo al mismo puerto, sobre la zona del pecio, con un número variable de inmersiones.

La experiencia adquirida *in situ* en la primera fase de la neutralización demuestra que dados los problemas que supone el trabajo a la profundidad del pecio, y las condiciones de la mar en la zona de trabajo, es muy importante que las soluciones a contemplar cumplan los siguientes requisitos:

- Las soluciones propuestas deben ser sencillas y preferiblemente probadas en cuanto a su eficacia (aunque no sea a la profundidad del pecio). En su caso se deberá demostrar que son factibles antes de que se adopten como opción a realizar.
- Es muy relevante que el plazo para la puesta en práctica de la solución adoptada sea lo más inmediato posible, pues el período en el que las condiciones de la mar en la zona son benignas es corto y centrado alrededor del verano-otoño. Alternativamente, deberán contemplarse algunas soluciones que puedan realizarse bajo condiciones climáticas más severas.
- Es de importancia crucial conseguir que el riesgo de contaminación a corto y largo plazo, asociado a la realización de la solución propuesta, sea el mínimo posible, por lo que este aspecto puede ser determinante en la adopción de una u otra solución.
- Las empresas que se encarguen de llevar a cabo el proyecto deben mostrar alta capacidad y experiencia en trabajos parecidos. Esta situación, sin precedentes, exige la participación de empresas líderes a nivel internacional en las tecnologías que integren la solución.
- Este análisis no ha considerado como limitación determinante, el costo económico de la solución a adoptar, orientándose únicamente por la factibilidad y efectividad de las soluciones estudiadas.

Un dato de la máxima importancia, a la hora de considerar la solución mas apropiada para la neutralización definitiva del pecio, es la cantidad de fuel-oil que todavía permanece, a día de hoy, en los tanques del *Prestige*. El día 8 de enero se estimó una cantidad aproximada de 50.000 t. Posteriores análisis nos llevan a **estimar que la cantidad de fuel-oil remanente en los tanques del buque, es del orden de 37.500 t.** Uno de los datos más significativos del nuevo cálculo fue obtenido el día 26 de enero por sondeo, a través de los registros para la máquina de limpieza (butterworth) que estaban abiertos en los tanques 4C y 4B de la popa (inclinada 15° de popa a proa y entre 12° y 15° en el sentido de babor a estribor). La sonda que se introdujo, de una longitud aproximada de un metro, salió limpia, lo que permitió comprobar que el nivel de fuel-oil en esos tanques es sensiblemente inferior al supuesto en los cálculos anteriores.

La Tabla siguiente detalla la nueva estimación tras el hundimiento del buque y, por tanto, sin contar las 16.884 toneladas que debía haber en los tanques 3C y 4E y que fueron vertidas antes del hundimiento.

Tanque	Carga inicial en los tanques⁹	Fuel remanente
1E	6.710	5.013
1B	6.603	4.750
1C	6.841	5.935
2C	11.768	8.779
2BPr	3.588	3.588
2EPr	3.648	3.307
proa	39.158	31.841
4C	11.921	2.391
4B	5.059	200
5B	1.980	1.216
5E	1.970	1.869
popa	20.930	5.676
total	60.088	37.517

En cualquier caso, dada la inclinación de la parte de popa, en las exploraciones previas a la fase operativa de neutralización se deberá realizar un sondeo de todos los tanques, utilizando los correspondientes Remotely Operated Vehicle (R.O.V.) de trabajo, para intentar verificar con mayor fiabilidad los datos que sustentan estas estimaciones.

5. Soluciones propuestas

El CCA ha considerado las informaciones de accidentes similares anteriores (*Erika*, *Estonia*, *Nakhodka*, etc...), analizado las tecnologías marinas existentes y mantenido numerosas reuniones con diversas empresas nacionales e internacionales y expertos del sector con experiencia en recuperaciones de vertidos submarinos.

No existen precedentes de recuperación de una cantidad de fuel-oil similar (aproximadamente 37.500 t) a esta profundidad (3.830 m). El caso más próximo fue el del *Erika* (11.000 t a 125 m), hundido en 1999 frente a las costas francesas de Bretaña. En el caso del *Nakhodka* (19.000 t), hundido en Enero de 1997, a 55 millas al Noreste de las Islas Oki en el Mar de Japón y 2.500 metros de profundidad, que vertía a razón de 3-15 t/día, las autoridades japonesas renunciaron a cualquier tipo de intervención ya que concluyeron que no existía tecnología disponible en ese momento para intentar la extracción del fuel-oil.

Se han evaluado las siguientes opciones, con múltiples variantes en cada una de ellas:

⁹ Corresponde a la carga nominal del buque **SIN los tanques perdidos** en el momento del hundimiento: 3C y 4E

- **Confinamiento**
 - Enterramiento en arcilla/grava (cubrimiento).
 - Cubrimiento con clatrato de dióxido de carbono.
 - Cofre de hormigón.
 - Cofre de acero.
 - Hormigón proyectado.

- **Desnaturalización**
 - Polimerización de los compuestos olefinicos.
 - Incineración.
 - Biodegradación.

- **Reflotamiento**
 - Barcazas.
 - Flotadores.

- **Extracción**
 - Controlada.
 - Sin control.

Cada opción fue evaluada atendiendo a los siguientes criterios: antecedentes a esas profundidades, experiencia probada, tecnologías implicadas, viabilidad técnica, constructiva y de instalación, plazo de ejecución, riesgos potenciales y coste estimado.

Realizado el proceso de evaluación se proponen las soluciones siguientes:

Solución recomendada: Recuperación del fuel-oil mediante bombeo.
Solución alternativa: Confinamiento del pecio en cofres rígidos.

Para ambas soluciones, son necesarios estudios previos de viabilidad que deben comenzarse simultáneamente. Aunque **se recomienda el bombeo**, si el estudio de viabilidad arrojara dudas razonables sobre el éxito de esta solución, y se adoptara **la solución alternativa (confinamiento en cofres)**, convendría disponer del estudio previo que permita valorar las posibilidades de esa segunda solución sin demora.

6. Recuperación mediante bombeo

Se ha elegido esta opción por el éxito con que se llevó a cabo una intervención similar en el caso del *Erika* y porque se elimina totalmente el riesgo que supone el fuel-oil que permanece en el pecio. Sin embargo, es importante señalar que, en el caso del *Erika*, las condiciones eran más favorables (menor profundidad y menor cantidad de fuel-oil con menor viscosidad). Desde entonces, la tecnología “off-shore” (de perforación y explotación de yacimientos petrolíferos submarinos) ha progresado, permitiendo intervenir hasta los 2.500 m. de profundidad. No obstante, las dificultades de esta opción residen en los siguientes aspectos :

- La operación ha de efectuarse necesariamente con robots o vehículos operados a distancia, R.O.V.s, y éstos deben ser adaptados para poder trabajar a la profundidad del pecio del *Prestige*. Aunque existen R.O.V.s de observación que alcanzan los 6.000 m, los denominados “work class”, que se usan en trabajos submarinos, sólo han alcanzado los 2.800 m.
- No se conoce con precisión la cantidad de fuel-oil que permanece en los tanques en este momento, ni cuál será su fluidez en el momento de su extracción, lo que podría suponer un inconveniente para llevar a cabo esta operación.
- A juicio del CCA, no existe en la actualidad, una única empresa que disponga de toda la tecnología requerida para efectuar la extracción. Sin embargo, son varias las empresas cuyas tecnologías “off-shore” en aguas profundas, debidamente modificadas y combinadas, pueden hacer posible el éxito de esta operación. Existe al menos una empresa europea de ingeniería que podría coordinar esta función.
- Por tanto, es necesario identificar una empresa o consorcio de empresas que pueda asumir el liderazgo de esta operación y la lleven a cabo. En el caso del *Erika*, este papel fue adoptado por la empresa petrolera TOTAL FINA ELF. En este caso una empresa o consorcio de empresas españolas podría jugar ese papel.
- La necesidad de contar con un buque de gran tonelaje adecuado para la extracción y recogida del fuel-oil es crítica y, aunque su disponibilidad no es inmediata, se puede resolver a medio plazo.
- El plazo de ejecución de esta solución requeriría unos cinco o seis meses de ingeniería y preparación y unos tres meses de trabajo de extracción. No obstante, podría resultar que al final del período de estudios (unos tres meses), se llegase a la conclusión de que esta operación es inviable.
- El coste total de la operación **se estima en el entorno de 230 M[€]** (referencia coste de la del *Erika*, 80M[€]).

El proyecto se podría estructurar en fases secuenciales, con puntos de decisión al final de cada fase que permitan decidir entre distintas variantes de actuación dentro de esta solución (incluyendo la cancelación y consiguiente paso a la solución alternativa). Las distintas fases permiten también abordar el proyecto con compromisos financieros limitados para cada fase, según un esquema de necesidades económicas que, a grandes rasgos, puede ser el que aparece en la Tabla siguiente.

Plazo estimado	Tarea	Coste estimado aproximado
3 meses	- Exploración submarina del pecio - Estudios de ingeniería y medio marino - Modelos térmicos y oceanográficos - Modelos de "Riser" (torre de conductos o tuberías) - Modificaciones de los R.O.V.s	50 M€
1 mes	- Adquisición de material submarino: flexibles, conectores, mezcladores, etc... - Adquisición del "Riser". - Adquisición del sistema de bombeo. - Precontratos de buques, helicópteros y equipo de apoyo en superficie.	80 M€
1 mes	- Comprometer todo el equipo de superficie y movilizar a todo el personal	100 M€
3 meses	- Bombeo principal	
1 mes	- Bombeo auxiliar	

Total 230 M€

7. Confinamiento en cofres rígidos

Esta solución consiste en construir dos paralelepípedos ó bóvedas de hormigón (o metal¹⁰) abiertos por uno de sus lados, trasladarlos al lugar donde se encuentran los restos del *Prestige* y hundirlos cubriendo ambas partes del pecio.

El tamaño de ambos cofres sería de unos 150 x 54 x 36 m el de proa y 130 x 54 x 51 m el de popa, y su espesor sería de aproximadamente cuatro metros. La empresa española DRAGADOS OFF SHORE S.A., de probada experiencia en este campo, ha sido consultada al respecto y considera viable la construcción (no así la colocación, que requerirá estudios adicionales). El plazo de ejecución de este proyecto se estima en dos años.

Esta solución presenta los siguientes inconvenientes:

- El fuel-oil permanece en el fondo del mar con el posible riesgo futuro para el medio ambiente. Existen numerosos casos de pecios (*HMS Royal Oak*, *USS Arizona*, *USS Mississinewa*, *USS Neosho*, *USS Lexington*, *USS Sims*, *SS Luckenbach*) que derraman fuel-oil incluso transcurridos cincuenta años desde su hundimiento.
- Es necesario también utilizar los R.O.V.s para colocar los sensores que permitan guiar el hundimiento de los cofres hasta su posición en el fondo.
- La maniobra de transporte marítimo de los cofres es crítica y es necesario realizarla con buen tiempo.

¹⁰ En el caso de cofre metálico, se deberán prestar especial atención a los problemas de corrosión

- La colocación precisa de los cofres sobre las dos partes del pecio es una maniobra difícil, especialmente en la popa, debido a su posición en la base del talud del Banco de Galicia. Por ello es posible que esta solución solo se pudiera emplear en proa.
- El coste de esta operación **se estima en 130 M[€]** (100 M[€] en el caso de cofre metálico).

CONCLUSIONES

Es necesario poner en marcha, simultáneamente y con urgencia, los estudios de ingeniería de ambas soluciones, así como algunas partes del proyecto (por ejemplo la modificación de los R.O.Vs). Esto permitirá evaluar su viabilidad y, en su caso, encargar su ejecución.

Si se opta por la extracción, ésta debería poder terminar antes del final del otoño del 2003.

La complejidad de la extracción aconseja que la dirección del Proyecto sea encargada a una empresa o consorcio de empresas que, junto con alguna ingeniería experimentada a nivel internacional, coordine la realización de los estudios de viabilidad y planifique la ejecución de los trabajos, subcontratando las empresas que sea necesario.

Al mismo tiempo, se debe estudiar la segunda solución (confinamiento en cofres) para disponer de una alternativa en el caso de que la extracción no resultase posible.

Nota adicional

La situación del pecio del *Prestige*, una vez finalizada las labores de obturación provisional de fugas desarrolladas por IFREMER/GENAVIR, demanda que se articule, hasta completar la solución de neutralización definitiva, un sistema de seguimiento y control del estado del pecio, así como de intervención puntual en caso de ser necesario. Estas tareas deberán contemplarse en el marco de los trabajos de exploración y preparación de la solución de neutralización.