

# EL EFECTO *SQUAT*

José María RIOLA RODRÍGUEZ



Álvaro GUITART Y DEL PRADO



SIENDO alumnos de la Escuela Naval sabíamos que cuando bogábamos y nos acercábamos a la playa aumentaba la resistencia al avance del bote, por lo que debíamos incrementar el esfuerzo en la boga si queríamos mantener la velocidad. También sabíamos que el bote de nueve metros más próximo a la playa nunca ganaba la regata. Lo que entonces no sabíamos es que el culpable de todo esto era un fenómeno hidrodinámico conocido como *Squat*.

*Squat* es una palabra inglesa que se puede traducir como «hundimiento» y que se utiliza para definir el aumento de calado y cambio de trimado que experimenta un barco al navegar por aguas someras o canales estrechos.

El fenómeno puede justificarse por el estrechamiento de la vena líquida debido a la presencia de la carena, de acuerdo con la ley de Bernoulli. Dicho de otro modo, cuando un barco navega en aguas de poca profundidad, los cambios de presión sobre el casco provocan un hundimiento y un cambio de trimado en la carena que depende de la velocidad del buque, de la geometría del casco y del perfil del fondo de la zona de navegación. O de modo más sencillo, cuando un buque navega, «empuja» el agua que tiene delante, y este volumen de agua deberá volver al hueco dejado atrás fluyendo por los costados y bajo la quilla con una mayor velocidad, y consecuentemente, una menor presión, que da lugar al hundimiento parcial del buque.

Aunque este fenómeno se empezó a estudiar hace un par de siglos, ha sido durante los últimos años cuando ha adquirido una enorme importancia, dado el gran aumento de buques de alta velocidad, tanto en la faceta militar como en la civil.

Cuando se habla de una velocidad determinada en un buque y de la sonda de la zona, se suele tomar como referencia, para el barco y su correspondiente modelo a escala, el *número de Froude de profundidad*, dado su carácter

adimensional, para que puedan compararse los resultados entre los modelos utilizados en canales de ensayos hidrodinámicos y el buque real.

$$N.^{\circ} \text{ Froude} = \frac{\text{Velocidad barco}}{\sqrt{\text{Aceleración gravedad} \times \text{profundidad}}}$$

Si este cociente tiene un valor igual a la unidad, nos indica el límite al que pueden desplazarse las olas en aguas someras sin distorsión de la superficie, por lo que, aunque siendo más pequeñas que las olas marinas, provocan olas cuyo grado de penetración en la orilla es más grande que el de aquéllas. Así, cuando el buque alcanza esta velocidad, denominada «crítica», genera olas con mucha energía que al acercarse a la orilla y disminuir la profundidad aumentan su amplitud y pendiente. Esto origina unos terribles problemas de erosión, impacto en la vida marina, daños en buques atracados, etcétera.

La primera conclusión obtenida es que cuando la relación entre la sonda y el calado del buque es mayor de 1,5-2,0 este efecto deja de notarse, por lo que establecemos este límite como el que nos da la diferencia entre aguas profundas y someras.

Otra vertiente del mismo fenómeno aparece si el buque navega por canales estrechos, ya que se produce una disminución de la presión en su costado. El límite de esta influencia es del orden de 7,5-12,5, dependiendo de la forma del casco.

Otra conclusión que conviene resaltar es que este efecto de aumento de calado es proporcional al cuadrado de la velocidad del buque.

### Caso práctico: *M.S. Herald of Free Enterprise*



*MS Herald of Free Enterprise.*

Este aumento del calado puede provocar un accidente, tal como ocurrió con el transbordador de pasajeros y vehículos *MS Herald of Free Enterprise*, que el viernes 6 de marzo de 1987 zozobró y se hundió poco después de zarpar del puerto belga de Zeebrugge en su ruta hacia el puerto inglés de Dover.

El barco, de 126 m de eslora y 8.600 toneladas de desplazamiento, zarpó ligeramente trimado de

proa y con las compuertas de proa parcialmente abiertas para la evacuación de los gases producidos por los vehículos.

Debido a un problema en la maniobra de salida, el *ferry* se salió de la canal dragada sufriendo un aumento de calado y cambio de trimado debido al efecto *Squat*.

Al aumentar el calado del buque, disminuye su francobordo, permitiendo el acceso del agua de mar por su proa a la cubierta del garaje o cubierta ro-ro (1), que fue progresivamente anulando su reserva de estabilidad hasta zozobrar.

Según los testigos del accidente, cuando el buque trató de volver a la canal dragada ya estaba escorado unos 20° y el hundimiento se produjo en menos de un minuto, quedándose a unos 800 metros de la bocana del puerto, ligeramente desplazado hacia estribor de su ruta y girado 180°.

El accidente causó la muerte de 188 personas, entre pasajeros y dotación, y provocó una gran exigencia pública de medidas destinadas a mejorar la seguridad de un tipo de buque que estaba teniendo un notable éxito desde el punto de vista comercial. Debido a este hecho, el MSC (2) de IMO (3) adoptó una resolución aplicable a los buques construidos después del 29 de abril de 1990.

Este nuevo estándar SOLAS 1990 (4) requiere simplificadoamente un aumento de los valores de estabilidad residual después de averías: un valor mínimo y un área mínima en la curva de brazos adrizantes, un mínimo ángulo de equilibrio y un valor mínimo de altura metacéntrica residual.

## Estudio del accidente

Para el estudio del accidente, desde el punto de vista de su relación con el fenómeno *Squat*, se siguen los siguientes pasos:

- Recopilar información sobre la maniobra de este tipo de buques con el fin de conocer la velocidad del *ferry* en el momento de salirse de la canal dragada de salida.
- Con dicha velocidad, se calcula el número de Froude y el aumento de calado debido al efecto *Squat*.
- Con dicho aumento de calado, se obtiene el agua acumulada sobre la cubierta del garaje que le hizo zozobrar.

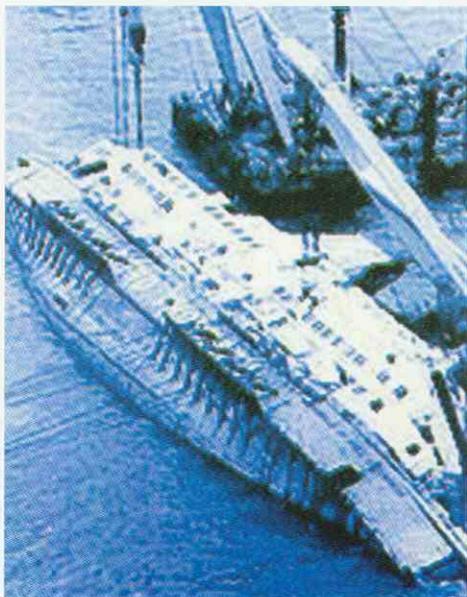
---

(1) Ro-ro es la abreviatura de roll-on-roll-off o carga rodada.

(2) Comité de Seguridad Marítima.

(3) Internacional Maritime Organization.

(4) Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en la Mar.



Del estudio de la maniobra de salida de este tipo de buques en ese puerto se llegó a la conclusión que el buque se encontraba en un proceso de aceleración en un margen de velocidad entre 16 y 20 nudos.

Con esa velocidad, el número de Froude correspondiente, un calado de 5,7 m, un valor a los bajos de los lados de la canal de 10-12 m y un valor de 0,525 de coeficiente de bloque CB (5), se aplican los criterios de Barrass, Millward, Eryuzlu, Dand y Herreros para la obtención de un valor medio de aumento de calado. La solución obtenida está en el rango entre 1,3 y 1,9 m.

Debido a esta disminución de francobordo, el agua comenzó a entrar sobre la cubierta, produciéndole un progresivo aumento en la escora. Si el buque hubiera seguido en las condiciones iniciales, hubiese necesitado embarcar más de 750 toneladas de agua para hundirse desde un punto de vista puramente estático, que disminuirían debido a que el buque maniobró con los timones de manera brusca, seguramente para volver hacia al centro de la canal dragada, produciéndose una inclinación adicional, por lo que se estima que con 250-300 toneladas de agua el buque comenzó a zozobrar.

### **Squat dinámico**

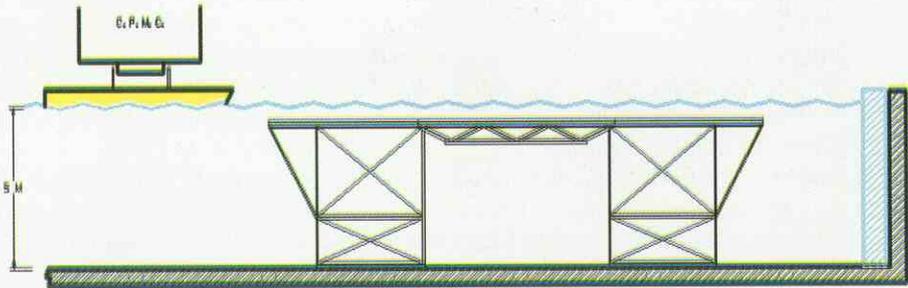
Actualmente se está llevando a cabo una investigación en varias fases, dentro del 5.º Programa Marco de la Comisión Europea, entre el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo, la E. T. S. de Ingenieros Navales de Madrid y el Franzius Institut de Hannover.

El centro de dichas investigaciones es conocer el *Squat* dinámico, o la variación transitoria del aumento del calado del buque, debido a los cambios en el perfil de la sección de la vía de navegación, y la sinergia (6) de dicho fenómeno con la respuesta al oleaje.

---

(5) El coeficiente de bloque es la relación entre el volumen de la carena y la eslora, manga y calado.

(6) Sinergia es la asociación de dos fenómenos que producen un efecto mayor.



Para poder simular en el Canal de Experiencias este tipo de ensayos, el primer paso consiste en colocar sobre el fondo una serie de plataformas, a una profundidad de escala correspondiente a la sonda a estudiar, que hacen de fondo regulable. Sobre dicho fondo se colocan una serie de elementos geométricos que nos representan las irregularidades del fondo a estudiar.

En los ensayos se utiliza un sistema óptico de medida capaz de recoger la posición en tres dimensiones, la velocidad y la aceleración del modelo. El sistema consta de varios diodos de luz infrarroja colocados sobre su superestructura. La luz emitida por los diodos se recoge en las lentes de tres cámaras externas y se digitaliza resolviendo el problema trigonométrico.

## Conclusiones

De las mediciones realizadas en los ensayos con aguas someras resaltan las siguientes conclusiones:

- El efecto *Squat* ha sido observado y registrado en numerosos ensayos. Este aumento de calado puede ser tan perjudicial que provoque un accidente en una zona segura *a priori*.
- Los factores físicos que más influyen en el fenómeno son la profundidad de la zona, la velocidad del buque y el empacho que provoca el buque en dicha zona.
- El trimado que cogen los barcos depende de las formas de su casco, tomando un asiento mayor en la proa los buques con formas llenas o en «U» y trimando a popa los de formas más finas o en «V».
- Si el paso de aguas libres a restringidas se produce en un rápido intervalo de tiempo, la amplitud del fenómeno crece hasta un 20 por 100, pero con una rápida atenuación.
- Una irregularidad permanente en el fondo produce un transitorio de mayor magnitud y un brusco cabeceo.

- En un cruce de buques, el factor de ampliación puede ser de hasta el 100 por 100.
- Se produce una ola de proa más pronunciada y vibraciones en el casco.
- Se experimenta una reducción de hasta el 15 por 100 en las revoluciones por minuto de las hélices y el 30 por 100 en la velocidad de servicio para la misma potencia.
- Este efecto deberá ser tenido en cuenta en los trabajos batimétricos de los buques hidrográficos para evitar sondas menores de las reales por aguas restringidas o canales dragadas.

Como se puede ver, el estudio de este fenómeno ha tomado gran auge hace relativamente poco tiempo y todavía se encuentra en fase de experimentación, siendo empíricos la mayoría de los métodos de cálculo. En un futuro próximo, nos acostumbraremos a tener en los buques unas tablas que ofrecerán el incremento de calado dependiendo de las condiciones propias y de navegación.

