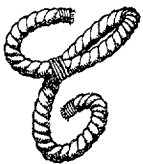


# ENSAYOS DE ESTABILIDAD DESPUÉS DE AVERÍAS EN BUQUES RO-RO FERRIES

## Introducción



ON motivo de los recientes accidentes ocurridos con los buques de pasaje *Herald of Free Enterprise* y *Estonia*, que sufrieron una inundación en la cubierta de garaje antes de su hundimiento, el IMO (Organización Marítima Internacional), a iniciativa de los países nórdicos, creó un panel de expertos que tenía por objeto estudiar nuevos criterios de estabilidad después de averías de los buques de pasaje ro-ro (1), ya que se temía que los establecidos en el SOLAS 1990 (Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar) pudieran ser insuficientes.

Para estudiar mejor el problema se encargaron ensayos de comportamiento en la mar (*seakeeping*) a diferentes canales de experiencias.

En España los ensayos se han llevado a cabo en el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo por encargo de un grupo encabezado por la Dirección General de la Marina Mercante.

El panel de expertos considera que el cumplimiento del SOLAS 90 incluye el efecto del agua embarcada en la cubierta del garaje hasta el nivel correspondiente a una mar de 1,5 m de altura significativa de ola, y que para estados de la mar con una altura significativa de ola entre 1,5 y 4 m, deberían satisfacerse requerimientos adicionales de estabilidad con averías.

El panel también considera que para una ola de 4 m el volumen de agua acumulado sobre la cubierta ro-ro será de  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$  (2), basado en la información recibida de las administraciones de los países nórdicos y en el sugerido en un estudio del SNAME (*Society of Naval Architects and Marine Engineers*), que es de 0,42 m.

La Administración del Reino Unido aporta como dato que la cantidad de agua embarcada debería ser aproximadamente el 10 por 100 del desplazamiento del buque.

---

(1) Se conocen como buques ferries Roll-on Roll-off (ro-ro) a los de pasaje en los que su carga y descarga se realiza de forma rodada.

(2) Es la relación entre el volumen de agua embarcada y la superficie de la cubierta corrida del garaje.

Como el volumen del agua sobre la cubierta garaje (cubierta ro-ro) es dependiente del francobordo residual después de la avería, se considera la posibilidad de hacer una interpolación lineal para obtener los volúmenes de agua intermedios, dando un valor de cero a los francobordos residuales de 2 m o más y del valor  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$  para francobordos residuales de 0,3 m o menores.

Se recomienda para el cálculo de la nueva condición de estabilidad que se considere este hipotético volumen de agua como una capa uniformemente repartida sobre dicha cubierta.

### **Elección de buque y modelo**

De los distintos buques ro-ro posibles, se escogió para los ensayos en el CEHIPAR un buque de pasaje típico de la compañía «Trasmediterránea», el buque *J. J. Sísiter*.

El modelo fue construido a una escala 1:24, siendo las principales características de ambos las siguientes:

	Barco	Modelo
Longitud entre perpendiculares	125,0 m	5,21 m
Manga	22,0 m	0,92 m
Calado	6,0 m	0,25 m
Área cubierta garaje	2.300 m <sup>2</sup>	3,99 m <sup>2</sup>

El modelo se hizo de madera y con apéndices. Se consideró que parte de la permeabilidad es suministrada por el propio espesor del forro.

La instrumentación utilizada constaba de sensores capaces de medir en 18 puntos la altura del agua, inclinómetros y cámaras de vídeo (dos externas y una situada en la popa de la cubierta ro-ro).

Todas las señales se digitalizaron a 20 Hz y se grabaron en disco duro.

La avería consistió en un agujero situado, como exige la OMI, en la zona central del costado del buque, de manera que afectaba a los dos compartimentos principales, en este caso, la cámara de máquinas y la cámara de los auxiliares.

Las dimensiones de la avería fueron las siguientes:

- Eslora (extensión longitudinal):  $3 \text{ m} + (0,03 * L_{pp})$ .
- Manga (extensión transversal):  $B/5$ .
- Altura (extensión vertical): desde la línea base hacia arriba sin límite.

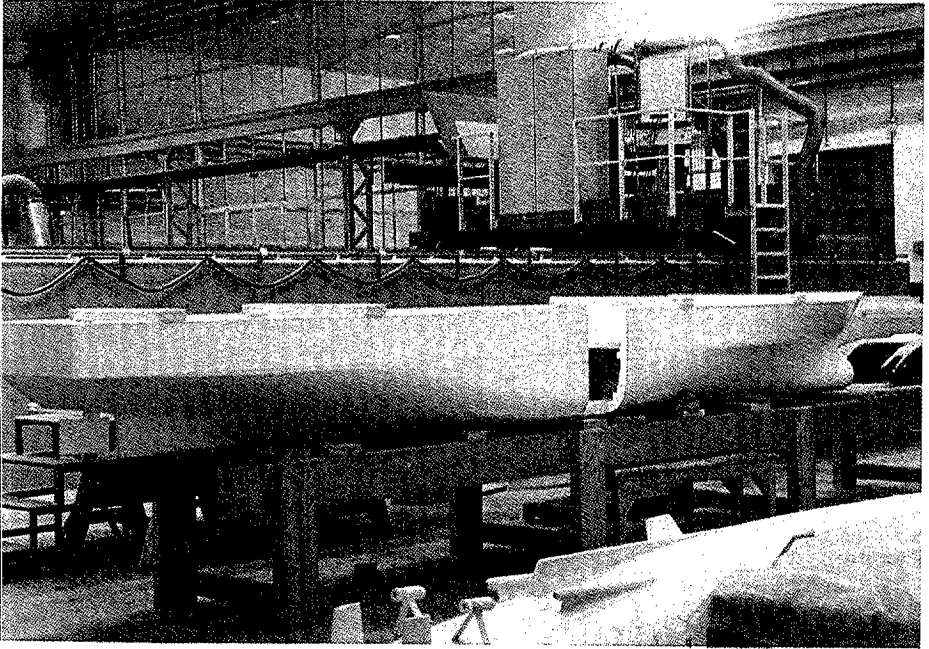


Fig. 1.

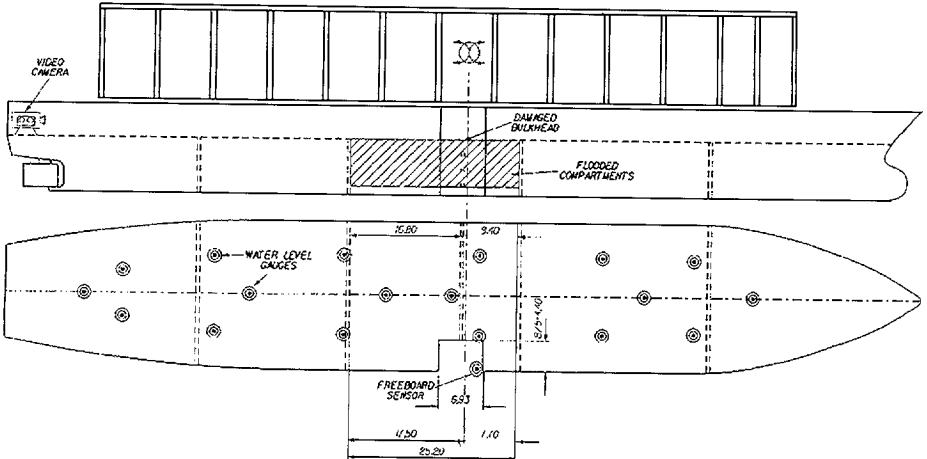


Fig. 2.

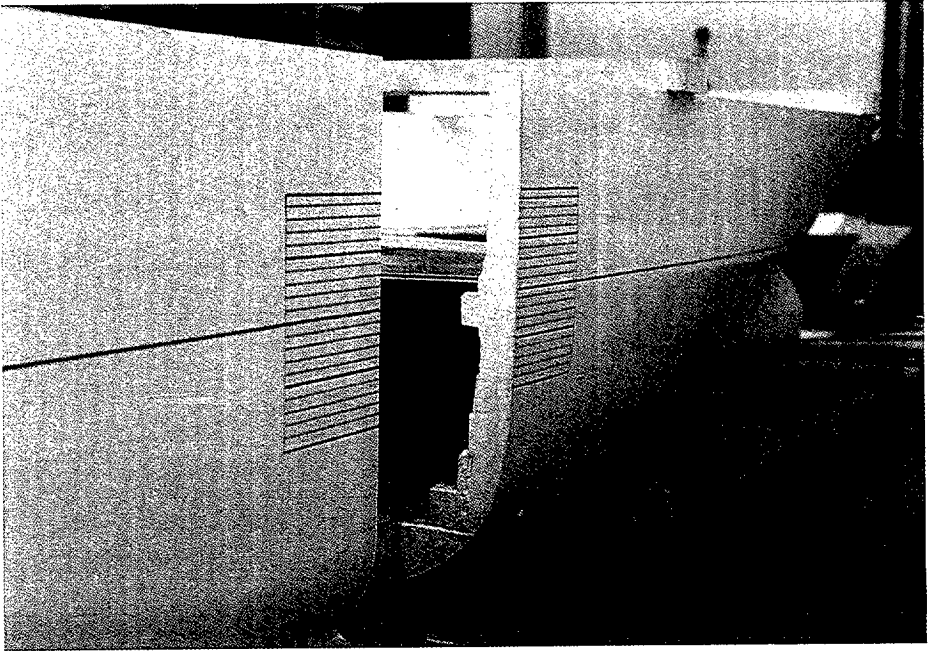


Fig. 3.

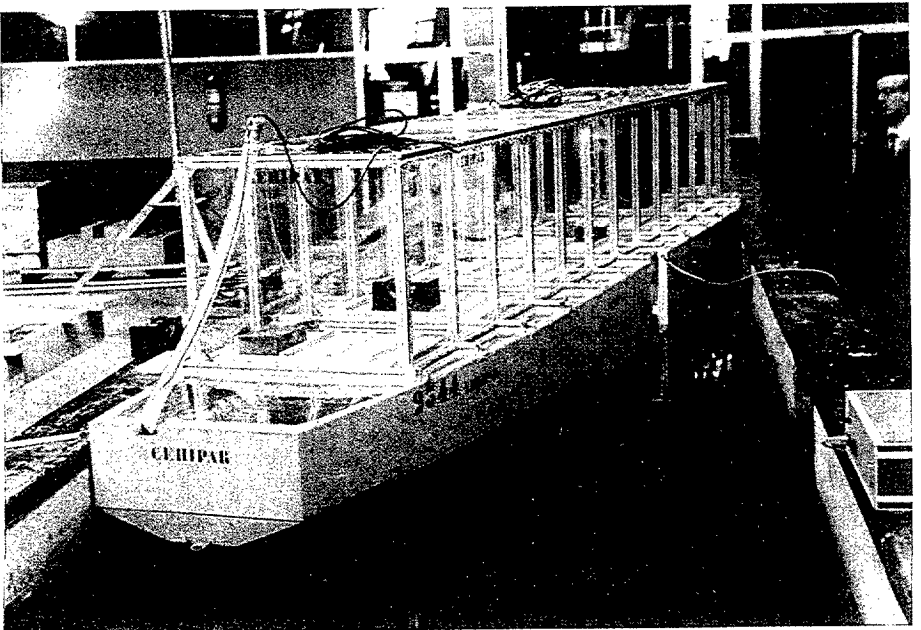


Fig. 4.

Para evitar el posible hundimiento total del modelo en los ensayos más críticos, en la parte superior de la cubierta principal se colocó una superestructura de plástico y aluminio, que le daba al modelo una reserva de flotabilidad.

Los ensayos se realizaron en el Canal de Olas o Laboratorio de Dinámica del Buque del Canal, cuyas dimensiones son 150 m de largo, 30 de ancho y cinco de profundidad, y se hicieron con tres estados de la mar diferentes y tres condiciones de carga, correspondientes a tres francobordos distintos después de la avería.

Para cada condición de carga se ensayaron tres alturas diferentes del centro de gravedad, tomadas del buque intacto, correspondientes a distintos GM; el exigido por SOLAS 90 y otros dos superiores en 0,5 m y 1 m, sucesivamente.

Con cada condición se hicieron dos carreras de treinta minutos a escala real.

En cuanto a los estados de la mar a los que se sometió al modelo, se tomaron los recomendados por el panel de expertos de la OMI, con espectros (3) (4) de tipo JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*), con un  $\gamma = 3,3$ , de

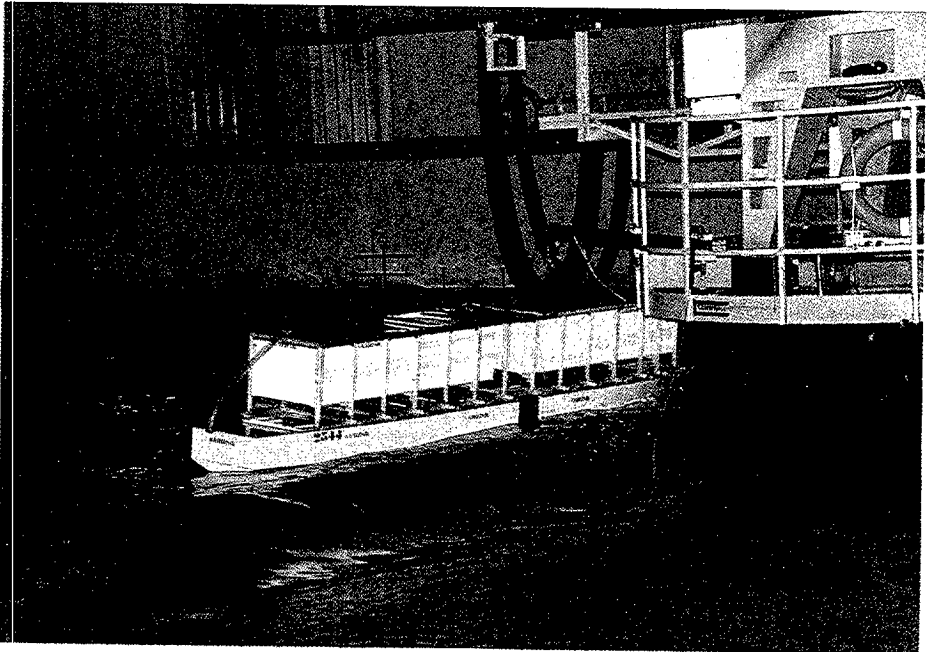


Fig. 5.

(3) La idea de descomponer un complejo fenómeno físico en sus componentes individuales se debe a Newton, cuando descubrió que, por un prisma, la luz del Sol estaba formada por una serie de colores, cada uno con una longitud de onda distinta.

(4) El espectro de las olas es una función que describe matemáticamente la distribución del cuadrado de las alturas de las olas en función de las frecuencias. Como la energía potencial de las olas es función del cuadrado de su altura, se le llama espectro de energía.

período modal  $T_p$ , cuyo valor es cuatro veces la raíz de la altura significativa del mar considerado.

Así se procedió a estudiar el modelo con un total de 48 carreras, que corresponden a una duración real de veinticuatro horas, con la apertura de la avería en la misma banda de donde venían las olas.

Las olas tienen un carácter irregular; las de mayor amplitud fueron del orden ligeramente superior al doble de la altura significativa.

Las dos carreras de una misma condición, definidas por un francobordo y un GM, se efectuaron con dos semillas o tipos de olas irregulares distintas, pero de iguales características, escogiéndose para los resultados y gráficos la de peores valores. Los ensayos se realizaron con las alturas significativas de ola y los períodos modales siguientes: 1,5 m y 4,9 seg; 2,75 m y 6,63 seg y 4 m y 8,0 seg.

El modelo se colocó con el mar de través, manteniéndose en dicha posición y dejándole ir a la deriva con las olas y estaba unido solamente al carro que lo seguía por el cable umbilical de toma de datos de los sensores.

## Resultados

Con olas de 1,5 metros de altura significativa (5), apenas se produjo embarque de agua en la cubierta del garaje.

Con las olas de 2,75 m y 4 m, los resultados medidos por los sensores y la observación de las tomas de vídeo indicaron una conducta muy similar para todos los ensayos.

A partir de una pequeña cantidad de agua en el garaje, el modelo tendió a escorar al lado contrario de la avería, que estaba en la misma banda por donde venían las olas; así, en la situación de equilibrio, el modelo recibía las olas por estribor y estaba caído a la banda de babor.

Las sucesivas olas fueron aumentando el agua acumulada hasta un determinado valor en el que el modelo, en su movimiento, tomaba tanta agua como entraba por la avería, manteniéndose en esta situación el resto de la carrera.

En algunos determinados momentos, el modelo, debido a una gran ola, caía a la banda donde se encontraba la avería, escapándose el agua del interior por la abertura y cayendo tras el impacto de las siguientes olas otra vez a la banda contraria, volviendo a acumular agua y repitiendo el proceso.

El modelo, con olas de 2,75 metros de altura significativa, embarcaba mayor cantidad de agua y alcanzaba una escora menor que cuando eran de cuatro metros, con lo que se puede deducir que para olas de mayor altura se producen mayores escoras, ayudando dicha escora a salir el agua acumulada en el interior.

---

(5) Se define altura significativa de ola como la media del tercio de olas de mayor altura presentes en la mar en un momento determinado.

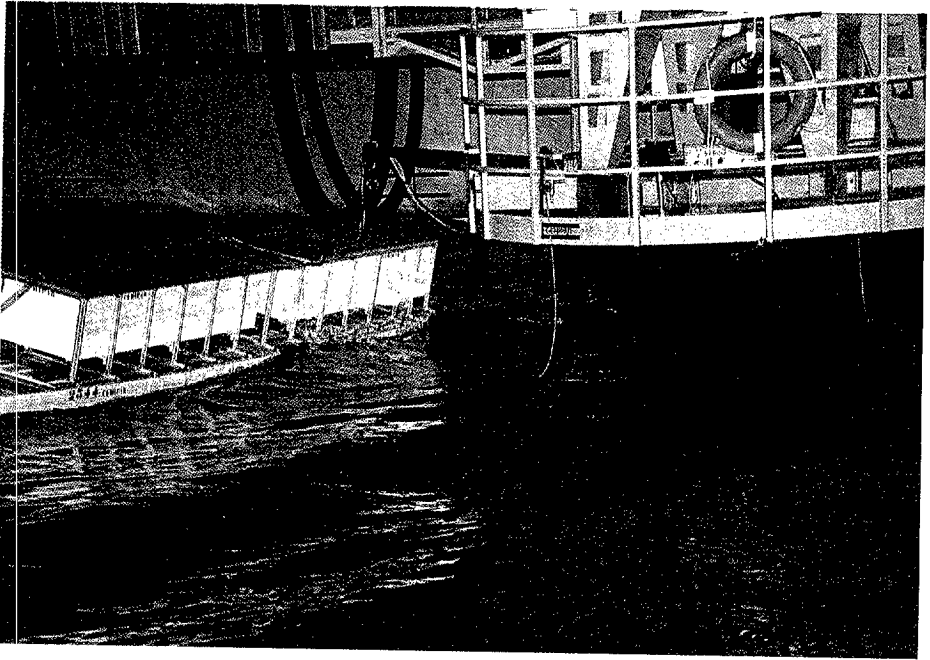


Fig. 6.

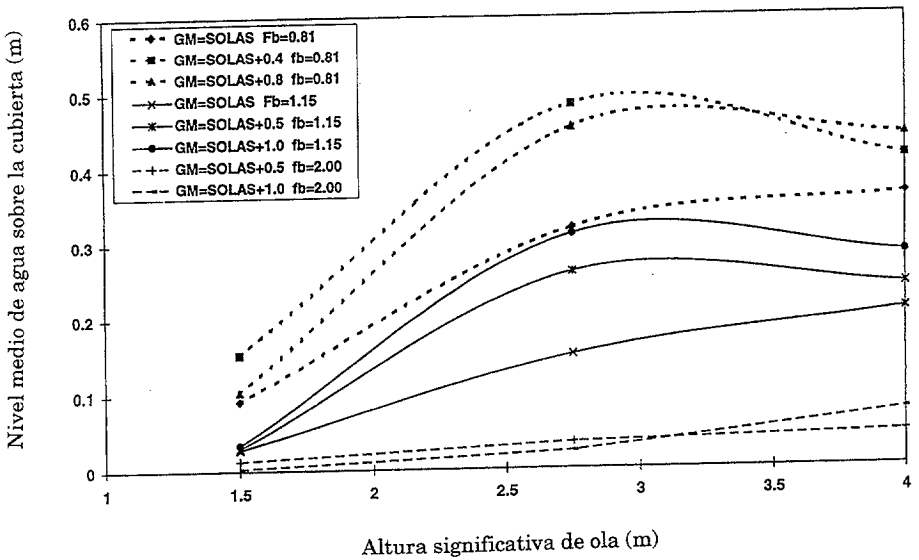
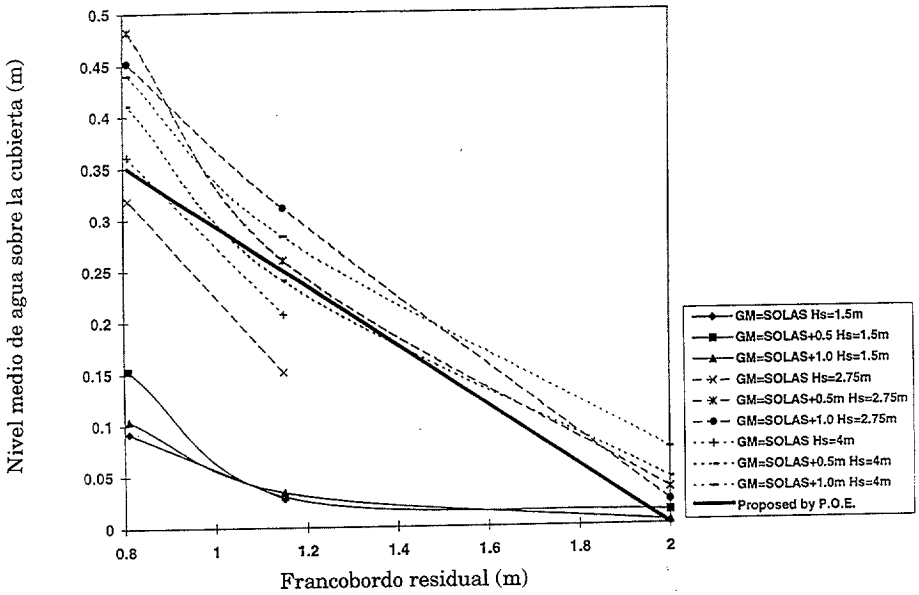
El criterio de supervivencia que exige la OMI para los ensayos con modelos dice que el buque deberá considerarse válido, excepto si zozobra durante el ensayo, rebasa la escora máxima de  $40^\circ$  o supera los  $30^\circ$  de escora durante más del 20 por 100 de la duración del ensayo del modelo en el canal.

En este caso, el modelo no zozobró y en la carrera más crítica se rebasaron los  $30^\circ$  de escora sólo unos instantes y nunca se superaron los  $32^\circ$ .

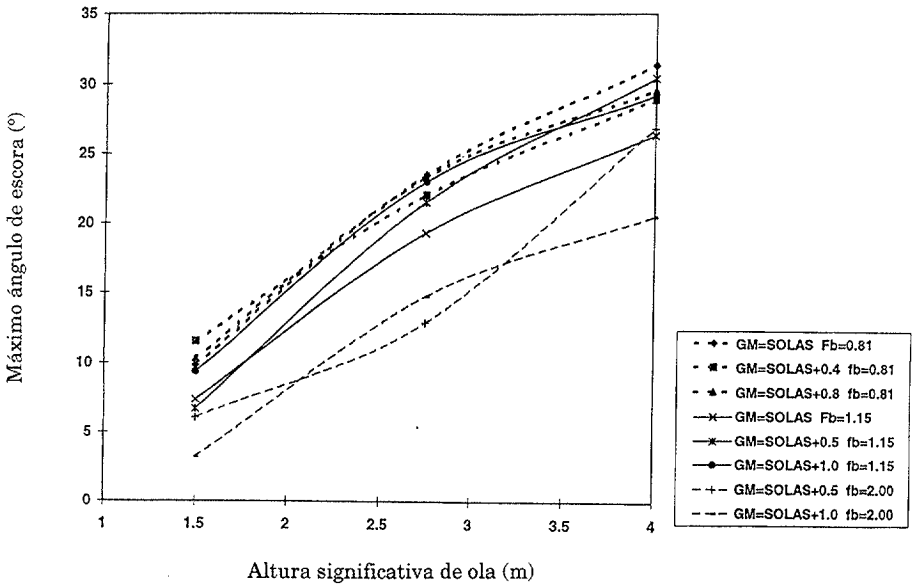
Se realizó, además, una serie de diez carreras con mínimos GM y francobordo, para estudiar el comportamiento del buque condicionado a una escora inicial a la banda de la avería.

El resultado que se observó fue que a partir de un ángulo pequeño, entre  $0,5$  y  $1^\circ$ , el buque se quedaba escorado a la banda de la avería, siendo su comportamiento ante las olas mejor al salirse el agua del interior con mayor facilidad, dando menores valores de escoras y agua almacenada. Las respuestas obtenidas son muy parecidas, tanto para las olas de 4 metros como para las de 2,75 metros.

Los valores obtenidos de altura media de agua sobre cubierta, cantidad de agua sobre cubierta, francobordo instantáneo, ángulo máximo de escora y tiempo del ensayo con escora superior a  $20^\circ$ , se exponen a continuación, con unos gráficos del modelo que documentan el ensayo.







## Conclusiones

En los días previos a la reunión de la Conferencia SOLAS, de noviembre del 95, cuando se redactó este artículo, empezaban a aparecer los primeros datos de los distintos canales internacionales, que a veces parecen contradictorios; por ejemplo, y en contra de las tesis nórdicas, Italia dio un valor máximo de 0,18 m de agua acumulada en la cubierta.

Estos valores, refrendados por unos y negados por otros, tienen su origen en que los modelos ensayados eran distintos, con posibles estructuras interiores diferentes que obstaculizaban el acceso de entrada o salida del agua, con distintos tamaños de compartimentos inundados, diversas formas en la abertura de la avería y distintas modelizaciones de la compartimentación o de la carga de vehículos en su interior.

Lo que sí se puede casi generalizar en los últimos informes recibidos, en particular los de Japón y Rusia, con resultados muy próximos a los obtenidos en El Pardo, es que la mayor parte de los buques que cumplen SOLAS 90 podrían demostrar experimentalmente su capacidad de sobrevivir no sólo con una altura significativa de ola de 1,5 m, sino también con alturas superiores, como las experimentadas hasta 4 metros.

Como se puede ver, sobre este apasionante tema, en el que entran factores tan determinantes para el sector naval como es la seguridad marítima o los costes para los armadores, hay mucho campo donde seguir investigando:

## TEMAS PROFESIONALES

- Desarrollar procedimientos de cálculo numérico con mayor fundamento físico.
- Realizar ensayos con unas supuestas escoras y trimados iniciales producidos por una colisión.
- Estudiar cómo actúan las variaciones de los períodos de las olas.
- Observar los cambios de la amplitud mínima de la curva GZ en averías y el área mínima de la misma curva.
- Con representaciones de averías más reales, diversos tamaños y posiciones de las aperturas.
- Teniendo en cuenta la acción del viento, etc.

En los círculos internacionales de este sector se esperan con expectación los resultados definitivos de las investigaciones de nuestro Canal de Experiencias Hidrodinámicas, que esperamos contribuirán a la mejor decisión final.

José María RIOLA RODRÍGUEZ



(I. N.)

