



## CRITERIOS DE ESTABILIDAD EN AVERÍAS EN BUQUES DE GUERRA

Rodrigo PÉREZ FERNÁNDEZ  
Doctor ingeniero naval

José María RIOLA RODRÍGUEZ  
Doctor ingeniero naval



AY un conocido y sorprendente vídeo en Internet, que se puede encontrar con palabras como «camión, grúa o muelle», en el que se ven unas repetitivas escenas en un muelle de un pueblín portugués con una secuencia más o menos como sigue: en la primera escena se observa un camión-grúa al borde del muelle intentando sacar una furgoneta que se había caído al agua; ¿demasiado *vinho verde*? A lo que íbamos, en mitad del izado, cuando la furgoneta tenía toda su carrocería al aire, el camión-grúa se inclina hacia su costado y también cae al mar sobre el casi salvado vehículo.

Esto no sería especialmente impactante si no fuera porque el vídeo continúa con una segunda escena en la que se ve otro camión-grúa de mayor porte en el mismo sitio, que tras sacar la furgoneta se pone a izar al camión-grúa anterior. En el vídeo puede apreciarse cómo después del primer desastre ya no había nadie del pueblo que se perdiese el curioso rescate. De nuevo, va todo bien hasta el momento en que el primer camión-grúa, con casi toda su carrocería fuera del agua, dejándose izar lentamente por la grúa del camión más grande al borde del muelle, y como si hubiera una atracción fatal, también se inclina hacia su costado y cae al mar encima del que estaba levantando. Aunque en la primera escena había, entre la docena de presentes, una sensación de susto generalizado, tras esta segunda ya se oyen bastantes risas. Aunque parezca increíble, esto se repite con otras grúas mayores, y así hasta cuatro veces. Eso sí, en cada nueva escena se ve una cantidad mayor de mirones en el muelle, que ya en la última secuencia está totalmente lleno y las risas son más que estruendosas.

Me comentaron unos amigos lisboetas que se acercaron a ver el espectáculo que a su lado en el muelle *um velho marinheiro* al uso del lugar después del estropicio gritaba enfadado: *¡Como as outras vezes, não tiveram em conta a água de dentro!* Ese sentido común del pescador, que entendía que la grúa no solo debía tener fuerza para levantar los camiones hundidos, sino además el agua que llevaban dentro, es la clave de este artículo.

## Estado del arte

Russell Grenfell cuenta en su libro *The Bismarck Episode* que un torpedo del *Rodney* y otros dos del *Dorsetshire* hicieron blanco en el *Bismarck*, buque insignia de la Armada alemana. Este acorazado, tecnológicamente superior a sus contemporáneos, a pesar de sus averías continuaba a flote hasta que se fue escorando sobre su costado de babor, dio la vuelta y con quilla al cielo se fue hundiendo silenciosamente en la mar. Todo había concluido, el poderoso navío alemán acababa de sucumbir después de batirse valerosamente. Solo quedaban del *Bismarck* algunas cabezas entre las alborotadas olas, mientras el crucero *Dorsetshire* y el cazatorpedero *Maorí* terminaban de recoger a los 110 supervivientes. La caza del *Bismarck* fue una de las más laboriosas que registra la historia naval y en la cual la estabilidad en averías formó parte esencial. A lo largo de la historia existen múltiples incidentes que escalonadamente nos han llevado a un progresivo conocimiento en el área de estabilidad. De hecho, la estricta normativa actual ha permitido que no se disparase el número de víctimas en los casos de ataques sufridos durante las últimas décadas, como los casos de las fragatas *USS Stark* o *USS Cole*.

Las armadas de todos los países procuran alcanzar un equilibrio entre la operatividad y la protección de la tripulación ante un posible daño en el casco



Reproducción del *Bismarck*.

y la superestructura del buque, garantizándose que todas las acciones sean acometidas con un aceptable nivel de seguridad, que está siendo equivalente, cada vez más, a los buques construidos bajo legislación civil. Las armadas están recurriendo a las Sociedades de Clasificación (SS. CC.), cuyos reglamentos para los buques mercantes están fijados dentro de la Organización Marítima Internacional (IMO) y particularmente en la Convención Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS), cuya primera versión fue aprobada en 1914 cuando las principales naciones marítimas se reunieron para elaborar un reglamento internacional a raíz del hundimiento del RMS *Titanic*. Pero este convenio no es siempre apropiado para aplicarlo a la generalidad de los buques de guerra, pues sus misiones demandan soluciones de diseño y operación que no siempre son compatibles con la filosofía SOLAS.

La estabilidad en averías es un tema fundamental para la conservación de cualquier buque: cuanto más tiempo permanezca a flote, más eficaz será la evacuación y, en su caso, las operaciones de búsqueda y rescate. Lo más peligroso para los buques de carga rodada, y sus homólogos militares es el efecto de una acumulación importante de agua en su interior. Los cálculos han puesto de manifiesto que el francobordo residual del buque y la altura de las olas en una zona específica influyen de forma muy significativa en la cantidad de agua que puede acumularse tras una avería por colisión o por el impacto de un arma. Esta avería puede considerarse como una inundación producida por una vía de agua en el costado, en el fondo o una entrada de agua a través de



Hundimiento del acorazado USS *Arizona* en la batalla de Pearl Harbor.

una cubierta. Cuando se inunda un compartimento se produce una pérdida de flotabilidad, acompañada de una variación de asiento y de una escora que modifican las alturas metacéntricas transversal y longitudinal, provocando una nueva flotación de equilibrio. Además, hay que considerar el estado de la mar en el momento de la avería, pues puede incrementar la entrada dinámica de agua por encima de esa flotación de equilibrio con la consiguiente pérdida de estabilidad. Como consecuencia de ello, a la hora de realizar los cálculos de estabilidad después de averías es necesario incluir una cierta cantidad de agua en la cubierta principal, en la de garaje o hangar, además de la inundación de los compartimentos considerados dentro de las averías convencionales.

Existen diferentes normativas de estabilidad después de averías, cuyos criterios son los más utilizados en la actualidad, tanto en el campo militar como en el civil. Las principales son la *Design Data Sheet* (DDS) americana, el *Naval Ship Code* (NSC) promulgado por la OTAN, y dentro del SOLAS, el Acuerdo de Estocolmo, en donde se considera el agua en cubierta.

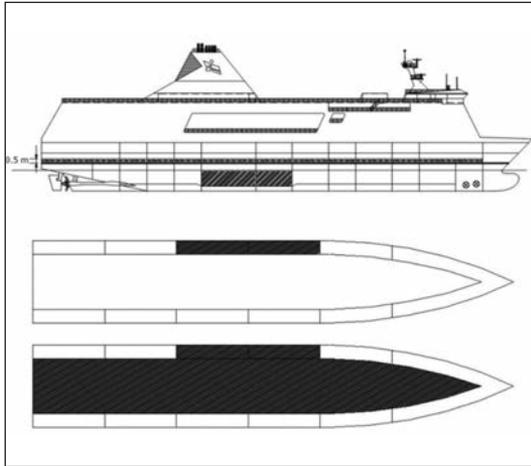
## SOLAS

De todas las convenciones internacionales sobre seguridad en la mar, la más importante es el SOLAS. Es una de las más antiguas, habiéndose adoptado su primera versión en Londres en 1914, e incluye capítulos sobre seguridad de la navegación, construcción, radiotelegrafía, dispositivos de salvamento y prevención de incendios. El periodo comprendido entre finales del siglo XIX y principios del XX fue el de mayor auge en el transporte de pasajeros por mar, ya que no existían aviones y todavía tenía lugar la gran emigración de Europa a América. Sirva como dato que el número de víctimas anuales en los accidentes sufridos solamente por buques británicos se situaba cercano al millar. Pero el suceso que condujo a la convocatoria de la Conferencia Internacional de Seguridad Marítima fue el hundimiento del trasatlántico RMS *Titanic* durante su viaje inaugural en abril de 1912, en el que más de mil quinientas personas perecieron; el desastre planteó tantos interrogantes acerca de las normas de seguridad vigentes que el Reino Unido propuso la celebración de una audiencia internacional para elaborar nuevos reglamentos. A la reunión asistieron representantes de trece países, y el SOLAS, fruto de la misma, fue adoptado el 20 de enero de 1914. En 1929 se celebró otro encuentro en Londres donde se adoptó un nuevo SOLAS, que incluía varias reglas nuevas que entraron en vigor en 1933. En 1948 se aprobó un tercer SOLAS, considerablemente más detallado, con un ámbito que abarcaba una enorme gama de barcos e introducía mejoras importantes en cuestiones como la compartimentación estanca, normas de estabilidad, mantenimiento de servicios esenciales de emergencia y protección contra incendios, incluyendo tres métodos de compartimentado por medio de mamparos resistentes al fuego y troncos para proteger las escaleras principales. La siguiente conferencia de seguridad marítima, en 1974, también se celebró en Londres con la asistencia de representantes de 71 países.

En lo concerniente a este artículo, el apartado fundamental es el Capítulo II-1, que estipula que la división de los buques en compartimentos estancos ha de estar concebida de modo que después de una supuesta avería por colisión en el casco, el barco permanezca a flote. Así, se hace hincapié en las prescripciones relativas a la integridad de estanquidad, a la disposición del circuito de achique y al grado de compartimentación, medido por la distancia máxima permisible entre dos mamparos adyacentes en función de la eslora del buque y el servicio para el que esté destinado. El grado exigente de compartimentado se aplica a los buques de mayor eslora destinados principalmente al transporte de pasajeros.

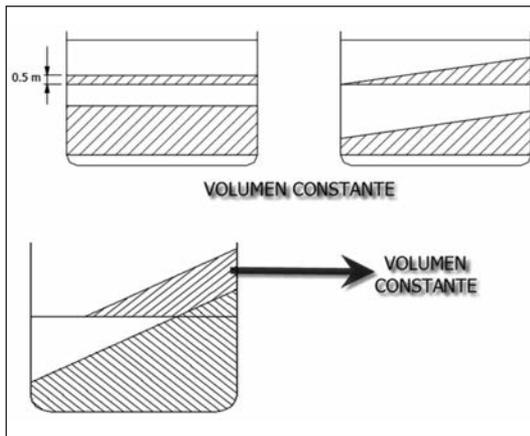
A principios de 1978, la OMI aprobó importantes modificaciones al SOLAS, así como al Convenio Internacional para prevenir la Contaminación, MARPOL de 1973.

En diciembre de 1994, se llevó a cabo un encuentro para examinar las propuestas de un panel de expertos de la OMI a raíz del siniestro del MV *Estonia*, en el que perdieron la vida más de 850 personas. El MV *Estonia*, al



Ejemplo de avería por colisión con dos compartimentos inundados más el agua sobre cubierta.

te para el cálculo de la curva de brazos adrizantes GZ después de la avería, como se ve en la figura siguiente.



Método de volumen constante.

igual que el MS *Herald of Free Enterprise* siete años antes, se hundió debido a que se había acumulado tanta agua en las cubiertas de carga que resultó afectada su estabilidad. El panel de expertos propuso que a la exigencia de la estabilidad con uno o dos compartimentos inundados debería añadirse la de cierta cantidad de agua en las cubiertas en función de la altura significativa de la ola, según la mar en la que navega y del francobordo residual después de la avería por colisión. En este criterio, el volumen de agua en las cubiertas se mantiene constante

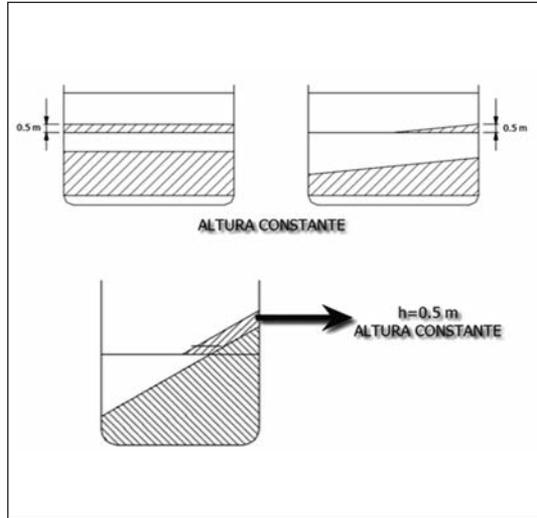
Como esta hipótesis es muy onerosa para el cumplimiento de los requisitos de estabilidad, se aprobó el Acuerdo de Estocolmo, que mantiene constante la altura de agua sobre las cubiertas en el costado del garaje, con lo que el volumen disminuye a medida que el ángulo va cambiando, como se aprecia en la figura de la página siguiente. Este acuerdo es de obligado cumplimiento en las aguas de los países pertenecientes a la Unión Europea, desde Finisterre hacia el norte.

### Design Data Sheet (DDS)

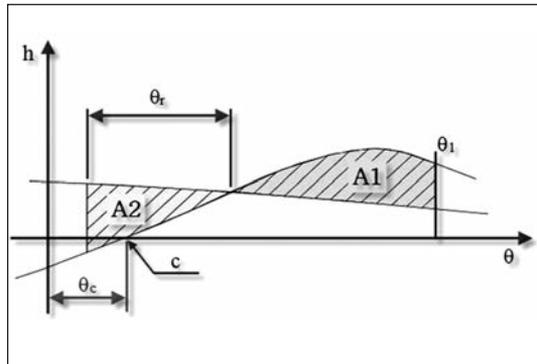
En nuestra Armada, el criterio para evaluar la estabilidad después de averías se lleva a cabo de acuerdo a la DDS 079-1 americana, y se esquematiza

en la figura inferior. Una reducción del brazo adrizante igual a  $0.05 \cdot \cos\theta$  está incluida en la curva para tener en cuenta la inundación asimétrica desconocida o el movimiento transversal producido por desplazamientos o pérdidas de peso. La curva del brazo escorante debida al viento de costado se calcula con el mismo método usado para modelar la estabilidad intacta, pero considerando una velocidad del viento entre 32 y 33 nudos. La estabilidad después de averías se considera satisfactoria si el ángulo de equilibrio estático de la escora,  $\theta_c$ , el punto C de la figura siguiente, sin efectos del balance debido al viento, no excede de 15 grados.

La estabilidad dinámica disponible para contrarrestar las fuerzas de escora provocadas por la mar gruesa en combinación con el viento de costado es una medida de la adecuación de la estabilidad después de averías. El ángulo límite  $\theta_l$  de la curva del brazo adrizante es  $45^\circ$ , o el que se produzca con inundaciones sin restricciones si es menor;  $\theta_r$  es el ángulo esperado de balance por un viento y un estado de la mar asumidos, y debe ser verificado por la experiencia o mediante un modelo a escala. El criterio se cumple si la reserva de estabilidad dinámica  $A_1$  no es menor que  $1.4 \cdot A_2$ , donde  $A_2$  se extiende desde  $\theta_r$  hacia barlovento. Para el ingeniero naval es suficiente comprobar que su diseño cumple el requerimiento de estabilidad después de averías que contempla su Armada. En la siguiente tabla se muestran los utilizados por la británica y la estadounidense.



Método de altura constante.

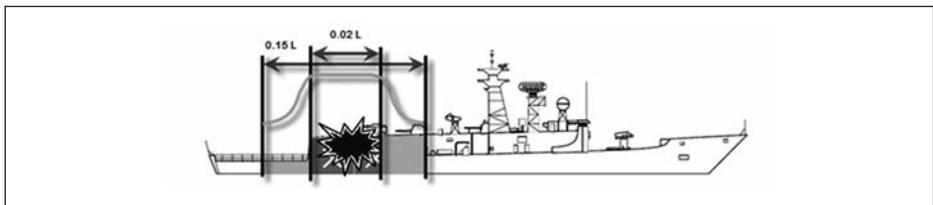


Criterio de estabilidad después de averías según la DDS 079.

Criterio	Armada Real Británica NES 109		Armada estadounidense DDS 079	
	<i>Eslora de avería</i>	$L_{WL} < 30 (m)$	Un compartimento	$L_{WL} < 30.48 (m)$
$30(m) < L_{WL} < 92(m)$		Dos compartimentos de al menos seis metros	$30.48 (m) < L_{WL} < 91.44 (m)$	Dos compartimentos de al menos seis metros
$92 (m) < L_{WL}$		Máx. $\{15 \% L_{WL}$ ó $21 (m)\}$	$91.44 (m) < L_{WL}$	$15 \% L_{WL}$
<i>Permeabilidad</i>	Espacio estanco	97 %	Espacio estanco	95 %
	Acomodación	95 %	Acomodación	95 %
	Maquinaria	85 %	Maquinaria	85 % - 95 %
	Gambuzas	60 %	Gambuzas	60 % - 95 %
<i>GZ en C</i>	60 % de $GZ_{máx}$		—	
<i>Área <math>A_1</math></i>	$> 1.4 \cdot A_2$		$> 1.4 \cdot A_2$	
<i>GM Longitudinal</i>	$> 0$		—	
<i>Flotabilidad</i>	Trimado longitudinal menor que el requerido a causa del hundimiento		Tres en línea de margen	

Criterio de estabilidad después de averías para buques de guerra según las armadas norteamericana y británica.

Los rangos de los posibles daños de buques de guerra pueden ser el resultado de análisis de datos reales o fórmulas empíricas que utilizan longitudes de daños definidos en reglamentos deterministas.



Perfil de la extensión del daño en un buque militar.

## Naval Ship Code (NSC)

En julio de 2003, el *Nato Naval Group 6*, actualmente *Maritime Capability Group (MCG-6)*, creó un equipo de especialistas e invitó a participar a todos los países de la OTAN, *Partners for Peace* y SS.CC., con objeto de promover la colaboración de la OTAN con las SS. CC. para la elaboración del NSC, coloquialmente conocido como Naval SOLAS. El objetivo fue establecer un marco dentro del cual las Armadas se coordinasen con las SS. CC. e iniciasen el desarrollo de un NSC que proporcionase un equivalente al SOLAS.

El NSC o ANEP-77 (*Allied Naval Engineering Publication*) debe ser el referente en materia de seguridad para construir y operar los buques de guerra, del mismo modo que el SOLAS o las resoluciones de la OMI lo son para los buques mercantes. El NSC, a diferencia del conjunto de los estándares actuales, no es determinístico, sino que adopta la metodología denominada *Goal Based Standards (GBS, estándares basados en objetivos)*.

Esta metodología, que ya ha sido empleada por la IMO para la elaboración de parte de sus normas, se caracteriza por definir qué debe cumplirse por encima de cómo hacerlo. En un contexto como el actual, en el que surgen nuevos tipos de buques para hacer frente a nuevas amenazas, como el *Litoral Combat Ship*, los estándares basados en objetivos facilitan la adopción de soluciones innovadoras siempre que cumplan con los objetivos fijados por el reglamento.

Para desarrollar el NSC se ha adoptado una estructura, tal como se muestra en la figura de la página siguiente. En el nivel cero, encomendado al equipo de especialistas, se fijan los principios generales y el objetivo global. Uno de sus motivos es el de poder aplicar normas civiles a los buques de guerra, en especial las resoluciones IMO. No es frecuente que estas resoluciones establezcan un objetivo claro según la metodología GBS, por lo que el primer paso para definir los objetivos de cada uno de los capítulos en que se divide el NSC es asignar un objetivo a la norma civil, analizando semejanzas y diferencias con los buques de guerra. Los aspectos relacionados con la flotabilidad,



Ejemplo visible de la extensión del daño en el USS Stark.



Enfoque basado en el objetivo para desarrollar el NSC.

estabilidad y maniobrabilidad del buque son considerados en el segundo capítulo del anexo al SOLAS. Un objetivo para este apartado podría ser: «el buque debe flotar adrizado en todas las condiciones de carga, debe tener suficiente reserva de estabilidad después de las averías previsibles y la cámara de máquinas debe estar especialmente protegida contra la inundación». Además de las cualidades deseables en cualquier buque, al de guerra se le exige que tenga capacidad de soportar averías de extensión mayor y ser capaz de mantenerse para seguir combatiendo. De este modo, el objetivo del capítulo tercero del NSC queda redactado de la siguiente forma: «las características de flotabilidad, francobordo, estabilidad y subdivisión serán proyectadas, construidas y mantenidas para proporcionar la adecuada reserva de estabilidad, permitir que las dotaciones desarrollen su trabajo sin impedimento, proporcionar una adecuada estabilidad para evitar el vuelco y evitar ángulos de escora que impidan el adecuado funcionamiento de los medios de salvamento y proteger a las personas embarcadas y a los equipos esenciales ante las averías y emergencias previsibles hasta que la última persona alcance un lugar seguro o cese la emergencia».

Para facilitar la aplicación del NSC y la consecución de los objetivos generales definidos se confeccionó una guía explicativa: *The guide to NSC*. Como ejemplos de esta normativa, incluye la obligatoriedad del estudio de las explo-

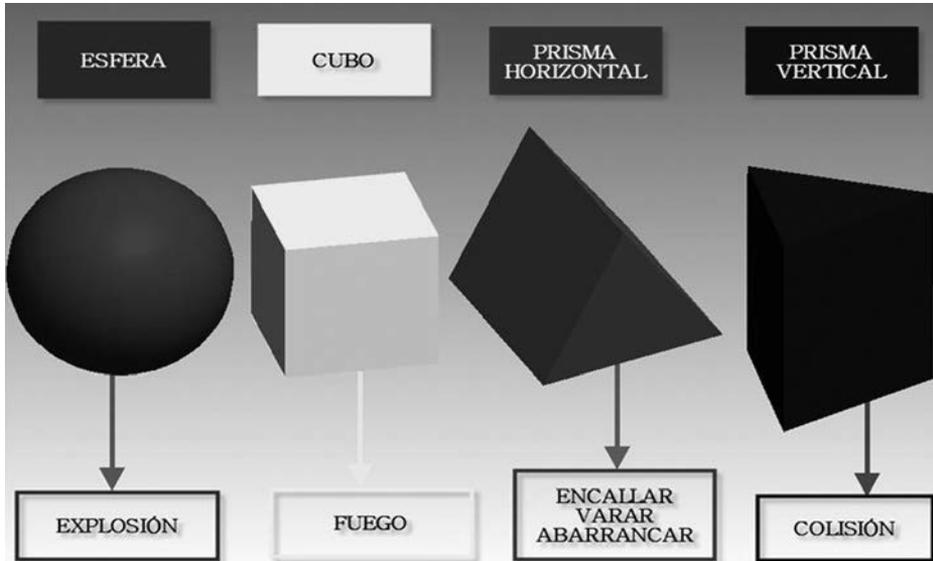
siones internas considerando un daño de forma esférica, la avería provocada por una vía de agua abierta en el doble fondo debido a una varada o el estudio de una serie de fenómenos hidrodinámicos, como la excitación dinámica o *broaching*. Nuestra Armada participó, con un ingeniero, en la elaboración de este capítulo tercero junto con especialistas de Australia, Canadá, Holanda e Italia.

Como el NSC sirve para brindar un nivel de seguridad adecuado a la función del buque, es necesario definir el grado de supervivencia de manera que pueda ser tenida en cuenta en la aplicación de todos sus capítulos. Así, como ejemplo del nivel de requisitos del NSC *the ship shall be capable of sustaining damage of limited extent on the outer bottom with function of critical systems being maintained and being recovered to full operational capability with basic recovery operations*. Otros ejemplos basados en la definición de las categorías se muestran en la siguiente tabla.

Escenario	Alcance de los daños	Ubicación de los daños	Grado de vulnerabilidad	Capacidad después de los daños	Filosofía de la recuperación
	DCA Limitado DCB Moderado DCC Severo	DIL Interna DLSI Interna DLE Externa DLS Costado DLOB Fondo	VB Básica VM Moderada VN Naval	PC1 Abandono seguro PC2 Flotar y Mover PC3 Operacional	RPB Básico RPI Intermedio RPA Avanzado
1	DCA	DLOB	VB	PC3	RPI
2	DCB	DIL	VN	PC3	RPI
3	DCB	DLSI	VN	PC2	RPI
4	DCC	DLSI	VB	PC1	RPI

Ejemplos de supervivencia requerida según el NSC.

Las categorías de los daños se basan en formas definidas, como se aprecia en la siguiente figura, y se utilizan de la siguiente manera: *esfera*, para las explosiones interiores o la mitad de la esfera en explosiones contra la parte exterior del casco; *cubo*, para volúmenes directamente afectados por el fuego y que pueden cambiar de forma para encajar el compartimento; *prisma horizontal*, para los daños al varar o encallar; y *prisma vertical*, para averías por colisión de la proa del otro buque o impacto mecánico.



Formas de daños según el NSC.

Por ejemplo, los peores daños a estudiar durante el diseño de un portaaviones son los clasificados como categoría C (DCC en la tabla de la página anterior) y están definidos por una esfera de 10 metros de radio, un cubo de 20 de lado, un prisma horizontal de 40 metros de longitud y base cuadrangular de cinco metros de lado y por un prisma vertical de 40 de altura y base cuadrangular de cinco de lado. Una avería es considerada de categoría C si se produce un deterioro del 50 por 100, tanto de la resistencia estructural como de sus elementos estructurales.

### A modo de resumen

Muchas han sido las vidas que se han perdido debido a los hundimientos de los buques de guerra, y muchas podrían haberse evitado si durante su diseño se hubiesen aplicado los criterios de estabilidad actuales expuestos en este artículo. Así, intentando evitar catástrofes como las comentadas, la industria militar naval se esfuerza por conseguir un equilibrio entre seguridad y capacidad militar. Pese a las diferencias intrínsecas en los modelos de construcción, cada vez más las Armadas están recurriendo a las SS. CC. para mejorar los niveles aceptables de seguridad de sus buques, acercándose a los criterios establecidos bajo legislación civil.



USS Cole tras el impacto.

Los reglamentos de las SS. CC. están establecidos dentro del marco de la legislación internacional inspeccionada por IMO, cuyos convenios no son siempre apropiados para la mayoría de los buques de guerra, pues la misión que se les encomienda demanda soluciones de diseño y operación que no son completamente compatibles con dicha filosofía y sus soluciones. Separar las reglas de las SS. CC. de los tratados IMO para aplicarlos a los buques de guerra puede llevar a la confusión y a una disminución de los estándares de seguridad. Por lo que, admitiendo que no hay organismo equivalente a la OMI para buques de guerra, la OTAN creó un equipo de especialistas que junto con la *Naval Ship Classification Association* (NSCA) desarrollaron un NSC, documento que proporciona un marco de referencia para que las Armadas tengan unos niveles aceptables de seguridad.

#### BIBLIOGRAFÍA

- PÉREZ FERNÁNDEZ, R. (2011): *Estudio de estabilidad en averías de buques. Desde los criterios usados más importantes hasta como aplicarlos en función del tipo de barco*. Editorial Anubis. Colección Docencia. (ISBN 978-84-15093-20-6).
- PÉREZ FERNÁNDEZ, R., y RIOLA, J. M. (2011): *Case study of damage stability criteria of merchant vessels and warships*. Damaged Ship. Conferencia Internacional del RINA. Londres. 26 y 27 de enero.
- RIOLA, J. M., y PÉREZ FERNÁNDEZ, R. (2009b): «Warship damage stability criteria case study». *Journal of Maritime Research*, vol. 6, n.º 3, pp. 75-100.
- (2009d): *Estudio comparativo entre los criterios de estabilidad de las Armadas norteamericana, británica y del SOLAS*. Primer premio en el 48.º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima. Vigo. 25 y 26 de junio.

*Harrier a bordo del *Illustrious*.*  
(Foto: J. Penuelas).

