

Implicaciones de la Resolución IMO MSC 194 (80) en el Diseño de Buques Ro-Pax

Marcos Míguez González ¹⁾ Pilar Caamaño Sobrino ¹⁾ Vicente Díaz Casás ¹⁾ Alba Martínez López ¹⁾

*1) Grupo Integrado de Ingeniería, Universidade da Coruña
mmiguez@udc.es , pcsobrino@udc.es , vdiaz@udc.es , amartinezl@udc.es*

Resumen

En la Resolución MSC.194 (80) de la OMI se adoptan enmiendas al Convenio SOLAS 1974, incluyendo una nueva Parte B del Capítulo II -1 del mismo, donde se recogen los nuevos criterios armonizados de estabilidad tras averías, aplicables a todos los buques de pasaje y de carga de más de 80 m de eslora, construidos a partir del 1 de Enero de 2009, y que sustituirán a los criterios probabilísticos y determinísticos de aplicación hasta la fecha.

En este trabajo se realiza un análisis de los nuevos criterios, así como una comparación con los existentes en la actualidad. Asimismo, se estudia de qué manera pueden afectar al diseño de los distintos tipos de buques.

Por último, y una vez definidos cuáles serán los buques más afectados, se presentan alternativas de optimización del diseño que permitan, en unos casos alcanzar el cumplimiento de los nuevos criterios y en otros, alcanzar mayores niveles de seguridad.

Abstract

In OMI Resolution MSC.194 (80), some amendments to the SOLAS 1974 Convention are adopted. Among other modifications, a new Part B of Chapter II -1 is included, where new harmonized damage stability criteria are defined. These criteria will be applicable to cargo ships of more than 80 m length and to all passenger ships built after January 2009. They will substitute current probabilistic and deterministic damage stability criteria.

In this work, the new criteria are analyzed and compared with the current ones, studying how they affect the design of the different types of ships.

Once the most affected ships are defined, design optimization alternatives are presented in order to achieve in some cases the fulfillment of the new criteria and in others the improvement of ship damage stability characteristics.

Introducción

Si existe alguna causa que haya caracterizado la evolución de los criterios de estabilidad con averías de buques, tanto en el caso de los buques de carga como en los de pasaje pero, especialmente en estos últimos, ha sido la mediación de alguna catástrofe marítima.

La evolución de los criterios de estabilidad en averías de los buques de pasaje parte del método de esloras inundables, vigente desde finales del siglo XIX hasta la conferencia SOLAS de 1929, a partir de la que se complementó con cálculos determinísticos.

La efectividad de estos métodos comienza a ponerse en entredicho en la conferencia SOLAS de 1960, tras el hundimiento del trasatlántico Andrea Doria, entrando en vigor los nuevos criterios probabilísticos para buques de pasaje (Resolución A.265) en la asamblea de 1974 [1]. Estos criterios serían equivalentes a los anteriores; sin embargo, y dada su mayor severidad y complejidad, la mayor parte de buques continuaron usando los ya existentes.

El hundimiento del Herald of Free Enterprise en 1987 [2, 3, 4] inició los trámites para que, a partir de Abril de 1990 se aplicase a los buques de pasaje de transbordo rodado la norma conocida por "SOLAS 90", y que incluía mayores requisitos de brazos adrizantes tras avería, y criterios teniendo en cuenta el efecto de viento y balance y pasaje y embarcaciones de supervivencia a una banda.

Asimismo, en 1990 se aprueba el método probabilístico de cálculos de estabilidad en avería en buques de carga de más de 100 m de eslora (que en 1996 se reduciría a 80 m), que se recoge en la nueva parte B-1 del Capítulo II-1 del SOLAS (MSC.19(58)) [5]. En 1992, se endurecieron los requisitos de estabilidad con averías aplicables a los buques de pasaje de transbordo rodado, incluyendo los buques construidos antes de 1990. La entrada en vigor de estas enmiendas (SOLAS MSC 26(60)) [6], provocó el desguace o reforma de una buena parte de los buques Ro-Pax de la época.

De nuevo, en 1994, un accidente marca una nueva evolución en los criterios de estabilidad con averías. El hundimiento del ferry Estonia, tras inundarse sus cubiertas garaje, provoca un nuevo endurecimiento en los criterios de estabilidad tras averías aplicables a los buques de este tipo, así como de todos los buques de pasaje en 1997 [7]; también se propuso, sin éxito, la adopción de medidas regionales para obligar al cumplimiento de las reglas SOLAS 90 con agua embarcada en las cubiertas garaje.

Sin embargo, ocho países europeos firmaron, en 1996, el llamado Acuerdo de Estocolmo, en que se obliga a los buques de pasaje de transbordo rodado a cumplir con las reglas de SOLAS 90 con una cantidad de agua en la cubierta garaje dependiente de la altura significativa de oleaje de la zona donde navegue, para buques que navegasen entre sus puertos. Este acuerdo se elevó a Directiva de la Unión Europea en 2003 [8], para buques de línea entre puertos de la UE, hecho precedido por el hundimiento del ferry griego Express Samina en 2000.

El hundimiento del Estonia produce también la reacción de la OMI, que utilizando los resultados obtenidos en el proyecto HARDER ("Harmonization of Rules and DEsign Rationale") de la UE [9], aprobará, en 2005, la resolución MSC 194(80) [10, 11], en la que se recogen los nuevos criterios armonizados de estabilidad con averías para buques de carga y de pasaje.

Este conjunto de criterios probabilísticos supone un gran cambio respecto a los criterios utilizados hasta el momento, principalmente en el caso de los buques de pasaje, ya que la mayor parte de ellos se diseñan siguiendo los criterios determinísticos. Esta resolución será de aplicación a todos los buques de pasaje y a los de carga de más de 80 m que sean construidos a partir del 1 de Enero de 2009.

Los nuevos criterios armonizados de estabilidad con averías. La MSC.194 (80)

Los nuevos criterios armonizados de estabilidad con averías fueron aprobados por la Organización Marítima Internacional, por su Comité de Seguridad Marítima en Mayo de 2005, a través de la resolución MSC.194(80). Según esta, las existentes partes A, B y B-1 del Capítulo II-1 del Convenio SOLAS (en donde se recogen los requisitos de estabilidad con averías de los buques de pasaje y carga de más de 80 m de eslora), son sustituidas por un método común para ambos tipos de buques y recogido en las nuevas partes A y B (1, 2, 3 y 4). Estos criterios serán de aplicación para aquellos buques con puesta de quilla posterior al 1 de Enero de 2009. Inicialmente, se pretendía que estos criterios proporcionaran un nivel de seguridad equivalente al de las regulaciones existentes para todos los tipos de buques, aunque como se verá posteriormente, en realidad supuso un incremento en los requisitos para algunos de ellos.

La elaboración de este método viene precedida del proyecto de la Unión Europea HARDER (2000-2003). Este proyecto, que agrupaba a diversas empresas del ámbito naval, tenía como objetivo principal estudiar la validez y la influencia de un método de este tipo, así como nuevos posibles diseños para distintos tipos de buques. Uno de los grupos de trabajo de este proyecto estaba encargado de presentar al Subcomité SLF (Stability and Load Lines and on Fishing Vessels Safety) de la OMI, encargado de la redacción de los criterios armonizados, los resultados parciales del mismo. El trabajo de este proyecto se basó principalmente, en el análisis de una base de datos de más de 2900 casos de accidentes marítimos.

Finalmente, en Septiembre de 2003, los resultados de HARDER se aprobaron como base de trabajo para la redacción de los nuevos criterios de estabilidad con averías, que a su vez se aprobaron en el Subcomité SLF en Septiembre de 2004 y que en 2005 fueron enviados al MSC (Comité de Seguridad Marítima) para su aprobación.

En estos criterios, al igual que sucedía con los criterios probabilísticos aplicables a los buques de carga, la supervivencia del buque se valora comparando dos índices de compartimentado, el requerido (R), y el obtenido (A), que en todo caso debe ser superior al índice R. De este modo, además, puede compararse la capacidad de supervivencia de varios buques con sólo observar los valores de A de cada uno de ellos. El valor del índice R depende del tipo de buque de que se trate, siendo en el caso de los buques de carga sólo función de la eslora de compartimentado, mientras que para los de pasaje también intervienen el número de personas a bordo. El valor de A se calcula mediante la suma de los coeficientes de subdivisión obtenidos a tres calados, que teóricamente cubren el rango de operación del buque; el de compartimentado (ds), el mínimo de servicio (dl) y el de compartimentado parcial (dp) (el calado en rosca más el 60 % de la diferencia entre este y el calado de compartimentado), ponderando los resultados obtenidos (A_s al 40 %, A_l al 20% y A_p al 40 %).

El valor de A para cada calado, tal y como se realizaba en el método probabilístico para buques de carga, se obtiene de la suma para cada compartimento o grupo de los mismos considerados, a lo largo de toda la eslora del buque, del producto de "p" por "s". El primer factor representa la probabilidad de que, sin tener en cuenta las subdivisiones horizontales, sólo se inunde el o los compartimientos objeto de estudio, mientras que "s" representa la probabilidad de que el buque sobreviva a esa inundación.

Los estudios realizados por el proyecto HARDER, permitieron la elaboración de una distribución de probabilidad de avería en función de la eslora. A partir de esta distribución es de donde se obtiene el valor de "p" para cada caso de avería considerado.

Para tener en cuenta los efectos de una penetración transversal mayor que el simple forro, se utiliza un factor "r", que representa la probabilidad de que los espacios situados más hacia crujía que el considerado no se

inunden, es decir, cuando existe un compartimentado longitudinal. Este valor se obtiene también de una nueva distribución de probabilidad, que establece además como penetración máxima de avería la semimanga del buque, aunque sólo el 5% de las averías, según esta distribución, superan una penetración de B/5.

El otro factor a tener en cuenta, "s", y que representa la probabilidad de que el buque sobreviva a la inundación considerada, estima la capacidad de supervivencia del buque en el rango de escoras en que se obtienen brazos adrizantes positivos y el brazo adrizante máximo en ese rango, aunque ambos valores tienen un límite máximo a partir del cual no se incrementa el valor de "s". Además, si tras la avería la escora supera un límite superior, se supone que el buque no sobrevive. Los valores límite difieren dependiendo de si se trata de un buque de carga o de pasaje. Asimismo, y solo para el caso de los buques de pasaje, hay que realizar un análisis de supervivencia para las distintas condiciones intermedias de inundación y por el efecto de distintos momentos escorantes (viento, pasaje a una banda y embarcaciones de salvamento).

En caso de que tras una avería, o durante una condición intermedia, se inunden aberturas que puedan producir una inundación progresiva, alguna vía de evacuación horizontal, escotillas de evacuación vertical en la cubierta de cierre, o algún sistema vital para la supervivencia del buque tras la avería (sistemas de control de puertas estancas y medios de equilibrado, sistemas de mantenimiento de integridad de mamparos estancos, etc.), se considera que el buque no sobrevive a esa condición y el factor "s" se toma como nulo.

De igual modo que el factor "r" introducía en el cálculo la influencia del compartimentado longitudinal, el factor "v", multiplicador de "s", introduce la influencia de un posible compartimentado horizontal. Así, "v" representa la probabilidad de que no se inunden los compartimentos por encima del que se considera averiado. Al igual que el resto de parámetros, la distribución de probabilidad que define a "v" ha sido redefinida en este método.

Además de los cálculos probabilísticos, en este método, y exclusivamente para buques de pasaje, se recogen una serie de averías determinísticas, que buscan evitar o bien el fenómeno de la avería fatal, en el que una pequeña avería, que puede pasar inadvertida en los cálculos probabilísticos, podría causar la pérdida del buque, o bien asegurar al 100 % la supervivencia frente a una avería de especial importancia.

Asimismo, también se requiere la instalación de un doble fondo de unas determinadas características en los buques de pasaje y en los de carga (excepto buques tanque); los buques que no cumplan este último requisito, están obligados a demostrar la obtención de un factor "s" igual a 1 para una serie de averías en el fondo definidas en el método.

MSC.194 (80) frente a los criterios actuales de estabilidad con averías. Buques de carga y de pasaje

En este apartado se realizará una comparación entre los métodos actuales de cálculo de estabilidad con averías y el futuro método probabilístico armonizado, que entrará en vigor en Enero de 2009 para todos los buques de pasaje y de carga.

Hay que tener en cuenta que los fundamentos del nuevo criterio de estabilidad con averías están basados directamente en los criterios existentes de estabilidad con averías para buques de carga (SOLAS 1974 enmendado, Capítulo II-1, Parte B-1) [12]. Es por ello que la comparación entre los nuevos criterios aplicables y los existentes actualmente, será mucho más directa en el caso de los buques de carga que en el caso de los buques de pasaje, los cuales o bien se han construido de acuerdo a un criterio determinístico, con unos planteamientos totalmente diferentes a la MSC.194 (80) [10, 11, 13], o bien cumplen con unos criterios probabilísticos muy anteriores y diferentes a los aquí analizados.

Buques de Carga

Los criterios actuales de estabilidad tras averías aplicables a los buques de carga (SOLAS 1974 enmendado, Capítulo II-1, Parte B-1), aplicables a aquellos buques de carga de más de 80 m de eslora, siguen un planteamiento muy similar al ya descrito de la MSC. 194 (80).

Al igual que en el método ya descrito, la evaluación de la estabilidad se hace comparando dos índices de subdivisión, el requerido (R), y el obtenido (A), obtenido este último de la suma de los factores "p" y "s", que tienen el mismo significado que en el método ya visto.

En el cálculo de "p" también interviene la disposición transversal de compartimientos, mediante la inclusión del factor "r", que representa la probabilidad de que, una vez averiado el compartimento determinado, no se averíen los espacios adyacentes hacia crujía. La influencia del compartimentado horizontal se incluye en el cálculo mediante el factor "v", multiplicador de "s", que representa la probabilidad de que los compartimientos superiores al considerado no se inunden.

En primer lugar, evaluaremos las diferencias en los índices de subdivisión requeridos (R).

Para la definición de los nuevos valores de R, se realizó el análisis de un gran número de buques existentes, obteniendo los valores de A y R de cada uno de ellos según el método existente, y los valores de A según la nueva propuesta. El valor de R propuesto en el nuevo método era igual al cociente entre A y R según el criterio existente por el valor de A calculado por el nuevo método.

El proyecto HARDER estudió una base de datos de 131 buques [9, 14], proponiendo unos valores de R que resultaron ligeramente superiores a los que finalmente se adoptaron en el nuevo método. La principal conclusión de este proyecto, como se verá posteriormente, es que los buques más afectados, son los buques Ro – Ro y Car – Carrier. Es por ello que estos buques necesitarán de mayores compartimentados para cumplir con los nuevos métodos.

En lo que respecta al cálculo de A, se ha incluido una nueva condición de carga para su evaluación (tres en lugar de dos), así como la necesidad de que cada una de ellas alcancen, al menos, el 50% del valor de R .

Los análisis de la base de datos de averías realizados en el proyecto HARDER, han supuesto cambios en las distribuciones de probabilidad de avería tanto en lo que se refiere a la posición longitudinal, penetración y extensión vertical (factores "p", "r" y "v") y longitudinal.

En lo que se refiere a “p”, la actual distribución con averías más frecuentes en la zona de proa se sustituye por una uniforme, con contribuciones similares. Esto implica que en los nuevos diseños, habrá de tenerse más en cuenta el compartimentado en la zona de popa. Asimismo, también se modifica la distribución de la extensión longitudinal de la avería. Con un máximo de L/3, es una distribución en la que aproximadamente el 80 % de la probabilidad lo dan averías de menos de L/6 de extensión.

En cuanto a la penetración transversal, la distribución se ha modificado aumentando la probabilidad de averías con menor penetración, y limitando la penetración máxima a la semimanga (lo que puede implicar la avería de mamparos situados en crujía en zonas en que no se alcance la manga máxima).

La distribución de extensión vertical de avería también ha sido modificada, eliminando toda correlación entre este factor y la eslora del buque, y aumentando la contribución de las averías de mayor extensión (lo que es un problema grave para los buques Ro – Ro). Además, las averías bajo la flotación no están consideradas en esta distribución.

En lo que respecta al cálculo del factor de supervivencia “s”, el cálculo utilizado es muy similar entre ambos métodos, aunque se han variado los requerimientos en lo que se refiere a GZ máximo, rango de GZs positivos y ángulos de escora de equilibrio. En la siguiente tabla se resumen los valores exigidos en cada uno de los métodos:

Método	GZ Máx. (m)	Rango GZ (+)	Ángulo Escora Mín. (θ_{min})	Ángulo Escora Máx. (θ_{max})
SOLAS II-1 P. B1	0.10	20°	25°	30°
Nuevos Criterios	0.12	16°	25°	30°

En las siguientes gráficas puede apreciarse la influencia del GZ máximo y el rango de GZs positivos en el cálculo del factor “s”, comparando el método actual con el de próxima entrada en vigor (Figs. 1 y 2).

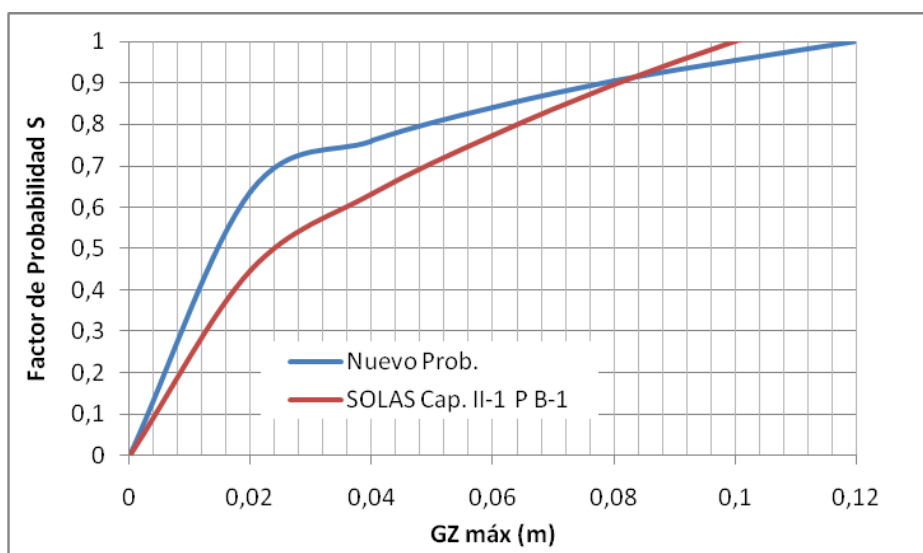


Fig. 1. Influencia de GZ máx en el cálculo de “s”.

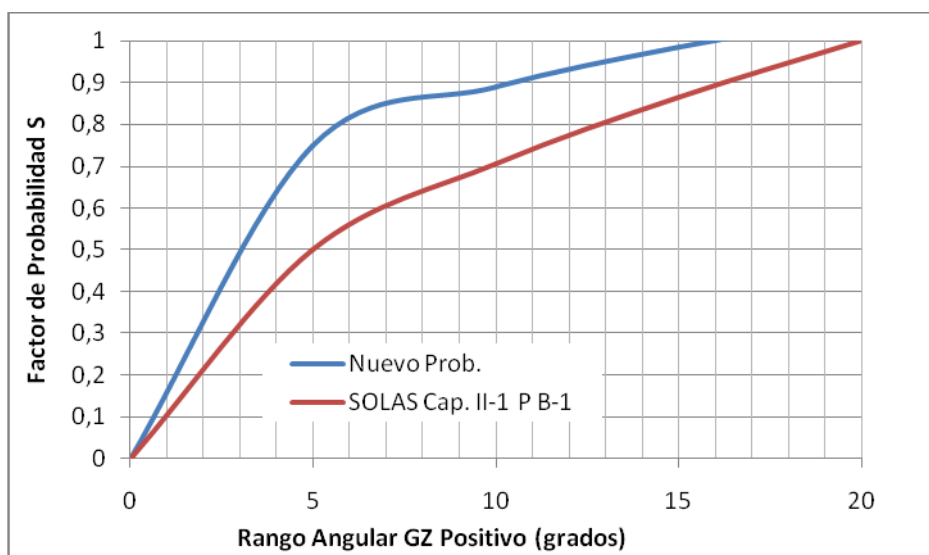


Fig. 2. Influencia del rango de GZ (+) en el cálculo de “s”.

Puede apreciarse que se ha producido una relajación en lo que se refiere al rango de GZs positivos, obteniendo en todos los puntos valores de “s” superiores a igualdad de rango en el caso del nuevo método probabilístico. En el caso de los GZ máximos, se ha aumentado el GZ que proporciona el factor $s=1$, aunque para valores de GZ inferiores a 0.09 aproximadamente, la curva correspondiente al nuevo método vuelve a estar por encima de la del método actual. Los valores correspondientes a los ángulos de escora mínimo y máximo (que se corresponden con valores de “s” 1 y 0 respectivamente) no cambian en el nuevo método.

Por último, hay que hacer referencia a las nuevas obligaciones de aquellos buques cuyo fondo /doble fondo no cumpla con las prescripciones de la Regla 9 del nuevo método y que en el método actual no estaban consideradas (ver el análisis del nuevo método probabilístico) y también a los cambios en las permeabilidades de los distintos espacios averiados. Estos se resumen en la siguiente tabla:

Tipo de Espacio	Permeabilidades			
	Nuevo Método			SOLAS II-1 P. B1
	ds	dp	dl	
Provisiones	0.60			0.60
Alojamientos	0.95			0.95
Maquinaria	0.85			0.85
Espacios Perdidos	0.95			0.95
Carga Seca				0.70
Carga Seca	0.70	0.80	0.95	
Contenedores	0.70	0.80	0.95	
Carga Rodada	0.90	0.90	0.95	
Cargas Líquidas	0.70	0.80	0.95	
Líquidos	0/0.95			0/0.95

Como puede verse, en el nuevo método probabilístico la permeabilidad de cada compartimento es función del calado de cada condición que se esté calculando. Además, lo que en el actual método se denominaba carga seca ha pasado a dividirse en tres tipos diferenciados de carga seca, entre los que se encuentran los contenedores y los vehículos. Este último es un caso especialmente relevante, ya que el aumento en la permeabilidad de los espacios destinados a los vehículos en los buques Ro-Ro (de 0.70 a 0.90/0.95), es otro de los condicionantes que causan la disminución en sus índices de compartimentado (A) respecto a los obtenidos con el método actual.

Buques de Pasaje

En el caso de buques de pasaje, la comparación entre los métodos en aplicación en la actualidad y el nuevo método probabilístico no es tan directa como en el caso de los buques de carga; en el caso de las reglas "SOLAS 90", estas siguen un concepto totalmente diferente al nuevo método; en el caso de la Resolución A.265, nos encontramos con dos métodos probabilísticos, aunque con una serie de diferencias sustanciales y de considerable importancia.

A la hora de establecer los Índices de Compartimentado Requerido (R) para los buques de pasaje, se planteó el problema de que en el caso de los buques SOLAS 90 no existía un factor A y uno R que representasen las características de supervivencia del buque, por lo que en estos casos, el cociente R/A se tomó igual a 1. Una vez analizada la base de datos, se comprobó que los índices R obtenidos eran comparativamente muy altos respecto a los que presentaba la Resolución A.265, y que los buques de pasaje de mayor eslora presentaban valores de A según el nuevo método, inferiores a otros buques de pasaje de menor eslora y a buques de carga de esloras similares.

Así pues, tomando el índice R como un indicador de seguridad relativa de buques, se comprobó que los buques de pasaje de gran eslora, y contruidos de acuerdo a las reglas de "SOLAS 90", presentan un grado de seguridad sensiblemente inferior al resto de buques [15].

A continuación, se presentarán las diferencias de mayor importancia entre los criterios aplicables en la actualidad y el futuro método probabilístico, pero de una manera independiente para la resolución A.265 y las Reglas SOLAS 90, ya que su propia naturaleza hace complejo un análisis común.

Resolución A.265

De entre los dos criterios para el cálculo de estabilidad con averías que se utilizan actualmente, la resolución A.265 es la más similar al nuevo método que entrará en vigor en 2009. Ambos son métodos probabilísticos, que se fundamentan en la comparación entre un índice de compartimentado requerido (R) y un índice obtenido (A), que representa la capacidad del buque a sobrevivir a una avería. Pero entre ambos existen varias diferencias que vamos a analizar.

En primer lugar, es que en el cálculo del coeficiente A, en la A.265 se presentan tres factores a analizar: "a", "p" y "s". El último de ellos ("s") tiene el mismo significado que en el nuevo método, mientras que el factor "p" del nuevo método será equivalente al "a-p" de la A.265. El factor "r" del nuevo método, y que incluye el efecto del compartimentado longitudinal, se utiliza también en la A.265, pero el factor "v", que tenía en cuenta el compartimentado horizontal, no se considera. En la A.265, la extensión vertical de la avería es siempre desde la línea base hasta arriba, sin límite. Esta es la primera diferencia de importancia.

Para la evaluación de la supervivencia del buque (factor "s"), se sigue un método similar, realizando los cálculos a tres calados (que teóricamente engloban todo el rango de operación del buque) y ponderando los valores para cada uno de ellos, aunque son diferentes a los usados en el nuevo método. Sin embargo, es en este apartado donde aparecen las principales diferencias entre ambos métodos. En primer lugar, la capacidad de supervivencia en la A.265 se vincula al radio metacéntrico y el francobordo tras avería, mientras que en el nuevo método esta está vinculada al brazo adrizante máximo, el rango de brazos adrizantes positivos y al ángulo de equilibrio tras la avería. Este último valor también se tiene en cuenta en la A.265; así:

Método	Ángulo de Escora Máximo Tras Avería
A.265	12 °
Nuevos Criterios	15 °

Además, en la A.265 se establece una cubierta de cierre límite de inundación, que será aquella que limita horizontalmente la avería. Como ya se ha visto, en el nuevo método esto ya no es de aplicación, y se ha sustituido como límite la cubierta que se considere una vía de evacuación horizontal (y que podría coincidir o no con la anterior).

Por último, en el cálculo del factor “s” las distintas condiciones se evalúan quilla a nivel, no se tienen en cuenta los efectos de momentos escorantes como el de pasaje a una banda, viento o botadura de embarcaciones de salvamento, ni se consideran los “s” correspondientes a inundaciones intermedias. De igual modo a como sucede en el nuevo método, la permeabilidad de los espacios destinados a carga varía con el calado (a mayor calado, se supone que el buque transporta más carga, y por lo tanto se asocia una menor permeabilidad). Sin embargo los valores definidos para carga seca han cambiado:

Tipo de Espacio	Permeabilidades				
	Nuevo Método			A.265	
	ds	dp	dl	ds	dl
Provisiones (Pañoles)	0.60			0.60	
Alojamientos	0.95			0.95	
Maquinaria	0.85			0.85	
Espacios Perdidos	0.95				
Carga Seca (función del calado)				0.60	0.95
Carga Seca	0.70	0.80	0.95		
Contenedores	0.70	0.80	0.95		
Carga Rodada	0.90	0.90	0.95		
Cargas Líquidas	0.70	0.80	0.95		
Líquidos	0/0.95			0/0.95	

Es especialmente relevante en este punto observar que la mayor variación se produce en el caso de carga rodada. En la resolución A.265, la permeabilidad de los espacios de carga rodada, que se asimilaban a carga seca, se obtenía como función del calado. Su valor máximo era de 0.95 (al calado en rosca) y el mínimo, al calado de compartimentado, era función de la diferencia entre este y el calado en rosca. El mínimo valor era de 0.60. En el nuevo método, puede apreciarse que pasa a ser de 0.90 al calado de compartimentado. Este incremento es de gran importancia al evaluar la estabilidad de los buques de pasaje de transbordo rodado, aumentando en un 50 % la cantidad de agua que puede acceder a los espacios de carga rodada a este calado.

Como ya se ha visto, en ambos métodos se propone la evaluación de ciertos casos determinísticos, que representan posibles averías que, por tener una pequeña probabilidad de aparición, no se fuesen suficientemente consideradas, pero que podrían llevar a la pérdida del buque. Vamos a comparar la extensión de avería definida en ambos casos, aunque los requerimientos tras avería en ambos casos son diferentes (radios metacéntricos y ángulos de equilibrio en la A.265, GZs, rangos de GZs positivos y ángulo de equilibrio en los nuevos criterios):

Método		Extensión de la Avería		
		Extensión Vertical	Extensión Longitudinal	Extensión Transversal
A.265		Sin Límite	Mín. (0.03·Ls + 3, 11 m)	B/5 m
Nuevos Criterios	≥ 400 Pax.	De L.B. a d _s + 12.5 m	0.03·Ls, valor mínimo 3 m	0.1·B, valor mínimo 0.75 m
	≤ 36 Pax.		0.015·Ls, valor mínimo 3 m	0.05·B, valor mínimo 0.75 m

Por último, hay que hacer también aquí referencia a las nuevas obligaciones de aquellos buques cuyo fondo /doble fondo no cumpla con las prescripciones de la Regla 9 del nuevo método y que en ninguno de los dos métodos de estabilidad con averías para buques de pasaje estaban consideradas.

SOLAS 90

De entre los métodos comparados, las reglas SOLAS 90 son las que más se diferencian de los nuevos criterios probabilísticos. No ya en sus requisitos, si no en el mismo método aplicado. Es por ello, que la comparación entre ambos es compleja, y limitaremos el estudio a ciertos aspectos reseñables, en especial comparando este método con los requerimientos de los casos deterministas presentes en el nuevo método probabilista.

En primer lugar, las condiciones en que se evalúa la estabilidad tras avería según SOLAS 90 son todas aquellas condiciones operacionales del buque, en lugar de una serie de calados como sucede en el nuevo criterio. Asimismo, en SOLAS 90 se establecen una serie de averías (en 2 o 3 compartimentos) y con una extensión definida.

Si comparamos las dimensiones de la misma con las exigidas en los nuevos criterios (en su parte determinística para buques de pasaje):

Método		Extensión de la Avería		
		Extensión Vertical	Extensión Longitudinal	Extensión Transversal
SOLAS 90		Sin Límite	Mín. (0.03·Ls + 3, 11 m)	B/5 m
Nuevos Criterios	≥ 400 Pax.	De L.B. a d _s + 12.5 m	0.03·Ls, valor mínimo 3 m	0.1·B, valor mínimo 0.75 m
	≤ 36 Pax.		0.015·Ls, valor mínimo 3 m	0.05·B, valor mínimo 0.75 m

Vemos que, al igual que sucedía en la A.265, las extensiones verticales y transversales han variado.

En SOLAS 90, la capacidad de supervivencia se asimila a los brazos adrizantes (GZ), al área bajo la curva de los mismos y el rango angular de brazos adrizantes positivos, por lo que en este campo, se asemeja más a los nuevos criterios que la A.265. Además, otra semejanza es que en los cálculos de avería se tendrán en cuenta condiciones intermedias y los efectos de los momentos escorantes ejercidos por el viento, pasaje a una banda y embarcaciones de supervivencia. Sin embargo, al contrario de lo que sucede con el nuevo método, también utiliza el radio metacéntrico como indicador de la supervivencia del buque en casos particulares de avería simétrica.

Si realizamos una comparación de los criterios exigidos en SOLAS 90 y en el nuevo criterio en su parte determinística:

Método	SOLAS 90		Nuevos Criterios
	1 Compart.	2 Compart.	
Ángulo Máx. Escora	7 °	12 °	7 ° → s = 1 15 ° → s = 0
GZ Máx.	Mín 0.1 m		0.12 m → s = 1
Rango GZ (+)	15 ° / 10 ° si área GZ + 15/rango		16 ° → s = 1
Área Bajo Curva GZs	0.015 m.rad		-

Como se puede ver, es complicado comparar directamente los valores limitantes entre ambos métodos, ya que estos, en el caso del método probabilístico, se utilizan en el cálculo de una probabilidad. Sin embargo, se aprecia que en casi todos los casos los valores mínimos considerados en SOLAS 90, que equivaldrían a un factor de supervivencia $s=1$, representan probabilidades elevadas de supervivencia en el nuevo método, aunque no la máxima en la mayoría de ellos. En cuanto a la permeabilidad de los espacios, vemos que en este caso no varían con el calado, y que además hay varios casos que no se contemplan. Vemos que el nuevo método sería más detallado en este aspecto:

Tipo de Espacio	Permeabilidades			
	Nuevo Método			SOLAS 90
	ds	dp	dl	
Carga / Provisiones	0.60			0.60
Alojamientos	0.95			0.95
Maquinaria	0.85			0.85
Espacios Perdidos	0.95			
Carga Seca				
Carga Seca	0.70	0.80	0.95	
Contenedores	0.70	0.80	0.95	
Carga Rodada	0.90	0.90	0.95	
Cargas Líquidas	0.70	0.80	0.95	
Líquidos	0/0.95			0/0.95

En ambos reglamentos se considera la posibilidad de que el buque esté equipado con sistemas de equilibrado tras avería, que comunican compartimentos simétricos para disminuir la escora producida si se avería uno de ellos. Sin embargo, el tiempo máximo de estabilizado sí ha cambiado. Este pasa de 15 minutos en las actuales reglas de SOLAS 90, a 10 minutos en el caso de los nuevos criterios armonizados.

Por último, destacar que el concepto de línea de margen también presente en este método como condicionante de la inundación del buque desaparece en el nuevo método, sustituyéndose por el de la cubierta que sea una vía de evacuación horizontal, lo que establecerá un nuevo condicionante en el diseño de los buques de pasaje de acuerdo a estos nuevos criterios.

Influencia de la MSC.194 (80) en los distintos tipos de buques. Buques más afectados

El Subcomité SLF de la OMI (Estabilidad, Líneas de Carga y Seguridad de Buques Pesqueros), encargado de la elaboración del nuevo método armonizado de estabilidad tras avería, debería considerar en su proceso los resultados del proyecto HARDER a medida que estos le fuesen siendo aportados. Este proyecto disponía de una base de datos de buques, de aproximadamente 200 unidades, y que fue escogida de manera que fuese representativa de la flota mundial bajo el Convenio SOLAS.

Es por ello que los trabajos de análisis de la flota en lo que respecta a la evaluación de los nuevos índices de subdivisión (Obtenido –A- y Requerido –R-) fue encargado al grupo de trabajo 5 del proyecto HARDER [15].

Los objetivos de este grupo comprendían la obtención de los valores de R para diferentes tipos de buques, tras analizar detalladamente la base de datos de la que se disponía, incluyendo el tipo de buque, características operacionales, condiciones de carga, disposición, etc., siempre teniendo en cuenta que lo que se pretendía, era obtener un método armonizado para buques de carga y de pasaje, pero cuyos requisitos fuesen equivalentes a los métodos existentes en la actualidad.

Asimismo, en este análisis debería considerarse la influencia de los requisitos regionales (Conferencia SOLAS de 1995) de estabilidad en averías, y especialmente el Acuerdo de Estocolmo.

En primer lugar, era necesaria la elaboración de una base de datos en que todos los tipos de buques, cumpliendo los diferentes criterios de estabilidad (SOLAS 90 y A.265 los de pasaje, SOLAS B-1 los de carga) estuviesen representados, de modo que se obtuviese una representación correcta de la flota mundial. En segundo lugar, se procedió al cálculo de los índices de subdivisión obtenidos “A” de estos buques, según los nuevos criterios propuestos por el subcomité SLF, y también según las propuestas de HARDER. Por último, partiendo del análisis de los valores obtenidos, se formulan los valores de los índices de subdivisión requeridos –R-, comparándolos con los existentes hasta el momento (A.265 y SOLAS B-1).

Teniendo en cuenta que se pretendía obtener un método equivalente a los ya existentes, el proceso seguido para obtener los valores de R para cada tipo de buque fue el siguiente. El cociente entre los índices de subdivisión obtenido y requerido según el nuevo método se iguala al cociente entre los índices de cada buque según el criterio seguido en su diseño. En el caso de buques de pasaje según SOLAS 90, este cociente se hace igual a la unidad.

$$\frac{R_{nuevo}}{A_{nuevo}} = \frac{R_{buque}}{A_{buque}}; R_{nuevo} = A_{nuevo} \cdot \frac{R_{buque}}{A_{buque}}$$

Así, los valores de $\frac{R_{buque}}{A_{buque}}$ serán los correspondientes al cálculo según SOLAS, Capítulo II-1 Parte B-1 para

los buques de carga, a los obtenidos según la resolución A. 265 en el caso de los buques de pasaje que cumplan este método, y será igual a 1 para los buques de pasaje que se hayan diseñado para cumplir con las reglas de SOLAS 90.

Una vez obtenidos los valores de R_{nuevo} para todos los buques de ese tipo de la base de datos, la distribución se trataba de ajustar mediante una ecuación del tipo

$$R = 1 - \frac{C_1}{L + C_2 \cdot N + C_3}$$

en donde L es la eslora de compartimentado y N el número de personas que el buque está autorizado a transportar.

Estos análisis fueron realizados para buques de carga y de pasaje por separado, y dentro de cada uno de estos grupos, se realizaron estudios para cada clase de buque determinado.

En el caso de los buques de carga, se consideró que la influencia de las personas a bordo, ya que suele ser muy reducida, podría ser despreciable frente a los otros términos de la ecuación. La distribución de R_{nuevo} obtenidos para los buques de carga seca de la base de datos fue la que se presenta en la Figura 3:

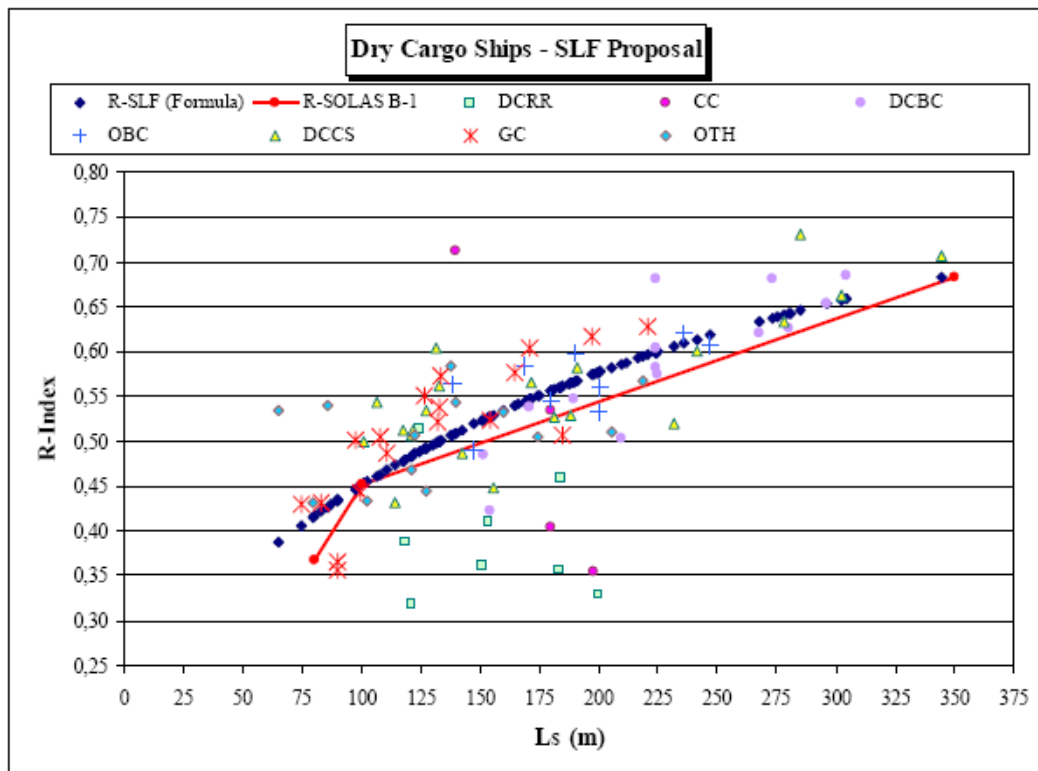


Fig. 3. Valores obtenidos para R. Buques de carga seca [15].

Como se puede apreciar, los valores de la regresión correspondientes a R_{nuevo} (R-SLF) son superiores a los requeridos en la parte B-1 del capítulo II-1 de SOLAS, y especialmente en buques inferiores a 100 m.

Asimismo, puede apreciarse en la gráfica que los buques de carga Ro – Ro (DCCR) y los Car Carriers (CC), son aquellos cuyos índices son menores, encontrándose en la mayoría de los casos por debajo de los valores de R propuestos en su rango de esloras.

Teniendo en cuenta que en un primer momento se pretendía que los nuevos criterios de estabilidad con averías fuesen equivalentes a los ya existentes, y que este tipo de buques cumplieran con la Parte B-1 del Capítulo II- 1 de SOLAS, sería necesario establecer un índice R específico para los mismos.

Así pues, tras analizar por separado y comparar el resto de buques de carga seca frente a los buques Ro – Ro y Car Carriers, y establecer distintos índices para cada uno de ambos tipos, puede apreciarse la gran diferencia entre los índices R de los buques de transporte de carga rodada (DCRR & CC) y el resto de buques de carga (Dry Cargo Ships) (Figura 4).

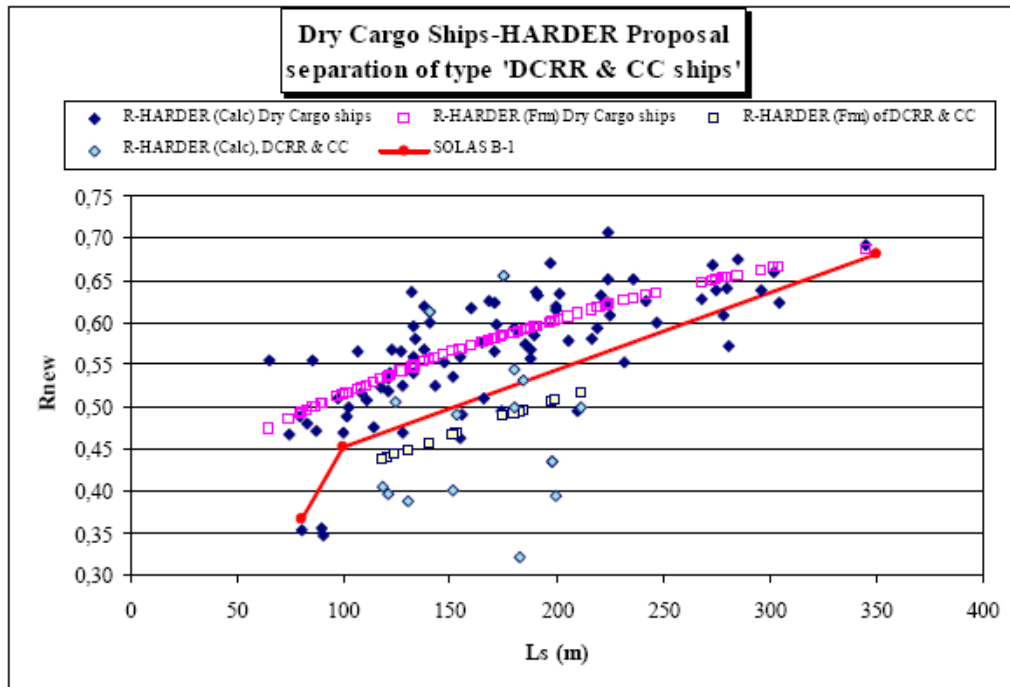


Fig. 4. Comparación de valores R. Buques de carga seca – Ro-Ro [15].

En este caso, los cálculos fueron realizados únicamente utilizando la propuesta de HARDER, pero que representa igualmente la gran diferencia entre ambos tipos de buques y el resto.

La decisión finalmente adoptada fue la de establecer un igual valor de R para todos los buques de carga. En el caso de que se hubiesen adoptado valores de R distintos en función del tipo de buque, que mantuviesen la equivalencia entre los criterios existentes y los propuestos, y dado que el valor de R representa un valor mínimo de seguridad ante una avería, el nivel de exigencia al que estarían sometidos estos buques sería muy inferior a barcos de carga general de similar eslora.

Teniendo en cuenta que se adoptó un mismo criterio para todos los buques, los buques Ro Ro y los Car Carriers han visto aumentados los requerimientos a los que estaban sometidos, y por lo tanto, muchos de los diseños existentes dejarían de cumplir con los criterios de estabilidad con averías propuestos, y que entrarán en vigor en Enero de 2009.

En el caso de los buques de pasaje, se plantearon dos alternativas de formulación para el cálculo del índice R. En una de ellas no se tenía en consideración la influencia del número de personas para las que se disponía de embarcaciones de supervivencia, mientras que en la otra sí que se consideraba, tal y como ya sucedía en la resolución A.265, y que fue la que finalmente se utilizó.

En un primer momento, se observó que la tendencia era a disminuir el índice de subdivisión R a medida que aumentaba la eslora y el número de pasajeros. Se observa por lo tanto que las unidades más grandes y con más pasajeros de la flota representativa de los buques de pasaje presenta niveles de seguridad inferiores a las unidades más pequeñas, y en muchos casos (sin considerar el número de pasajeros) incluso inferiores a buques de carga de la misma eslora.

Así, en la siguiente gráfica (Figura 5) puede apreciarse que los valores de $(1 - A)$ aumentan con la eslora y el número de pasajeros:

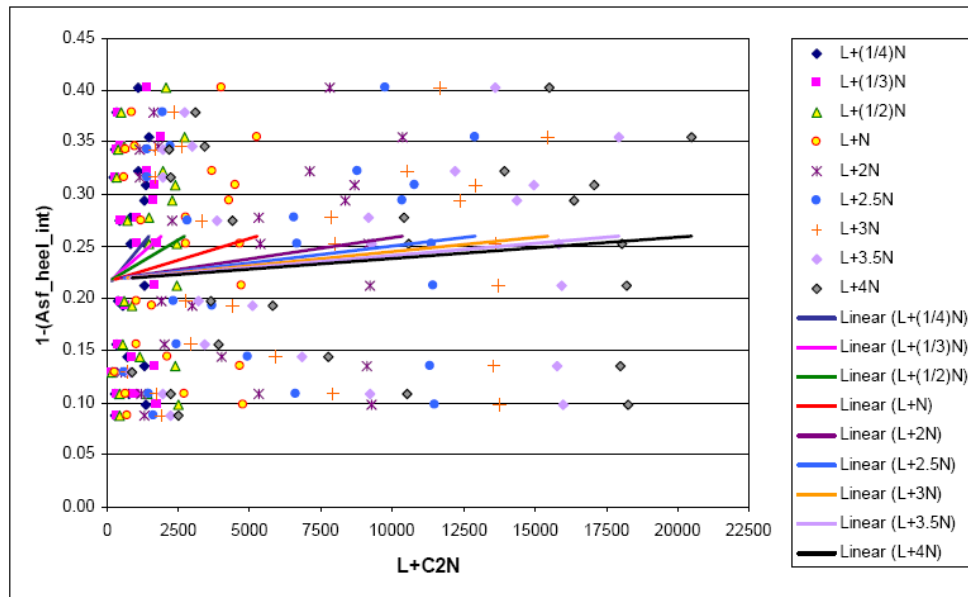


Fig. 5. Valores $(1-A)$ frente a eslora y pasajeros. Buques de pasaje [15].

Teniendo esto en cuenta, se decide redefinir la base de datos de buques utilizados, retirando de la misma aquellos que presenten niveles de seguridad que superen unos valores máximos o mínimos, definiendo unos límites de riesgo admisibles y un área de riesgo aceptable (análisis ALARP –as low as reasonable practical-).

Tras analizar varias regresiones, se decidió adoptar aquella en la que se maximizaban los buques dentro del área de riesgo admisible, frente a la opción que proporcionaba una regresión más ajustada (maximizando el R^2 de la regresión). La gráfica de la izquierda de la Figura 6 presenta el análisis de la base de datos con las rectas ALARP límites de la distribución, mientras que a la derecha se representa el factor R calculado según la fórmula finalmente propuesta, así como los valores A de los buques de la base de datos.

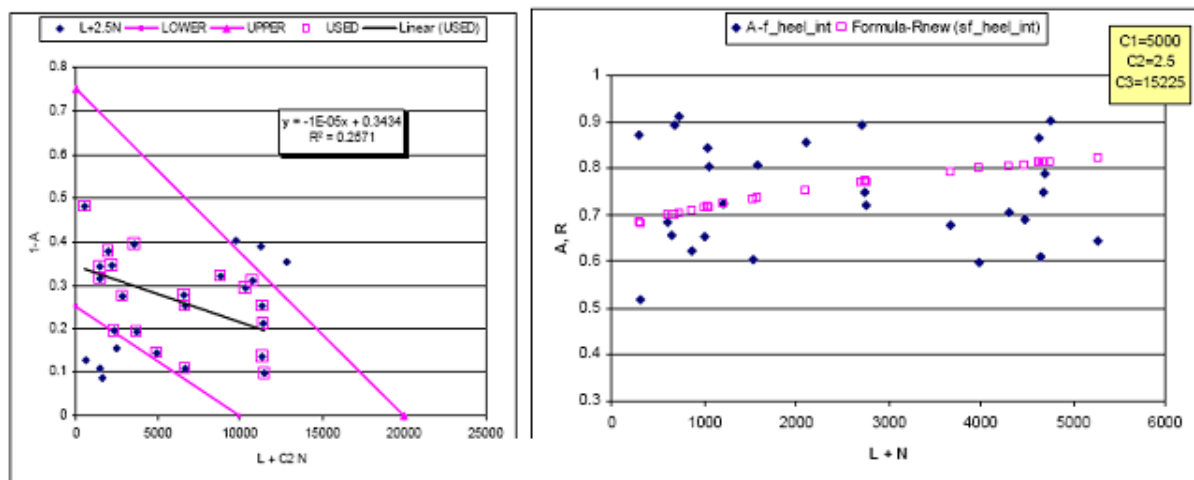


Fig. 6. Valores $(1-A)$. Buques de pasaje. Límites ALARP (Izqda.). Valores A y R de los buques de la base de datos (Dcha.) [15]

De este modo, se cumplía con la necesidad de obtener niveles de seguridad crecientes con el número de pasajeros y la eslora del buque. Asimismo, puede apreciarse que en una fórmula del tipo propuesto, la influencia de la eslora en el cálculo del factor R es mucho menor que la que tiene el número de pasajeros a bordo. Esto es debido a la mayor importancia que podría tener en caso de un accidente de un buque de este tipo, la pérdida de vidas frente al coste del buque.

Tal y como se puede apreciar en la gráfica anterior, los buques más afectados por la entrada en vigor de las nuevas regulaciones serán los buques de pasaje de mayores esloras y más pasajeros a bordo (grandes cruceros con más de 2500 pasajeros), los cuales presentan valores de seguridad inferiores a buques más pequeños e incluso a buques de carga de similar eslora. Por lo tanto, la equivalencia de estos nuevos criterios con los actuales requisitos tampoco se cumplirá en este caso.

Asimismo, se estudió la influencia de la presencia de agua embarcada en las cubiertas garaje, concluyéndose que no sería necesario tener en cuenta criterios adicionales (como el Acuerdo de Estocolmo) que valoran este efecto [15].

Por último, decir que los cambios que se han incluido en las permeabilidad de los espacios de carga, ha hecho que los grandes buques de pasaje y transporte de vehículos se encuentren también entre los más afectados.

Optimización del compartimentado. Cumplimiento de MSC.194 (80) y mejora de la seguridad

Tal y como se ha mencionado, los buques más afectados por la entrada en vigor de los nuevos criterios, son los buques de carga de transbordo rodado y los Car Carriers, y los buques de pasaje de mayor eslora y número de pasajeros, así como los grandes buques ferries de pasaje. Estos últimos, además de sufrir un endurecimiento de los requisitos que les son de aplicación y teniendo en cuenta que en su mayor parte son diseñados de acuerdo a las reglas de SOLAS 90, verán también cambiada de manera radical la filosofía de sus criterios de estabilidad con averías.

Teniendo en cuenta que los nuevos criterios son de aplicación a todos los buques construidos a partir de Enero de 2009, y que no tienen carácter retroactivo, no tendrá mayor influencia en la flota existente, salvo que, en comparación con los buques construidos a partir de este momento, presentarán niveles de seguridad inferiores ya que, como se ha explicado, la equivalencia entre los criterios existentes y los nuevos no se ha conseguido en muchos casos, entre ellos el caso de los buques de pasaje de transbordo rodado.

Sin embargo, la filosofía de diseño de este tipo de buques sí deberá cambiar, adaptándola a los nuevos criterios. Muchos de los buques existentes no cumplirán con los requisitos que en breve entrarán en vigor [16], y por lo tanto sus diseños deberán ser modificados si se desea utilizar ese buque como modelo para el diseño de otro similar, práctica ampliamente utilizada en el sector.

Así, a la hora de evaluar la posible influencia de las modificaciones a realizar en los mismos, hay que tener en cuenta factores geométricos, de compartimentado y operacionales.

Los primeros se refieren a las características principales del buque en lo que a dimensiones se refiere, y a su carena y disposición exterior. Los segundos se refieren exclusivamente al compartimentado interno: número y posición de mamparos transversales y longitudinales, cubiertas, etc. Por último, los factores operacionales corresponden a la condición de carga que se desee evaluar: altura del centro de gravedad, calado y trimado, escora, etc.

El primer grupo condicionará la obtención de un adecuado índice de subdivisión ya que los brazos de adrizamiento, en los que se basa el cálculo de los índices de supervivencia, dependen de estos en gran medida. Es por ello que cuanto mayor sea la curva de brazos de adrizamiento del buque en estado intacto, mayor lo será en el caso de una avería y por tanto, mayor serán los índices de subdivisión obtenidos.

En lo que se refiere al compartimentado interno, y en la influencia del mismo en el cálculo del índice de subdivisión "A", vamos a hacer referencia al artículo de G. Simopoulos et Al. [17], en el que se recogen varios estudios realizados dentro del proyecto de la Unión Europea ROROPROB (en el que se busca optimizar el diseño de buques Ro-Ro siguiendo como base los criterios probabilísticos), incluyendo la influencia de distintos parámetros representativos del compartimentado en el cálculo de A, en un buque Ro-PAX de unos 170 m de eslora y 28 m de manga.

La influencia que el número de compartimentos estancos tiene sobre el factor A es asintótica, acercándose a su máximo a partir de 20 compartimentos (Figura 7). La contribución al índice A por la adición de un nuevo mamparo transversal estanco, tiene un máximo en 11 compartimentos; a partir de 20 compartimentos, la contribución es muy pequeña (Figura 8).

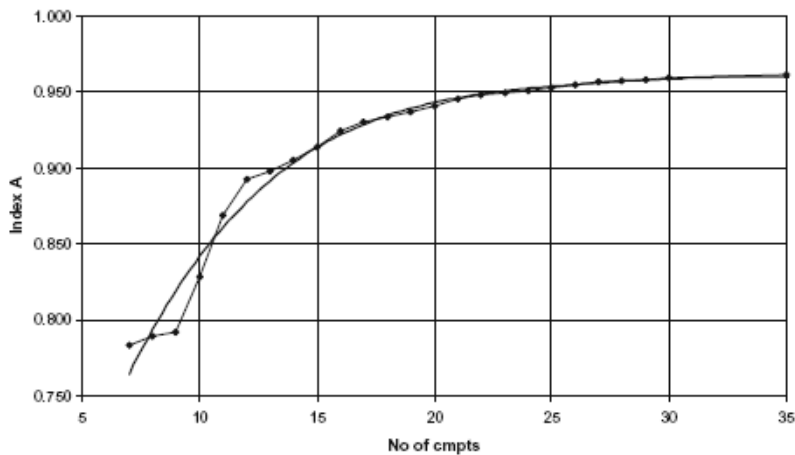


Fig. 7. Influencia en A del número de mamparos transversales estancos [17].

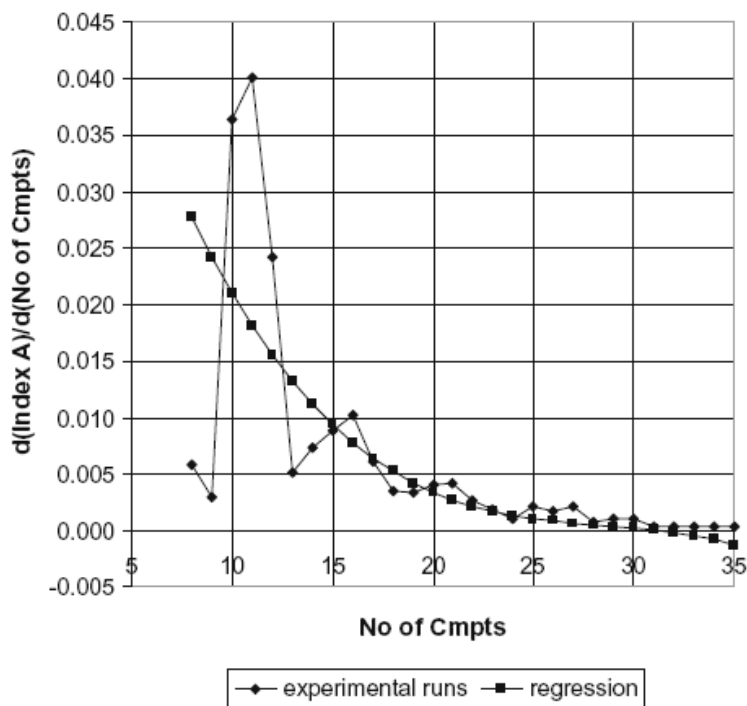


Fig. 8. Contribución a A de un nuevo mamparo transversal estanco [17].

La influencia de la distancia al forro de los mamparos longitudinales puede verse en la Figura 9 (Condición L2CC-D – con equilibrado-, L2NC-D – sin equilibrado-). En ella, se han calculado dos condiciones de carga (D y R), y se ha valorado la presencia o no de sistemas de conexión entre tanques laterales simétricos, de manera que la escora se reduzca en caso de avería de un compartimento transversal. Puede apreciarse que la influencia de la distancia de los mamparos longitudinales al forro (b) tiene gran importancia en caso de no disponerse de sistemas de compensación, ya que la escora debida a la inundación de un compartimento lateral aumenta con el volumen del mismo. En el caso de no disponerse sistemas de compensación (•), la distancia óptima se encuentra cerca de B/5.

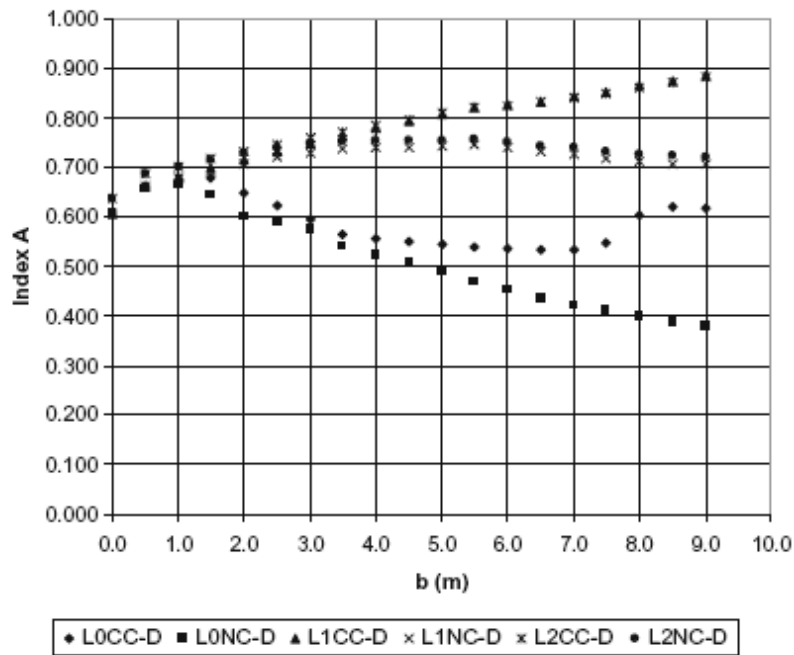


Fig. 9. Contribución a A de la distancia al forro de los mamparos longitudinales [17].

Por último, considerar también la influencia del compartentado horizontal, incluyendo en este el doble fondo y la cubierta garaje principal (Figura 10). Así, puede apreciarse que el desplazamiento vertical de los mismos tiene una elevada influencia en el valor de A (elevaciones de 20 cm suponen un incremento cercano al 2 % del índice A).

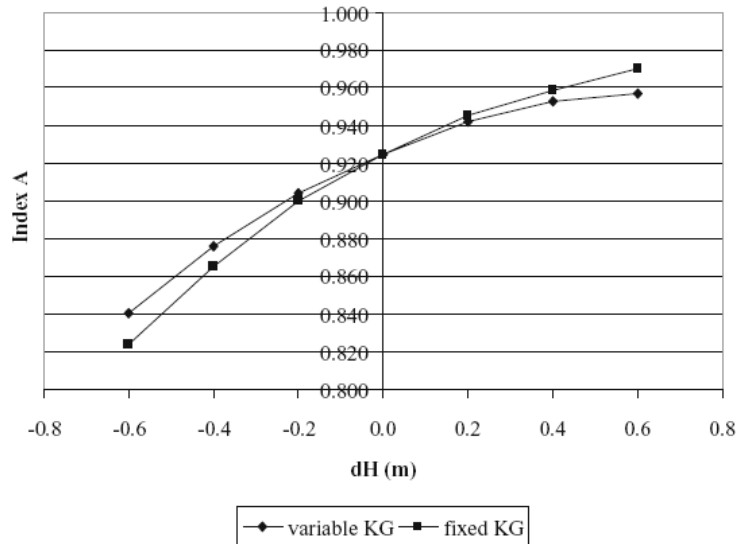


Fig. 10. Contribución a A de la variación en la altura del doble fondo y la cubierta garaje principal [17].

En lo referente a los factores operacionales, el valor de A disminuye con el aumento de KG, aunque a partir de un valor límite, la disminución es muy acusada. Sin embargo, la contribución del trimado es prácticamente despreciable [17].

Conclusiones

En Enero de 2009 entrarán en vigor los nuevos criterios armonizados de estabilidad con averías, que sustituirán al Capítulo II-1, Parte B-1 de SOLAS en el caso de los buques de carga, y al Capítulo II -1, Parte B de SOLAS y a la Resolución A.265 para los buques de pasaje.

Estos nuevos criterios representan un salto de importancia, y muy especialmente para el caso de los buques que usualmente se han clasificado según las reglas SOLAS 90, ya que en este caso también cambia por completo el procedimiento de evaluación de estabilidad.

Respecto a los criterios probabilísticos existentes, es reseñable el cambio que se ha producido en todas las distribuciones de probabilidad de los distintos parámetros que intervienen en el cálculo, obteniendo las mismas de una numerosa base de datos de averías analizada por el proyecto de la UE HARDER.

Además de estos cambios, existen otros que también tendrán una especial importancia a la hora de diseñar nuevos buques de acuerdo con estos estándares, como pueden ser cambios en la permeabilidad en el caso de espacios para carga rodada o la no consideración de la línea de margen como factor determinante de la supervivencia del buque.

En un principio, los nuevos criterios deberían presentar una equivalencia en lo que se refiere a nivel de exigencia a los criterios actuales, es decir, un buque que actualmente cumpliera con los criterios correspondientes también debería cumplir con los armonizados. Este nivel de exigencia venía determinado por el índice de subdivisión requerido (R), que determina el mínimo índice de subdivisión que debe presentar el buque, función de su eslora y del número de personas y botes salvavidas a bordo (en el caso de buques de pasaje).

La realización de estudios para la obtención de un índice armonizado para todos los tipos de buque fue también tarea del proyecto HARDER, que tras realizar el análisis de una base de datos representativa de la flota mundial, puso de manifiesto que había una serie de buques que presentaban unos niveles de seguridad inferiores frente a otros buques de su misma eslora. Estos buques eran, dentro de los de carga, los Ro-Ro y los Car Carriers, y dentro de los de pasaje, los Ferries y los grandes cruceros.

Se presentaron distintas alternativas para hacer frente a esta situación (entre las que se encontraba la utilización de distintos índices R según el tipo de buque) y conseguir equivalencia de criterios. Esta opción presentaba un problema, ya que teniendo en cuenta que el índice R es un indicativo de la seguridad, se tendrían buques con un nivel de supervivencia frente a las verías muy inferior a otros buques de similares dimensiones. Esto era especialmente importante en el caso de los grandes buques de pasaje, ya que los mismos presentaban niveles de seguridad inferiores a las unidades más pequeñas y con un número mucho menor de pasajeros a bordo.

Finalmente, la decisión tomada fue la de considerar un único índice R (diferenciando entre buques de pasaje y de carga), por lo que aquellos diseños que presentaban unos niveles de supervivencia inferiores, han visto incrementados los requisitos que deberán cumplir.

Por lo tanto, será necesario modificar los diseños actuales para obtener valores de supervivencia, actuando sobre los factores geométricos del buque, sobre su subdivisión interna y sobre sus condiciones de carga.

En este trabajo, se presentan algunas indicaciones sobre cuáles son los efectos sobre el índice de subdivisión obtenido de variaciones en los tres tipos de factores anteriores.

Asimismo, se inicia una línea de trabajo enfocada a la obtención de soluciones prácticas que permitan, partiendo de diseños existentes, obtener nuevos buques cuya capacidad de supervivencia tras una avería, evaluada según estos nuevos criterios, sea óptima.

Referencias

- [1] Organización Marítima Internacional. Resolución Asamblea A.265 (VIII). Reglas de Compartimentado y Estabilidad para Buques de Pasaje, Equivalentes a la Parte B del Capítulo II de la Convención Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, 1960. 20 de Noviembre de 1973.
- [2] M.V. Herald of Free Enterprise. Report of Court No 8074. Formal Investigation. Marine Accident Investigation Branch. Department of Transport, UK Government. Septiembre de 1987.
- [3] Organización Marítima Internacional. Resolución MSC.11(55). Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as Amended. 21 de Abril de 1988.
- [4] Organización Marítima Internacional. Resolución MSC.12(56). Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as Amended. 28 de Octubre de 1988.
- [5] Organización Marítima Internacional. Resolución MSC.19 (58). Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as Amended. 25 de Mayo de 1990.
- [6] Organización Marítima Internacional. Resolución MSC.26 (60). Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as Amended. 10 de Abril de 1992.
- [7] Organización Marítima Internacional. Resolución MSC.65 (68). Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as Amended. 4 de Junio de 1997.
- [8] Directiva 2003/25/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de Abril de 2003, sobre las prescripciones específicas de estabilidad aplicables a los buques de pasaje de transbordo rodado. Diario Oficial de la Unión Europea. 17 de Mayo de 2003.
- [9] HARmonisation of Rules and Design Rationale. HARDER. Thematic Network SAFER EURORO II, Newsletter Issue No. 2. Junio de 2004.
- [10] Organización Marítima Internacional. Resolución MSC.194(80). Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as Amended. 6 de Junio de 2005.
- [11] Organización Marítima Internacional. Resolución MSC.216(82). Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as Amended. 8 de Diciembre de 2006.
- [12] Organización Marítima Internacional. SOLAS 1974. Consolidated Edition 2004.
- [13] Organización Marítima Internacional. MSC.1/Circ.1226. Interim Explanatory Notes to the SOLAS Chapter II-1. Subdivision and Damage Stability Regulations. 15 de Enero de 2007.
- [14] R. Tagg, C. Tuzcu. A Performance-based Assessment of the Survival of Damaged Ships- Final Outcome of the EU Research Project HARDER. Proceedings of the 6th International Ship Stability Workshop, Webb Institute. 2002.
- [15] Organización Marítima Internacional. SLF 46/ INF. 5. Development of Revised SOLAS Chapter II-1 Parts A, B And B-1. Evaluation of Required Subdivision Index R for Passenger and Dry Cargo Ships. Report from the research project HARDER. Junio 2003.

- [16] J. Schreiber. SOLAS 2009 and IMO/Circ.1891 (Stockholm Agreement).Damage Stability Investigation of two ships and contrast of the requirements. Technische Universität Hamburg-Harburg. 2006.
- [17] G. Simopoulos, D. Konovessis. D. Vassalos. Sensitivity analysis of the probabilistic damage stability regulations for RoPax vessels. Journal of Marine Science and Technology, 13, pp 164-177. 2008.
- [18] D. Vassalos, A. York, A. Jasionowski, M. Kanerva, A. Scott. Design implications of the new harmonised probabilistic damage stability regulations. International Shipbuilding Progress 54, pp 339-361. 2007.
- [19] C. Arias Rodrigo, J. de Juana Gamo. El Nuevo Cálculo de Compartimentado 2009, Armonizado para Buques de Carga Seca y Buques de Pasaje.
- [20] Organización Marítima Internacional. SLF 47/3/8. Development of Revised SOLAS Chapter II-1 Parts A, B And B-1. Report of the Intersessional Correspondence Group - Part 3. Minimum values of the index A at specific draughts and required subdivision index R. Julio 2004.
- [21] Organización Marítima Internacional. SLF 47/3/8. Development of Revised SOLAS Chapter II-1 Parts A, B And B-1. Report of the Intersessional Correspondence Group (Part 2B). Sample ship recalculation results. Junio 2004.