

ÚLTIMOS CAMBIOS DE ESTABILIDAD EN EL NAVAL *SHIP CODE*

José María RIOLA RODRÍGUEZ
Doctor ingeniero naval



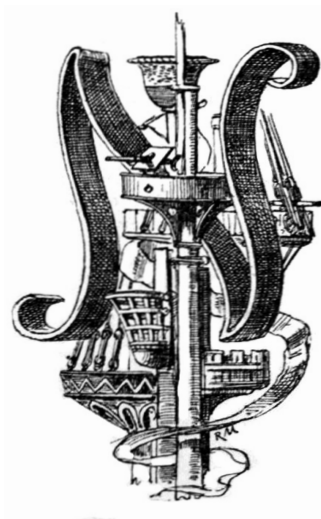
Manuel Jaime DE LA PUENTE BASALLOTE
Ingeniero naval y oceánico



Francisco GÓMEZ GÓMEZ
Ingeniero naval y oceánico



Introducción



AVEGANDO por la memoria de los últimos meses, emerge la impactante secuencia de imágenes de la *Nave Bettica SAR* de la Marina Militar que nos mostró el vuelco, frente a la costa de Libia, de un pesquero que llevaba más de 500 inmigrantes a bordo. Como no podía ser de otra manera, saltaron las alarmas en la calculadora gris que, a tenor de la experiencia, razonaba los detalles del evento. Y es que la estabilidad no es tema baladí, y de esta imagen particular se extrae que para el oleaje perceptible en el vídeo el movimiento de pesos (personas) altos (alejados del centro de empujes de la embarcación) conjuga mal con los criterios que, en general, habrían garantizado la navegación segura.

No hay dos buques iguales, y los factores que implican un riesgo para la navegación deben acotarse y cumplirse. Por ello y tradicionalmente, la «estabilidad» es una de las disciplinas más importantes de la ingeniería naval.



Vuelco de un pesquero con más de 500 personas frente a la costa de Libia.
(Foto: web oficial de Marina Militare de Italia. <http://www.marina.difesa.it>).

Puesto que el mar es único para todos los buques, es lógico pensar que los civiles y militares son susceptibles de sufrir el mismo tipo de accidentes (varadas, colisiones, incendios...) y de encontrarse ante el mismo tipo de adversidades (temporales y mala mar). Por otro lado, y por su propia idiosincrasia, los buques militares han de enfrentarse a amenazas adicionales debidas a acciones hostiles de diferente naturaleza e intensidad, suponiendo todas ellas un riesgo potencial para la estabilidad y flotabilidad de los mismos. Sin embargo, existen unidades militares con cometidos diferentes a los de un buque puramente de guerra, como pueden ser nuestros transportes ligeros o los de aprovisionamiento en combate, que en muchos aspectos, desde el punto de vista técnico, pueden tener más semejanzas con una embarcación civil que con otro tipo de buque militar.

Hasta el momento, una de las principales referencias era el *Design Data Sheet 079* (DDS-079) estadounidense o el *Naval Engineering Standard* (NES-109) británico. Recogiendo esta filosofía se creó el *Naval Ship Code* (NSC), que aunó la experiencia de las sociedades de clasificación y de los expertos en normativas de construcción naval militar de los países OTAN. Así, aparece un código capaz de dar distintas soluciones a problemas muy diversos para buques militares con cometidos y requisitos operativos muy diferentes.



El USS *Stark* con escora a babor tras los daños sufridos. (US Navy photo DVID #DN-SC-87-06412 by Fred Weiss. *Photographic History of the US Navy: NavSource*. www.navsource.org).

Este NSC fue publicado por la OTAN como *Allied Naval Engineering Publication 77* (ANEP-77). Su edición actual, la F (1), es de agosto de 2014 y, pese a que la anterior Edición E (2) es de enero de ese mismo año y el contenido entre ambas apenas sufre variaciones, hay una importante reestructuración del documento. La edición de la que más se ha escrito y sobre la que se basa un mayor número de artículos en castellano es la de 2009 (3). Por ello, parece interesante empezar este artículo analizando la evolución de los requisitos de estabilidad desde aquella.

Por otro lado, tenemos episodios relativamente actuales, como el ataque, en 1987, a la fragata estadounidense *Stark* por parte de un *Mirage F1* iraquí con dos misiles Exocet, que le produjo serios daños estructurales y una considerable escora permanente a su banda de babor. O el hundimiento de la corbeta antisubmarina surcoreana *Cheonan* por un ataque con torpedos llevado a cabo por Corea del Norte en 2010. Ambos casos refuerzan la importancia de

(1) NATO Standardization Agency (NSA). (August 2014). Naval ship code. ANEP-77 edition F version 1. Brussels: Allied Naval Engineering Publication.

(2) *Ibídem*, enero 2014.

(3) *Ibídem*, diciembre 2009.

la estabilidad y flotabilidad, principalmente después de averías, en los buques militares actuales. Para ilustrar el empleo del NSC, al final del desarrollo de los cambios introducidos se ha estudiado un caso práctico de estabilidad después de averías aplicado a un modelo tipo fragata.

Evolución de los requisitos de estabilidad en el NSC del año 2009 a 2014

En términos generales, la evolución de la Edición F del ANEP-77, respecto de la versión de 2009, es considerable en determinados aspectos, ya que se ha producido una gran reestructuración de la Tabla de Contenidos.

Y centrando la atención en el Capítulo III (*Flotabilidad, Estabilidad y*

Maniobrabilidad), cabe mencionar que los objetivos fundamentales y sus prescripciones no varían, pudiendo resumirse en proporcionar una adecuada reserva de flotabilidad y de maniobrabilidad, tanto con el buque intacto como en avería, permitiendo a la dotación llevar a cabo sus tareas de la manera más segura posible, protegiéndola en caso de accidentes y emergencias.

Sí se han producido variaciones reseñables en la redacción de las reglas dos (*Integridad de la Estanqueidad*) y tres (*Reserva de Flotabilidad*), extrayendo las prescripciones relativas a maniobrabilidad de esta última para constituir una propia, la cinco (*Maniobrabilidad*), y renumerando las antiguas.

Pero, sin duda, el mayor cambio del Capítulo se encuentra en la regla cuatro (*Reserva de Estabilidad*), pues donde la edición de 2009 del NSC solamente daba unos



USS Stark. Detalle de los daños externos. (Foto: USS Stark. US Navy photo DVID #DN-ST-89-01563 from NavSource. *Photographic History of the US Navy: NavSource. www.navsource.org*).

breves requisitos generales acerca de la estabilidad, la edición F ha introducido un abanico de opciones de estudio para la estabilidad intacta a elegir por los responsables del proyecto.

La primera opción es evaluar dicha estabilidad intacta, siguiendo un reglamento propio de la Administración Marítima Naval del país del buque; la segunda, seguir el Código Internacional OMI de Estabilidad Intacta para barcos mercantes en aquellos casos en los que se espere que el buque objeto de estudio vaya a tener que enfrentarse a condiciones operativas similares a aquellos; la tercera contempla que para buques cuyos requisitos de supervivencia sean similares a los que tradicionalmente se esperan de una unidad naval militar se aplicará el criterio de estabilidad intacta de Sarchin y Goldberg; y por último, para fragatas y destructores con formas convencionales, se puede emplear el método que estudia la estabilidad dinámica del buque intacto con viento y oleaje combinados, pero la Administración Marítima del país del buque debe completar el estudio contemplando otras amenazas adicionales.

La actual edición del ANEP-77 contiene en su Parte 2, para cada regla, un apartado llamado «Soluciones» que consta del siguiente párrafo traducido del inglés: «... alternativamente la Administración Naval Militar puede aceptar el uso de reglas validadas de sociedades de clasificación, convenciones internacionales u otra alternativa o estándar adicional válidos para facilitar la verificación de los requisitos (impuestos por la regla)».

Asimismo, en el párrafo 1.6 de la Regla 1, Capítulo III, Parte 3 de la ANEP-77 se menciona que «En general, los buques de guerra se diseñan para sobrevivir a acciones hostiles extremas y, aunque no estén incluidas en la regulación del código, este escenario no debe ser excluido y podría tener que ser estudiado si así lo requieren sus requisitos operativos».

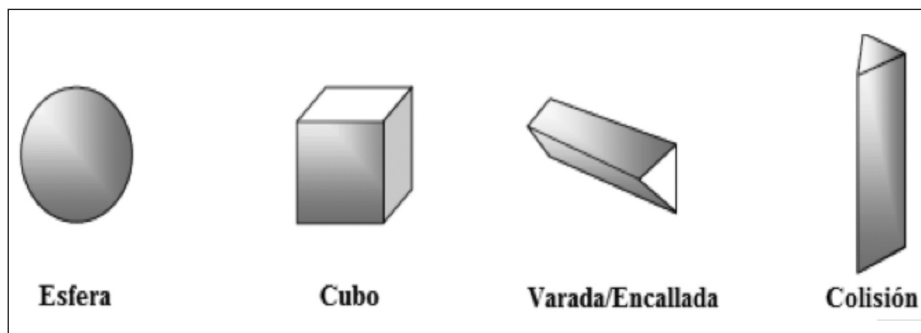
Por tanto, el estudio de la estabilidad en averías debe ser efectuado mediante alguna de las alternativas propuestas por el párrafo «Soluciones». Además, y tal y como se verá más adelante en este artículo, la Parte 3 detalla el tipo, localización y extensión de las averías, tipologías que deberán ser las tenidas en cuenta en el estudio de la estabilidad en dicha condición.

La definición de la «supervivencia requerida» al buque especifica entre otros aspectos el tipo, localización y extensión de las averías a las que será sometido durante su proyecto.

Por último, se ha producido una reestructuración de la Guía, que ha pasado de ser el antiguo Anexo A en las versiones anteriores a constituir la Parte 3 en su edición actual.

Averías consideradas por la Normativa NSC en la ANEP-77

En la definición del grado de supervivencia requerida, será cada Armada la que, en base a su experiencia y a los requisitos de Estado Mayor, establezca su



Formas en las que se basan las categorías de daños del NSC. Traducción de la fig. A5-2: *Damage Shapes*. (NATO Standardization Agency (NSA), August 2014. Naval Ship Code. ANEP-77 edition F version 1. Brussels: Allied Naval Engineering Publication).

propio enfoque. Para ello, el NSC proporciona un marco de opciones consensuadas por expertos de las que cada Armada tomará aquellas combinaciones de extensión de los daños (*categoría*), ubicación de los mismos, grado de vulnerabilidad, capacidad después de los daños y filosofía de recuperación que más se adecúen a las capacidades que pretenda obtener de su unidad naval.

Como el número de combinaciones es demasiado elevado para abordarlo en su totalidad en un artículo, este apartado se limita a definir la tipología de las averías consideradas o, como el propio Código las conoce, las *categorías* de los daños. Estas categorías están basadas en las geometrías definidas que pueden verse en la siguiente ilustración, y que se emplearán como siguen:

- Esfera: se utiliza para modelizar explosiones. Para aquellas explosiones que detonen contra la parte exterior del casco se utilizará la semiesfera introducida en el mismo.
- Cubo: se emplea para definir el volumen directamente afectado por el fuego y puede cambiar para adaptarse a la forma de los compartimentos considerados.
- Varada: se usa para describir los daños al varar, encallar o rasgar el casco con el fondo del mar; la arista que une los vértices superiores de los triángulos que forman las bases del prisma representa la máxima penetración del relieve del fondo marino en el casco.
- Colisión: se utiliza para describir la extensión de la avería producida en un abordaje al colisionar la proa de otro buque con el nuestro; el prisma se orientará de modo que una de sus aristas verticales represente la máxima penetración de la proa del buque que aborda en el casco del buque objeto de estudio.

Una vez definida la tipología de los daños, la extensión de los mismos se evalúa en tres categorías que se resumen en la siguiente tabla:

	Damage Category A (DCA)	DCB	DCC
Esfera	1 m de radio	4 m de radio	10 m de radio
Cubo	2 m de lado	8 m de lado	20 m de lado
Prisma horizontal	4 m de largo 0,5 m lado triángulo	16 m de largo 2 m lado triángulo	40 m de largo 5 m lado triángulo
Prisma vertical	4 m de altura 0,5 m lado triángulo	16 m de altura 2 m lado triángulo	40 m de altura 5 m lado triángulo
Temperatura pico	200 °C	300 °C	400 °C
Tiempo hasta alcanzar T^a pico	5 minutos	10 minutos	20 minutos
Duración del pico	10 minutos	20 minutos	30 minutos
Tiempo recuperación T^a normal	50 minutos	100 minutos	200 minutos

Extensión de los daños. Elaboración propia. Datos NSC/ANEP77 edición F, agosto 2014.

Si bien, como se ha dicho, cada Armada tiene libertad para aplicar la categoría de daños que considere oportuna, las magnitudes definidas para los mismos hacen que la aplicación lógica «restringa» en cierto modo esa magnitud. Por ejemplo, no tendría mucho sentido aplicarle la DCC a un patrullero, ya que las consecuencias podrían ser, en la mayoría de los casos, catastróficas para el mismo.

Clasificación de Servicio	Operacional			Supervivencia			Avería		
	Velocidad del viento		Altura significativa de ola (m)	Velocidad del viento		Altura significativa de ola (m)	Velocidad del viento		Altura significativa de ola (m)
	Grado (B'fort)	Diseño (nudos)		Grado (B'fort)	Diseño (nudos)		Grado (B'fort)	Diseño (nudos)	
Océanico Ilimitado	9	70	6,00	12	100	17,7	26	39	2,5
Océanico Limitado	8	60	6,00	10	80	11,2	26	39	2,5
Offshore	7	50	4,00	8	60	6,2	24	36	2,2
Offshore Restringido	6	40	2,50	7	50	4,3	22	33	1,8
Aguas Protegidas	5	30	1,25	6	40	2,5	20	30	1,5
Aguas Tranquilas	5	30	0,50	6	40	0,8	20	30	0,5

Condiciones ambientales. Traducción propia de la Tabla P3-III-3: Environment Conditions. (NATO Standardization Agency (NSA), August 2014. Naval ship code. ANEP-77 edition F version 1. Brussels: Allied Naval Engineering Publication).

Asimismo, en los requisitos operativos deben definirse las condiciones ambientales en las que va a operar el buque. Por tanto, este ha de diseñarse y probarse de modo que cumpla con su misión y con el resto de requisitos en dichas condiciones. Por ejemplo, en el caso de justificar la estabilidad o el comportamiento en la mar mediante ensayos en un canal de experiencias, estos deberán hacerse simulando las condiciones ambientales prescritas. Como referencia, la ANEP-77 propone una serie de valores (ver tabla página anterior) de velocidades de viento y altura significativa de ola que pueden servir de guía a la hora de definir los requisitos operativos.

Caso práctico

Se presenta a continuación un estudio comparativo de la estabilidad después de avería de un buque tipo fragata, cuyas características principales se recogen en la tabla siguiente:

CARACTERISTICAS DEL MODELO	valor	unidades
DESPLAZAMIENTO =	6.000,0	Tm
ESLORA TOTAL =	150,000	m
MANGA MÁXIMA =	18,000	m
PUNTAL EN LA MAESTRA =	10,000	m
CALADO DE TRAZADO =	5,000	m

Otros trabajos (4) (5) se han focalizado en el origen y/o en las diferencias entre los otros reglamentos mencionados al comienzo del trabajo, y presentaron estudios comparativos de los diferentes criterios, o sometieron al modelo a la categoría C del NSC. En este estudio se ha sometido al buque a las cuatro geometrías de avería posibles en las tres categorías de daño distintas (DCA, DCB, DCC).

Se han considerado las ubicaciones de daños que, para cada categoría, permitían comparar con la mayor analogía posible el efecto de estas averías en

(4) RIOLA, J. M., y PÉREZ-FERNÁNDEZ, R. (2009): «Warship damage stability criteria case study». *Journal of Maritime Research*, 6 (3), pp. 75-100.

(5) Ibídem: «Naval Ship Code. Una nueva normativa internacional para buques de guerra». *REVISTA GENERAL DE MARINA*, junio, 2008.

la zona de compartimentación estanca de mayor volumen, la de cámara de máquinas de propulsión. Así, en el costado de estribor, una explosión en la línea de flotación, el efecto de un fuego, una colisión o una varada simétrica de categoría A afectarían a una única zona estanca. Al aumentar a categoría B, estas mismas tipologías de daño afectarían a dos zonas estancas (cámara máquinas de propulsión y cámaras auxiliares) y, si fueran de categoría C, a tres zonas (se suma la cámara de generadores diésel). No obstante, por las características geométricas propias de una colisión y una varada, la primera podría afectar a un máximo de dos zonas y la varada a cuatro, e incluso a cinco; esta última situación no se estudió para mantener la antedicha analogía de los casos. Los resultados que se presentan a continuación se han obtenido con el módulo de estabilidad del programa Maxsurf (6).

Conclusiones al caso práctico

Tras comparar las curvas de brazos adrizantes, presentadas en el gráfico siguiente (página siguiente), se concluye que las peores geometrías de daños, de cara a la estabilidad después de averías, serían las de *esfera* y *cubo* de categoría C, ocurridas en el costado de estribor, aproximadamente al 40 por 100 de la *eslora total*.

A efectos de la estabilidad, en el caso menos crítico o categoría A, las zonas afectadas apenas difieren para los daños provocados por explosión, fuego o colisión. La varada es ligeramente más favorable.

En el caso intermedio, la categoría B, una explosión o un incendio en el costado de estribor tendrían similares efectos en la estabilidad. No así la colisión o la varada, que por la compartimentación resultan en una escora de equilibrio de mayor asimetría que, en la colisión solamente supone un desplazamiento hacia la derecha de la curva con respecto a la explosión y el fuego; y en la varada ya comienza a destacar el incremento de los valores de GZ y el alejamiento del ángulo de pérdida de estabilidad, lo que la favorece. No debe confundirse este efecto y pensar en la varada como algo positivo, pues paralelamente el buque habrá sufrido una pérdida de flotabilidad considerable que lo pone en una condición de riesgo evidente. Además, si se observa la gráfica, puede notarse que el buque, dada la asimetría de la inundación, queda con una escora permanente hacia la banda afectada.

En el caso más crítico, categoría C, similar al daño contemplado en la normativa clásica DDS-079, se asientan las diferencias entre las cuatro geometrías de daños, siendo la más favorable la varada, seguida de la colisión y, por último, la explosión y el fuego, que se mantienen similares y con equilibrio asimétrico de en torno a 10 grados a la banda de estribor.

(6) © Bentley Systems, Incorporated 2012. Maxsurf Stability. Windows version 18.

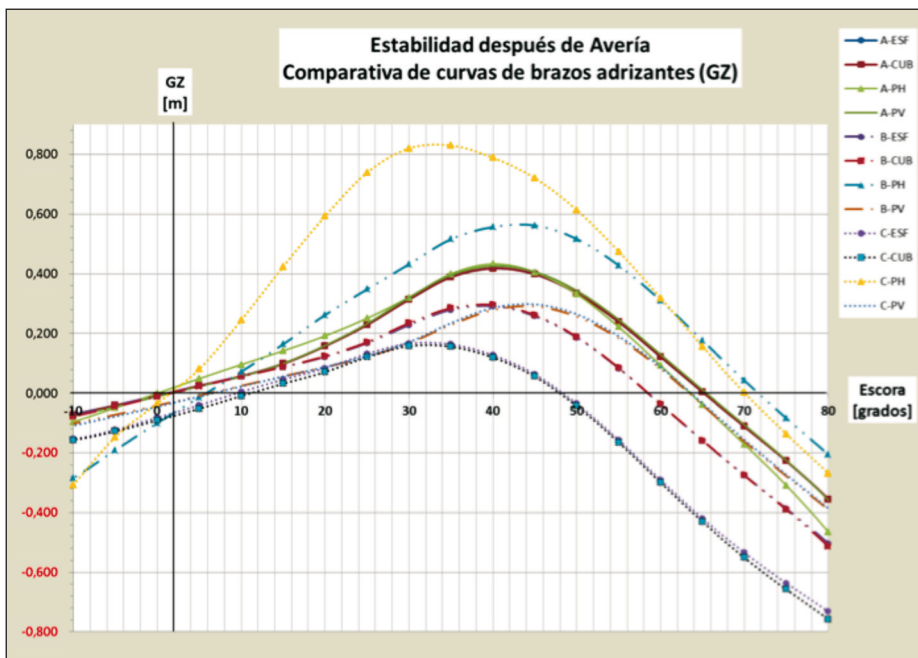


Gráfico comparativo de los brazos adrizantes GZ.

El hecho de verse favorecida la estabilidad cuando el daño tipo *varada* aumenta de categoría puede explicarse de manera sucinta por la dependencia directa (7) que tiene el brazo adrizante (GZ) con el de carenas inclinadas (KN), pues este, a su vez, es una característica geométrica del casco (depende de las formas) y, por tanto, de la posición del centro de carena que altera el trimado y la escora de equilibrio tras la avería. La posición del centro de carena del buque difiere con cada avería por ser la pérdida de empuje en las zonas averiadas distinta transversalmente si la avería penetra más en la dirección transversal al buque, y a lo largo de su eslora si al aumentar la categoría de los daños, como así se ha pretendido, afecta a más secciones transversales estancas.

(7) RAWSON, K. J., y TUPPER, E. C. (2001): *Basic Ship Theory. Fifth edition. Volume 1. Chapters 1 to 9: Hydrostatics and Strength.*