

Un sistema embarcado de evaluación de la estabilidad y ayuda al patrón de buques de pesca

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

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

Resumen

La actividad de la pesca se encuentra, dentro del sector marítimo, a la cabeza en lo que se refiere a accidentes y pérdidas de buques. Una de las principales causas de estos accidentes es la pérdida de estabilidad y problemas asociados a esta, en situaciones que en muchas ocasiones las tripulaciones desconocen cómo abordar, entre las que se pueden encontrar la pérdida de estabilidad propiamente dicha, la navegación con mares de popa o la resonancia paramétrica.

En este trabajo se presentan las investigaciones llevadas a cabo por el Grupo Integrado de Ingeniería para el diseño de un sistema embarcado de evaluación de la estabilidad en pesqueros que, de una manera sencilla, sea capaz de proporcionar a los patrones de las embarcaciones pesqueras información acerca de la estabilidad de su buque, los posibles riesgos a los que puede enfrentarse y posibles actuaciones para evitar los mismos.

Abstract

Fishing is at the front of the maritime sector in accidents and ship losses. One of the main causes of these accidents is the loss of stability and its associated problems, such as pure loss of stability, sailing in following seas (broaching and surf-riding) or parametric rolling. In many cases, the crews of the vessels don't know how to deal with these situations.

In this paper, the research done by the Integrated Group for Engineering Research of the University of A Coruña to develop an onboard stability evaluation system for fishing vessels is presented. This system should provide the skippers of fishing vessels with information about the stability of their ships in a simple way, about the risks they could be facing and giving advice on how to avoid them.

Índice:

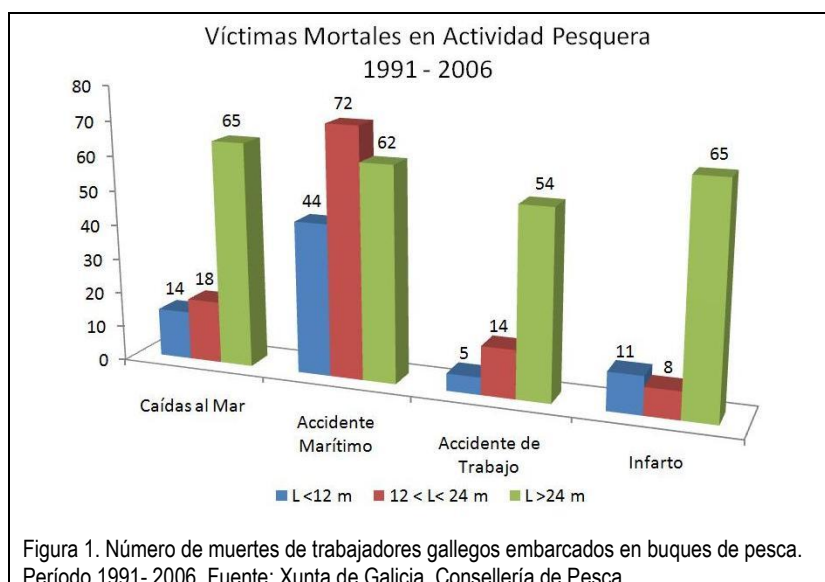
- Introducción
- La actividad pesquera. Buques de pesca
- Requisitos normativos de estabilidad aplicable a buques de pesca
- Problemas asociados a la estabilidad de los buques de pesca
- Sistema de evaluación de estabilidad. Descripción
- Sistema de evaluación de estabilidad. Estado actual de desarrollo
- Sistema de evaluación de estabilidad. Trabajo futuro
- Conclusiones
- Bibliografía

Introducción

La actividad pesquera representa una contribución cercana al 0.2 % del producto Interior Bruto estatal y proporciona empleo a unas 70.000 personas. Aunque realmente no sea una cifra elevada, la pesca tiene un carácter marcadamente regional y su contribución al PIB de las zonas altamente dependientes puede llegar a valores cercanos al 15 % [1]. En España, Galicia, con más de la mitad de la flota y los tripulantes, Andalucía y el País Vasco, son las comunidades en que el sector de la pesca tiene mayor importancia, aunque esta es alta en la mayor parte de las comunidades costeras.

A pesar del relativamente pequeño número de empleos que proporciona, el sector de la pesca es uno de los de mayor siniestralidad laboral, precedido a nivel estatal en los últimos años por el sector de la construcción, el transporte por carretera y la agricultura, aunque considerando que el número de trabajadores en los mismos es muy superior al sector de la pesca. Sin embargo, si tenemos en cuenta las ya mencionadas zonas altamente dependientes, puede apreciarse que la siniestralidad relativa aumenta. Así, en Galicia, el sector de la pesca recoge en los últimos años el mayor número de siniestros mortales durante la jornada de trabajo, sólo por detrás del sector de la construcción [2].

Tomando el caso de Galicia como representativo del sector a nivel estatal, considerando el hecho de que la gran mayoría de la flota y las tripulaciones españolas pertenecen a esta comunidad autónoma y analizando los datos de accidentes laborales mortales del sector [3,4], puede observarse que la mayor parte de las bajas se han producido por accidentes marítimos (es decir, vuelcos, inundaciones, abordajes, varadas o incendios) con más de la mitad de los casos, por delante de caídas al mar, accidentes laborales (golpes, caídas, etc.) e infartos. Dentro de los accidentes marítimos, los siniestros debidos a problemas de estabilidad (vuelcos o escoras pronunciadas) suponen la mitad de los mismos, sucediendo principalmente en buques de pequeña y mediana eslora (por debajo de los 24 metros).



Estos accidentes pueden estar provocados por muchos factores, que fundamentalmente pueden dividirse en tres: factores meteorológicos muy adversos e imprevistos, una incorrecta operación del buque o una modificación en la distribución de pesos del mismo, que no ha sido incluida en un análisis de estabilidad ni ha sido sometida a ningún tipo de inspección. Sin embargo, los accidentes suelen estar desencadenados por una sucesión de los citados factores, siendo muy extraño que, por separado, sean los causantes de los mismos. En todo caso, es la no consideración del riesgo a que se somete al buque y a su tripulación al navegar en las condiciones en que se está haciendo la que da lugar a estas situaciones.

En la mayor parte de los casos, especialmente en los buques de esloras medias y pequeñas, esta desconsideración viene dada por una falta de formación e información de la tripulación. En multitud de ocasiones, los manuales de estabilidad y de instrucciones al patrón sobre cómo operar el buque en las distintas situaciones no son comprendidos; en todo caso, en muy pocas son utilizados y existen otras en que, aunque lo fuesen, serían de poca ayuda e incluso completamente inútiles.

El trabajo que a continuación se expone, presenta la situación actual del sector pesquero, los problemas de estabilidad más usuales en este tipo de buques y un sistema que, instalado a bordo de los buques de este tipo, proporcionará al patrón una información vital acerca del estado de su embarcación, pero de una manera sencilla y comprensible y que le ayude a mantener a la misma y a su tripulación fuera de posibles zonas de riesgo.

La actividad pesquera. Buques de pesca

La actividad pesquera reúne, a nivel nacional e internacional, una de las flotas más numerosas y a la vez más heterogéneas de entre todos los tipos de navegación comercial. Las diferentes artes de pesca, los caladeros en que se realiza la faena, la especie a capturar e incluso la legislación propia de cada país, provocan que el rango de tamaños y disposiciones de estos buques sea enorme. Sin embargo, los criterios de estabilidad que se aplican a todos ellos son iguales, teniendo únicamente en consideración la eslora de los buques.

Asimismo, es conocido de sobra que la actividad pesquera se realiza en un medio altamente hostil y que en muchas ocasiones, la presión económica que recae sobre la misma, provoca que se realicen faenas en condiciones muy peligrosas y que ponen en grave riesgo a las embarcaciones y a su tripulación. De hecho y como ya se ha mencionado anteriormente, la pesca es una de las profesiones en que los trabajadores están sometidos a un riesgo mayor. En España, el número de fallecidos en este sector en valores absolutos es sólo superado por sectores con un número muy superior de trabajadores, como la construcción o el transporte por carretera; en valores relativos de muertes por número de trabajadores, la pesca es el sector con un índice mayor [2]. En zonas como Galicia, altamente dependiente de la pesca, ocupa a nivel absoluto el primer lugar en lo que a accidentes mortales se refiere muy por delante de los dos sectores ya mencionados. Y a nivel internacional, la situación es muy similar. Por ejemplo, en los EEUU la pesca es la segunda actividad en número de muertes por trabajador, mientras que en Gran Bretaña la pesca es la profesión con más riesgo [5].

De entre los accidentes a que pueden verse sometidos los buques de pesca, los relacionados con la estabilidad son los que ocasionan un mayor número de pérdidas humanas ya que suelen producirse de una manera repentina, sin permitir a la tripulación ponerse a salvo o utilizar los dispositivos de salvamento y porque además, suelen llevar asociada la pérdida del buque.

Dentro de la heterogeneidad de la flota pesquera, existe una división fundamental dada por la eslora del buque: con esloras inferiores y superiores a 24 metros. Esta diferenciación establece el ámbito de aplicación de los criterios internacionales de seguridad y de formación de las tripulaciones. Si se observan las estadísticas, puede apreciarse que los accidentes en buques de esloras superiores a 24 metros, debidos a problemas de estabilidad, son menos que en el caso de los buques de esloras pequeñas; en todo caso, este dato tiene una explicación clara. Por un lado, los buques grandes tienen mayor capacidad para hacer frente a condiciones meteorológicas adversas que buques pequeños navegando en esas mismas condiciones. Y por otro lado sus tripulaciones, con una formación más amplia, tienen la capacidad para comprender y actuar sobre la estabilidad del buque, valorar objetivamente el riesgo de cada condición de carga y utilizar correctamente los medios de que disponen a bordo para la realización de estas tareas [6].

Es evidente que los patrones de los buques de pesca de pequeña y mediana eslora son capaces de evaluar, aunque de un modo subjetivo, la estabilidad de sus buques en cada momento, pero no la reducción que se puede haber producido en la misma y que podría provocar que el buque no fuese capaz de hacer frente a una situación imprevista. Este hecho, unido a la necesidad de faenar a toda costa, incluso en condiciones muy desfavorables, la incorrecta operación del buque (escotillas, falucheras, carga excesiva) o la realización de modificaciones en la distribución de pesos sin los análisis pertinentes, dan lugar a las reducciones en la estabilidad que, unidas a otros factores ocasionales, provocan los accidentes. En todo caso, se aprecia un desconocimiento del riesgo real al que se somete al buque y a su tripulación en estas condiciones y que, con total seguridad y si se dispusiera de la información o de la formación que permitiera a los patrones valorarlo objetivamente, la situación cambiaría radicalmente.

Requisitos normativos de estabilidad aplicables a buques de pesca

Los requisitos normativos a que están sometidos los buques de pesca en lo que se refiere a estabilidad dependen de su eslora. Para buques con una eslora superior a 24 metros, el Convenio Internacional de Torremolinos en su Capítulo III es el que recoge los mismos [7]. Este Convenio fue adoptado por la Unión Europea en 1997 y modificado en 1999 (Directivas 97/70/CE, 99/19/CE) [8,9] y transpuesto a la legislación española en 1999 (Real Decreto 1032/1999 del 18 de Junio) [10], incluyendo algunos requerimientos más estrictos. Para buques de esloras inferiores, no existe una normativa internacional común en la que se establezcan estos criterios y es cada país el que define los mismos. En España, el Real Decreto 543/207 recoge las normas de seguridad y prevención de la contaminación que deben cumplir los buques de esloras inferiores a 24 m [11]. El Anexo II de este Real Decreto especifica los requisitos de estabilidad para este tipo de embarcaciones.

En ambos reglamentos se especifican claramente los requisitos de estabilidad que deben cumplir los buques de diferentes esloras. En el caso de los buques de esloras superiores a los 12 metros, estos incluyen valores mínimos de brazos adrizantes, áreas bajo la curva de brazos adrizantes y altura metacéntrica, así como requisitos específicos para buques con faenas de pesca especiales, situaciones de inundación de la bodega de pesca, agua en cubierta o viento y balance intenso por efecto de olas. Los requisitos son los mismos para buques de esloras superiores a los 24 metros (Convenio de Torremolinos) que para esloras inferiores a 24 pero superiores a 12 metros (Real Decreto 543/207). Los buques de eslora inferior a los 12 metros deben realizar evaluaciones de estabilidad según las normas UNE12217 [12,13]. Estos requisitos deben cumplirse para una serie de condiciones de operación, cuatro en la mayoría de casos y que deben comprender y representar toda la operativa del buque a lo largo de su vida útil. Incluso en estas condiciones deben incluirse casos particulares en que se prevea alguna situación especial, como carga en cubierta, lastrado o deslastrado, navegación en zona de hielos, viento y balance intensos (en ciertos casos), etc.

Toda la información obtenida tras estos análisis junto con una serie de instrucciones al patrón debe incluirse en el denominado "Libro de Estabilidad" del buque, obligatorio para esloras superiores a los 12 metros [10,11]. Este libro debe estar siempre fácilmente accesible a bordo y en la mayoría de los casos, es la única ayuda de que dispone el patrón para evaluar en navegación la estabilidad de su buque.

Sin entrar a valorar la mayor o menor idoneidad para este tipo de flota de una serie de criterios de estabilidad aplicados sin diferenciación a todo tipo de buques (reflexión recogida en múltiples trabajos, como [5]) y que no recogen cierto tipo de fenómenos y suponiendo que el buque es suficientemente estable bajo condiciones normales de navegación (sin considerar inestabilidades dinámicas) si se cumplen con los requisitos recogidos en la normativa citada, podemos decir que los incidentes referidos a la estabilidad se producen, o bien porque el buque se encuentra en una situación en que los criterios de estabilidad han dejado de cumplirse y además en la que no ha dispuesto de suficiente capacidad de adrizamiento para hacer frente a las fuerzas externas que actúan sobre él, o porque se ha visto afectado por fenómenos meteorológicos muy adversos o situaciones de navegación en que la estabilidad del buque se ve comprometida y que los criterios actuales no recogen, tales como olas rompientes, pérdida de estabilidad en mares de popa, orzadas repentinas o resonancia paramétrica y que se describirán más adelante.

En todo caso, en el libro de estabilidad se recogen únicamente cuatro condiciones de carga (incluyendo alguna más en caso necesario) y la evaluación de los criterios de estabilidad para las mismas, los datos procedentes de la experiencia de estabilidad y una serie de planos del buque. Sin embargo, es evidente que la operativa real del mismo puede recoger situaciones intermedias o variaciones de estas condiciones cuya evaluación no se recoge en el libro de estabilidad. En estos casos, la alternativa que tiene el patrón para evaluar si la situación de su buque es o no suficientemente estable es, o bien fiarse de su experiencia y su percepción subjetiva, o seguir las instrucciones al patrón que reglamentariamente se incluyen en los libros de

estabilidad [10,11] y que habitualmente incluyen una serie de métodos para evaluar la estabilidad y comprobar el cumplimiento de los criterios reglamentarios (normalmente mediante la medición de calados, utilización de tablas hidrostáticas, corrección por superficies libres y aplicación de una serie de fórmulas, o mediante la medición del período de balance y la utilización de una gráfica, utilizando posteriormente las curvas de los KG máximos). Estos cálculos suelen ser farragosos y consumen un valioso tiempo para el patrón, siempre considerando el caso de que tenga la formación suficiente para comprender las instrucciones que sirven de guía a los mismos y que normalmente están redactadas de una manera más orientada al ingeniero naval que al patrón de pesca. Es por ello que, en la mayor parte de los casos y sobre todo en las embarcaciones de menor eslora, en que la formación de los patrones es más reducida, no se hace ningún tipo de evaluación de estabilidad en ninguna condición. De hecho, el libro de estabilidad se encuentra a bordo casi exclusivamente para su revisión por parte de la inspección de buques cuando es preceptivo, y no es utilizado por la tripulación [14].

Además de estas instrucciones, orientadas a evaluar la estabilidad, se incluyen otra serie de recomendaciones, de modo genérico, que incluyen aspectos orientados a asegurar la estabilidad del buque como estibar correctamente la carga, evitar el bloqueo de las portas de desagüe, mantener cerrados las puertas o escotillas estancas, prestar atención a las escoras durante la maniobra del arte de pesca, minimizar el número de tanques parcialmente llenos o prestar atención a la navegación con mares de popa o aleta. También se incluyen instrucciones particulares específicas para cada buque, tales como instrucciones de consumo, lastrado o navegación en áreas de formación de hielos. En el caso de los buques de esloras inferiores a los 12 metros, en que este libro no es preceptivo, los patrones no tienen ningún tipo de indicación, aparte de su experiencia, que puedan utilizar para valorar la estabilidad y por tanto la seguridad de su embarcación en cada condición.

Problemas asociados a la estabilidad de los buques de pesca

De entre los problemas de estabilidad que pueden afectar al buque pesquero y que pueden llevar a su pérdida, se ha realizado una diferenciación entre cuatro grupos. En todo caso y como ya se ha mencionado anteriormente, los accidentes no suelen suceder por una sola de estas causas, si no que suele ser un conjunto de acciones las que dan lugar a los mismos. Por ejemplo, la sobrecarga del buque, navegando con mar en calma y con una escotilla estanca abierta, puede no dar lugar a ningún accidente. Sin embargo, el reducido francobordo en esta condición facilitaría el embarque de agua que podría producirse en caso de un empeoramiento del estado de la mar, penetrando en el buque a través de la escotilla abierta y originando el accidente. Los distintos tipos de situaciones mencionados anteriormente, son los siguientes:

Modificaciones en la Distribución de Pesos. Aquí se incluyen las situaciones que pueden llevar a disminuciones de la estabilidad del buque debidas a la modificación en la distribución inicial de pesos sin realizar una posterior comprobación de los criterios de estabilidad, tal y como es obligatorio según la normativa mencionada en el apartado anterior. Por sí solas no provocan los incidentes, pero debido a la reducción en la capacidad adrizante del buque puede suceder que, bajo condiciones teóricamente seguras, se produzca una grave escora o incluso el vuelco.

Dentro de este grupo, pueden encontrarse los siguientes casos:

- Variaciones en la estructura y equipos del buque. Es habitual, especialmente en buques de tamaño medio – pequeño, la realización de reformas a bordo o modificaciones en el equipamiento del buque, que pueden implicar una elevación del centro de gravedad del mismo con la consecuente reducción de estabilidad, que no son declaradas a la autoridad competente ni incluidas en ningún análisis de evaluación de estabilidad.

- Modificaciones en la utilización de espacios. Los cambios en el uso de espacios no diseñados a tal efecto, como por ejemplo el uso de un espacio vacío como tanque de lastre, dan lugar a condiciones de carga que no han sido evaluadas y que pueden dar lugar a problemas de estabilidad.

Situaciones Operacionales del Buque. En este grupo podemos incluir todas aquellas situaciones que pueden producirse durante la faena de pesca debido a una operación incorrecta o a una situación imprevista durante la misma y que en sí mismas o en conjunto con otras, pueden significar un grave riesgo para el buque [15].

- Sobrecarga. La sobrecarga del buque es una situación relativamente frecuente. Cuando las jornadas de pesca dan buen resultado, es habitual prolongarlas el mayor tiempo posible para regresar con la mayor cantidad de capturas, cargando el buque más allá de lo recomendable y de lo legal en ocasiones. El francobordo mínimo reglamentario no debería superarse nunca, ya que la disminución del mismo supone también una reducción en la estabilidad. Esta situación, unida a la navegación con cierres estancos abiertos, puede facilitar la inundación del buque a través de los mismos, dado que el margen para evitar la entrada de agua es ahora menor. Además de la sobrecarga por capturas, puede darse el caso del transporte de más aparejos de los que se contemplan en el libro de estabilidad del buque, dando lugar, normalmente, a una elevación del centro de gravedad y también a una reducción del francobordo estudiado para esa condición.
- Estiba Inadecuada. Una incorrecta estiba de la carga, tanto en bodegas como en cubierta, puede causar varios problemas asociados. Por un lado, situar cargas en cubierta si el buque no está autorizado a transportarlas (condición que por lo tanto no ha sido estudiada), puede llevar de nuevo a elevaciones potencialmente peligrosas del centro de gravedad. Asimismo, una mala estiba de la carga en cubierta puede bloquear las falucheras de desagüe de la misma, impidiendo el vaciado de la posible agua embarcada por el oleaje y reduciendo la estabilidad por la aparición de una gran superficie libre en cubierta. Por último, un corrimiento de la carga debido a una defectuosa estiba puede dar lugar a un desplazamiento lateral del centro de gravedad del buque. Este desplazamiento provoca una escora permanente, que implica una reducción en la estabilidad y en el francobordo, facilitando de nuevo el embarque de agua.
- Levantamiento de cargas excesivas. La elevación de aparejos pesados o cargas mediante plumas, grúas o tangones alejados de la crujía del buque, sobreestimando la estabilidad del buque, puede dar lugar a escoras elevadas (con la reducción de estabilidad y francobordo asociada) y en los peores casos puede dar lugar al vuelco. Los buques cerqueros, que halan el aparejo por el costado desde puntales elevados, o los buques arrastreros con tangones o a la pareja, en que el tiro no se realiza en el plano de crujía, son en los que más posibilidades existen de que se produzcan estas situaciones.
- Enganches del aparejo. En buques arrastreros principalmente, pueden presentarse situaciones de riesgo si el aparejo se engancha en el fondo, provocando una repentina detención del buque y una disminución del francobordo en su zona de popa. Este problema es especialmente peligroso navegando con mares de popa, ya que se puede producir embarque de agua por esta zona. Si a este hecho se añade el encontrarse las puertas y escotillas estancas abiertas, puede producirse la inundación del buque y la posible pérdida del mismo.

Causas Meteorológicas. Entre estas se encuentran las situaciones provocadas por el hecho de la navegación bajo condiciones meteorológicas adversas para el buque a considerar, o en situaciones en que el buque se encuentra con su estabilidad reducida por una de las causas descritas anteriormente. Condiciones de mar y viento que bajo las prescripciones reglamentarias podrían no implicar un riesgo, pueden resultar peligrosas en casos de francobordo reducido o elevados centros de gravedad que reduzcan la capacidad del buque para sobrevivir a las mismas.

- Embarque de agua/Inundación. El embarque de agua sobre las cubiertas expuestas del buque no es una situación peligrosa en sí misma, siempre y cuando las aberturas estancas del buque se encuentren cerradas y las falucheras de desagüe de la cubierta despejadas, permitiendo una evacuación rápida del agua acumulada. Esta situación puede resultar peligrosa cuando en estas circunstancias y debido a una incorrecta operación del buque, el agua se acumula en la cubierta o en el interior, provocando superficies libres o la inundación del mismo.
- Olas rompientes. Especialmente peligrosas navegando con la mar de través en condiciones de estabilidad reducida, ya que el buque, escorado por acción de la ola, puede no ser capaz de volver a la posición de adrizado. Son especialmente peligrosas para buques de tamaño mediano-pequeño, ya que el riesgo de vuelco es proporcional a la altura de la ola relativa al tamaño del buque [14]. Asimismo, provocan el embarque de agua descrito en el párrafo anterior o el corrimiento de la carga incorrectamente estibada y asegurada.
- Viento. Aunque el viento no es un factor especialmente peligroso en la mayoría de buques, puede contribuir al aumento de la escora en casos particulares de buques con elevado puntal y gran superestructura y en situaciones con estabilidad reducida por otras causas.
- Hielo. La formación de hielo tiene como resultado la elevación del centro de gravedad con la reducción de estabilidad que esto implica. Afecta especialmente a aquellos buques con grandes cubiertas y superestructuras que navegan en zonas frías. En estos casos, el estudio de formación de hielo debe contemplarse en los estudios de estabilidad, no estando permitido a aquel buque en que no esté contemplado la navegación en estas áreas.

Inestabilidades Dinámicas. Estas situaciones se producen cuando el buque se encuentra navegando e implican problemas de estabilidad debidos a la interacción buque-ola [16]. Su aparición es independiente de la estabilidad inicial del buque, aunque sus efectos se minimizan a medida que el buque dispone de una reserva de estabilidad mayor. Estos fenómenos, asociados con una condición de estabilidad reducida, pueden llevar al vuelco y a la pérdida del buque. La mejor medida para evitarlos, es navegar fuera de las áreas de velocidad y rumbo a la mar en que son más probables.

- Resonancia paramétrica. Este fenómeno consiste en la aparición repentina, durante un tiempo más o menos reducido, de bruscos movimientos de balance de elevada amplitud, que puede superar los 45° y que en el peor de los casos pueden implicar el vuelco del buque si este no dispone de capacidad de adrizamiento suficiente (además de posibles corrimientos de la carga o embarques de agua).

La resonancia se produce principalmente navegando con mares de proa o de popa, cuando la frecuencia de encuentro del buque con las olas es cercana al doble de la frecuencia natural de balance del mismo y la longitud de onda de las mismas es del orden de la eslora del buque. La variación que se produce en el plano de flotación debido a la posición relativa de la ola respecto al buque, produce variaciones en el radio metacéntrico y por tanto de los brazos adrizantes. Esta variación adecuadamente sincronizada (como sucede en este caso), provoca que cualquier movimiento de escora por pequeño que sea se amplifique mientras el amortiguamiento del buque no sea suficiente para contrarrestarlo y se mantengan las condiciones mencionadas.

- Pérdida de estabilidad. Esta situación es similar a la anterior, pero se produce principalmente en mares de popa, en olas cuya longitud de onda es similar a la eslora del buque. En estas circunstancias, cuando la cresta de la ola se encuentra cercana a la maestra del buque, y los senos están en proa y popa, la estabilidad del buque se reduce respecto a la que tiene en aguas tranquilas, al reducirse también su superficie en flotación y por tanto el radio metacéntrico y los brazos adrizantes. Cuanto más dure esta situación, es decir, cuanto más semejante sea la velocidad del

buque a la de la ola, más posibilidades existen de que un momento escorante externo actúe sobre el buque (una ola de costado, viento, etc.) y este no tenga capacidad suficiente para contrarrestarlo y mantener el buque adrizado.

- Orzadas repentinas (Broaching). El fenómeno de broaching se produce cuando el buque se encuentra navegando con mares de popa o aleta. En un instante dado, el momento de guiñada inducido por la acción de la ola puede ser superior al momento ejercido por el timón en sentido opuesto y por lo tanto, el buque pierde el gobierno y tiende a situarse atravesado a la mar experimentando una fuerte escora debido a la virada realizada. En estos casos, además del riesgo implícito que supone la escora desarrollada durante la virada, el buque termina la maniobra con el mar de través en una situación poco deseable con mala mar. En ambas fases del fenómeno, el disponer de un elevado margen de estabilidad ayudará al buque a sobrevivir, primero a la maniobra de giro y posteriormente a la acción de las olas que inciden de través.

Como puede apreciarse, existen una gran variedad de situaciones en que el buque puede encontrarse en peligro debido a problemas de estabilidad y todas ellas pueden evitarse de dos modos. Por un lado, mediante la formación de las tripulaciones en materia de seguridad, concienciándolas en puntos clave como pueden ser la correcta estiba de la carga, el cierre de las aberturas estancas del buque o la no navegación en condiciones meteorológicas que son claramente adversas y peligrosas. Y por otro lado, mediante la información. Muchos de los accidentes se producen porque los patrones desconocen exactamente el nivel de estabilidad de su buque y se realizan maniobras que el buque no es capaz de soportar. Además, en el caso de los problemas de estabilidad dinámica, el desconocimiento de estos fenómenos y sus condiciones de aparición hacen imposible que se actúe de antemano para evitar que sucedan. Un sistema de información claro y sencillo de utilizar que complementa al libro de estabilidad en los casos en que este sea obligatorio y que proporcione al patrón el estado real de su buque en lo que se refiere a estabilidad, ayudaría a evitar situaciones de riesgo en todo tipo de buques de pesca.

Sistema de evaluación de estabilidad. Descripción

Tal y como se ha descrito a lo largo de este trabajo, una de las principales causas de los accidentes marítimos que afectan a buques de pesca es el déficit de estabilidad y este, a su vez, es debido a una incorrecta evaluación de la misma por parte de los patrones que, o bien no disponen a bordo de elementos que les ayuden a realizar esta tarea, o bien estos métodos son engorrosos, poco claros y en muchos casos incomprensibles para los patrones. Los libros de estabilidad obligatorios a bordo para los buques de más de 12 metros de eslora, en muy pocas ocasiones son utilizados por las tripulaciones.

Es por lo tanto claro, no sólo a nivel español si no a nivel internacional, que es necesario proporcionar a los patrones sistemas sencillos que les ayuden a valorar cuál es la estabilidad de su buque. Aunque este hecho es aceptado internacionalmente, no existen muchas alternativas al respecto, aunque sí algunas (que incluso han sido adoptadas por las distintas autoridades nacionales), incluyendo sencillos manuales dirigidos a los patrones y los armadores de los pequeños pesqueros [17] y sistemas situados a bordo y accesibles a la tripulación. En [14] se realiza un análisis detallado del estado del arte actual en este último campo, observándose cuatro alternativas diferenciadas. Por un lado, la utilización de un poster de tamaño A4, opción utilizada en Noruega e Islandia, en el que mediante un código de colores y una descripción general de los lugares donde puede estar situada la carga, se identifican las distintas situaciones de carga como seguras, con riesgo medio o con riesgo de vuelco grave.

Una segunda opción, la propuesta en Estados Unidos por Womack [5], consiste en una matriz de carga que incluye una descripción más detallada de las condiciones de carga del buque y que también considera las condiciones meteorológicas para valorar el mayor o menor riesgo de las mismas, riesgo que se representa

mediante un código de colores. Es más completo que el caso anterior, pero en casos de buques con un número elevado de tanques se hace compleja y requeriría de varias matrices (y por tanto hojas), dificultando su comprensión.

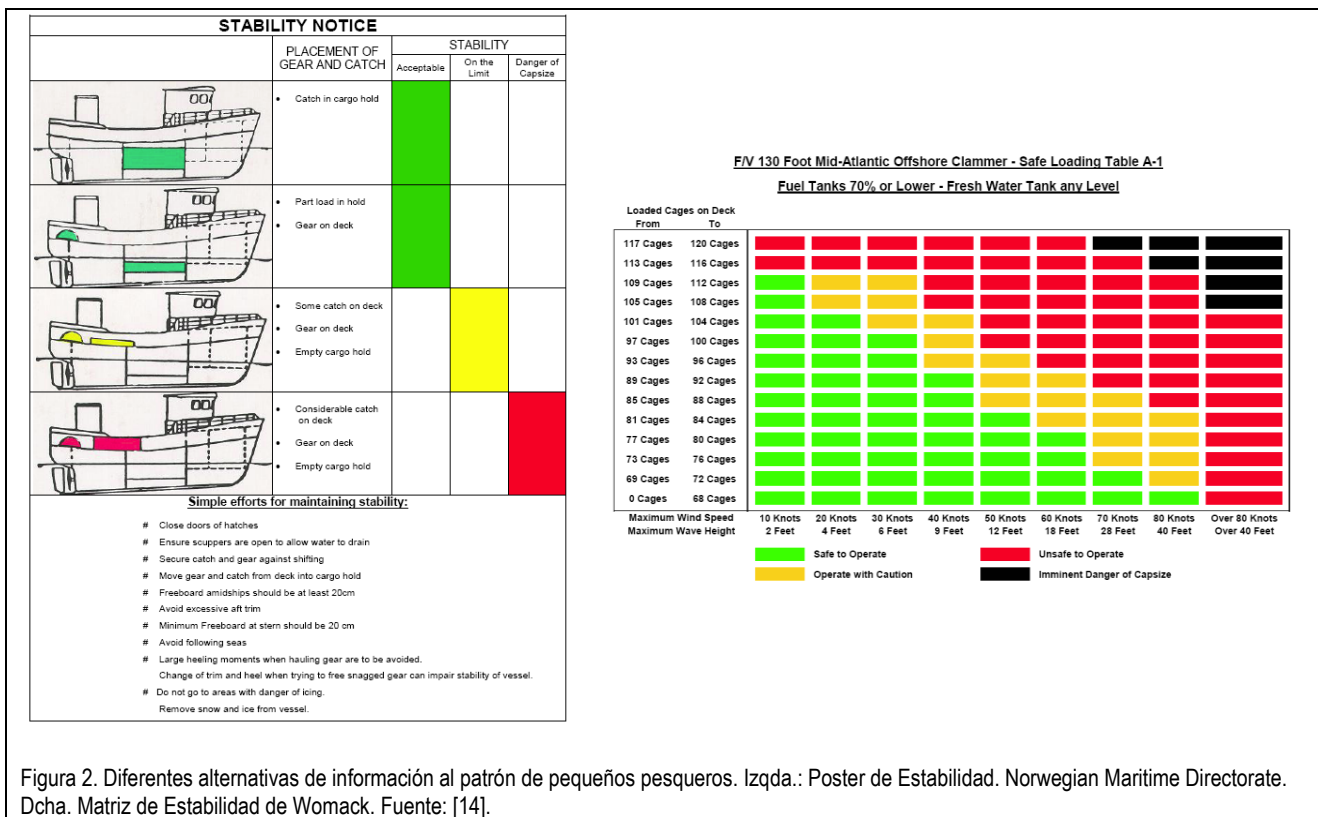


Figura 2. Diferentes alternativas de información al patrón de pequeños pesqueros. Izqda.: Poster de Estabilidad. Norwegian Maritime Directorate. Dcha. Matriz de Estabilidad de Womack. Fuente: [14].

Una tercera opción utilizada en Canadá opta por implementar esta matriz de cargas en un programa de ordenador embarcado y sustituir la valoración de las condiciones meteorológicas por la sensorización de los movimientos de balance y cabeceo, que generan alarmas cuando se superan ciertos márgenes.

Por último, otra opción también utilizada en Islandia está orientada a evitar principalmente los problemas de estabilidad y vuelcos debidos a olas rompientes. Para ello, combinan un potente sistema de predicción meteorológica, incluyendo oleaje y viento, cuyos datos se transmiten eficientemente a la flota en tiempo real, con un sistema embarcado de medición de calado y balance a partir del que se obtiene la altura metacéntrica y el desplazamiento. Cada buque dispone de una gráfica en que se relaciona la altura metacéntrica y el desplazamiento con la máxima altura de ola que el buque puede afrontar sin riesgo.

Partiendo de esta base, se han evaluado las ventajas e inconvenientes de cada una de estas alternativas para proceder al diseño del sistema que se encuentra en desarrollo y que pretende plantear una alternativa a estos sistemas para mejorar la seguridad a bordo de los buques de pesca de pequeña y media eslora. Este sistema está basado en una serie de requisitos fundamentales que fueron planteados en las etapas iniciales de estudio. En primer lugar, debe ser de muy fácil y rápida operación y comprensión. En segundo lugar, debe poder comprender la mayor cantidad de condiciones de navegación posibles con la mayor precisión. Además, debe ser fácilmente adaptable a todos los buques de la flota. Y por último, debe poder incluir desde un sistema básico hasta un sistema complejo de control de la estabilidad en que se pueda incluir la gestión de todo tipo de condiciones de navegación, incluyendo el análisis de estabilidad dinámica. El sistema desarrollado se presenta en el siguiente apartado.

Sistema de evaluación de estabilidad. Estado actual de desarrollo

El sistema que se plantea está basado en un software de arquitectura naval diseñado en el Grupo Integrado de Ingeniería y que partiendo de las formas del buque, de sus valores de hidrostáticas y de su distribución de pesos (incluyendo la integración de tanques y pesos localizados), realiza los cálculos completos de equilibrio en la condición de carga y de estabilidad del buque intacto, así como la comprobación de los criterios reglamentarios que el proyectista desee, unido a un interfaz que permite su interacción con el usuario a través de una pantalla táctil, orientada a simplificar la instalación y la operación del sistema.

En una primera fase, y previamente a su instalación a bordo, el proyectista debe introducir en el sistema los datos referentes al buque que no variarán durante la navegación y que no pueden ser modificados por el usuario: formas, compartimentado (bodegas, tanques y la carga de los mismos) y localización de espacios, dimensiones principales y peso en rosca. Asimismo, se introducen en el software los espacios en que puede estibarse carga en el buque real y una estimación del centro de gravedad de los pesos que pueden situarse en los mismos. Una vez instalado a bordo, el sistema está listo para su uso por parte de la tripulación, que simplemente deberá introducir en cada tanque, bodega o compartimento el peso aproximado de carga que transporta o tiene intención de transportar. A medida que el usuario introduce los diferentes ítems que componen la condición de carga, el sistema calcula automáticamente el equilibrio que alcanzaría el buque, mostrando gráfica y numéricamente los valores de escora y trimado correspondientes. En caso de que en este equilibrio se superase el francobordo mínimo, se sumergiese la cubierta principal o alguna abertura o punto de inundación (definida por el proyectista) o simplemente el buque no estuviese adrizado, el sistema mostraría mensajes de alerta claros e inequívocos. Una vez finalizada la selección de todos los pesos, el patrón obtendría la evaluación de la estabilidad de su buque, valorada mediante una escala de colores y una alerta visual.

A continuación pueden observarse varios ejemplos del software en funcionamiento:

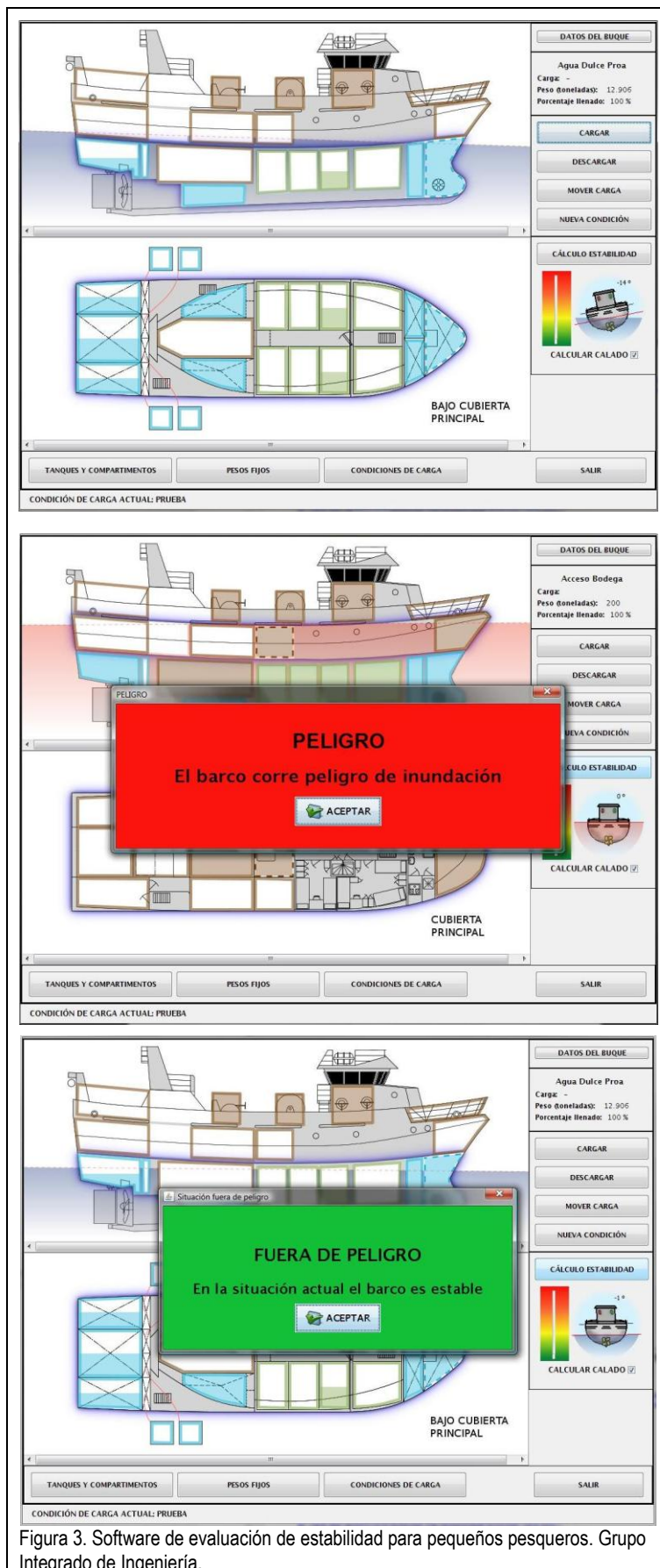


Figura 3. Software de evaluación de estabilidad para pequeños pesqueros. Grupo Integrado de Ingeniería.

Hasta el momento, el sistema evalúa la estabilidad del buque en estado intacto en aguas tranquilas según los criterios reglamentarios que se definen en el Convenio de Torremolinos y en el Real Decreto 543/207 (sin incluir los criterios de Viento y Balance Intensos), ponderando cada uno de ellos para dar lugar al nivel de estabilidad mostrado y alertando al usuario mediante mensajes en caso de que alguno de ellos no se cumpla.

Es un método de sencilla operación y fácil comprensión y que permite evaluar todas las condiciones operacionales que se desee tal y como se especificó en las etapas iniciales de desarrollo. Con este sistema, pueden prevenirse aquellas situaciones de riesgo debidas a la modificación de la distribución de pesos o a la mayor parte de situaciones operacionales proporcionando la información de estabilidad que el patrón necesita para evitar poner en peligro el buque y su tripulación. Asimismo, el software incluye la posibilidad de añadir nuevos módulos que incrementen su operatividad y eficacia, como por ejemplo con la utilización de teleniveles en los tanques (que simplificarían la labor del patrón al obtener los datos de llenado de tanques automáticamente).

Además de la ayuda al patrón, este sistema también proporciona al inspector de la administración información acerca de los datos del buque, cuando se realizan revisiones a bordo. Dado que los datos y la disposición del buque, que el proyectista ha introducido en el sistema, no pueden ser modificados, el inspector puede comprobar utilizando el software desarrollado, que tanto la disposición general, como el compartimentado o el uso de los espacios, sigue siendo el mismo que el proyectado inicialmente para el buque, evitando posibles reformas no detectadas que puedan implicar problemas en la estabilidad.

Sistema de evaluación de estabilidad. Trabajo futuro

Como ya se ha descrito, el sistema es capaz, hasta el momento, de ayudar a prevenir las situaciones relacionadas con la estabilidad estática del buque, pero no considera las causas meteorológicas ni las inestabilidades dinámicas.

Actualmente, se encuentra prácticamente implementada la evaluación de los criterios de viento y balance intensos de la IMO en este sistema, completando el conjunto de criterios reglamentarios de aplicación a buques de pesca. Sin embargo, parece necesario para una correcta evaluación de la seguridad operacional del buque, considerar también los factores meteorológicos y las inestabilidades dinámicas. Así pues, los siguientes pasos serán, por un lado, evaluar los riesgos que implica la navegación con distintas condiciones de oleaje y viento (incluyendo los efectos del agua embarcada) y por otro, considerar los que implican las inestabilidades dinámicas. En lo referente a este último punto, dentro del Grupo Integrado de Ingeniería se encuentra en la actualidad en desarrollo una línea de investigación dirigida a la obtención de un sistema de prevención de resonancia paramétrica y otras inestabilidades dinámicas tales como la pérdida de estabilidad y que permita mediante la monitorización tanto de las condiciones meteorológicas como de comportamiento del buque, mantener al patrón informado sobre la estabilidad del buque y la mayor o menor proximidad del mismo, en las condiciones en que opera en cada momento, a situaciones peligrosas debidas a la presencia de fenómenos de inestabilidad dinámica, a la vez que proporcionaría información acerca de las condiciones meteorológicas presentes.

La adición de estos módulos al sistema presentado sería sencilla y conseguiría que el sistema planteado abarcara todo el rango de situaciones en que el buque se encuentra en riesgo debido a problemas de estabilidad, exceptuando, eso sí, aquellas en que la formación y concienciación de la tripulación son el único factor influyente, como pueden ser el mantener las aberturas estancas cerradas en navegación o las portas de desagüe despejadas.

De todo lo expuesto hasta este momento puede apreciarse que, en numerosas ocasiones, los actuales criterios de la OMI y de las autoridades nacionales basados exclusivamente en la evaluación de los radios metacéntricos y brazos de adrizamiento no son suficientes para evaluar la seguridad de una determinada condición de carga. El estudio y la evaluación de nuevos criterios o modificaciones a los actuales que tengan en cuenta estas situaciones abren una nueva línea de trabajo, que será abordada en futuros trabajos o proyectos.

Conclusiones

En este trabajo se presenta un análisis de los problemas a que se enfrenta la flota pesquera tanto española como internacional en lo que se refiere a la estabilidad de los buques, así como los requisitos reglamentarios a que está sometida la flota pesquera nacional y la influencia que estos pueden tener en el gran número de incidentes relacionados con la pérdida de estabilidad de los buques pesqueros, enumerando además las distintas situaciones en que se pueden producir estos accidentes y sus causas más habituales.

A continuación, se hace una breve descripción de los métodos que se utilizan actualmente para proporcionar información acerca de la estabilidad del buque al patrón del mismo, así como una pequeña reflexión acerca de sus ventajas e inconvenientes.

Por último, se presenta el sistema desarrollado por el Grupo Integrado de Ingeniería de la Universidad de Coruña para proporcionar esta información al patrón. Este sistema permite que el patrón del buque de pesca evalúe de un modo rápido y sencillo todas aquellas condiciones de estabilidad que desee antes de ordenar una u otra, evitando las situaciones de riesgo al proporcionarle información suficiente para que este actúe de la mejor manera en lo que a estabilidad se refiere. Está planteado como un sistema abierto, que hasta el momento se basa en la evaluación de la estabilidad del buque sin considerar efectos dinámicos, pero que en un futuro será complementado con un nuevo módulo en desarrollo y cuyo objetivo es proporcionar al patrón la información que le permita evitar la aparición de inestabilidades dinámicas, tales como resonancia paramétrica o pérdida de estabilidad, así como evaluar el riesgo que en cada momento implican las condiciones meteorológicas reinantes.

Bibliografía

- [1] Pena, D., Díaz, V., Martínez, A. Míguez, M. Ahorro y Eficiencia Energética en Buques de Pesca. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Marzo 2009.
- [2] Ministerio de Trabajo e Inmigración. Estadística de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales. Datos Anuales. www.mtas.es/estadisticas/EAT/welcome.htm . Mayo 2009.
- [3] Artai, Correduría de Seguros S.A. B.V.C. Siniestralidad de los marineros gallegos en el período 1991 – 2000. 2001.
- [4] Xunta de Galicia. Consellería de Pesca. Nota de prensa. 25 de Marzo de 2007. http://webpesca.xunta.es/pescacms/opencms/WebPesca/salacomunicaciones/Noticias/comunicacion_0394.html .
- [5] Womack, J. Small commercial fishing vessel stability analysis. Where are we now? Where are we going?. Proceedings of the 6th International Ship Stability Workshop, Webb Institute, 2002.
- [6] Ministerio de Fomento. Real Decreto 2062/1999, de 30 de diciembre, por el que se regula el nivel mínimo de formación en profesiones marítimas. BOE. 21 Enero 2000.
- [7] Organización Marítima Internacional. Protocolo de Torremolinos de 1993 y Convenio Internacional de Torremolinos para la Seguridad de los Buques Pesqueros, 1977.
- [8] Consejo de la Unión Europea. Directiva 97/70/CE del Consejo de 11 de diciembre de 1997 por la que se establece un régimen armonizado de seguridad para los buques de pesca de eslora igual o superior a 24 metros. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. 1998.
- [9] Consejo de la Unión Europea. Directiva 99/19/CE de la Comisión de 18 de Marzo de 1999 que modifica la Directiva 97/70/CE del Consejo por la que se establece un régimen armonizado de seguridad para los buques de pesca de eslora igual o superior a 24 metros. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. Marzo 1999.
- [10] Ministerio de Fomento. Real Decreto 1032/1999, de 18 de junio, por el que se determinan las normas de seguridad a cumplir por los buques pesqueros de eslora igual o superior a 24 metros. Boletín Oficial del Estado. 1 Julio 1999.
- [11] Ministerio de Fomento. Real Decreto 543/2007, de 27 de abril, por el que se determinan las normas de seguridad y de prevención de la contaminación a cumplir por los buques pesqueros menores de 24 metros de eslora. Boletín Oficial del Estado. 1 Junio 2007.
- [12] AENOR. UNE – EN ISO 12217-1. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 1. Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6 m. Octubre 2002.
- [13] AENOR. UNE – EN ISO 12217-3. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 1. Embarcaciones de eslora inferior a 6 m. Febrero 2003.
- [14] Wolfson Unit. Research Project 530. Simplified presentation of fishing vessels stability information. Phase 1. Final Report. Julio 2004.

- [15] Womack, J., Johnson, B. A Guide to fishing vessel stability. SNAME. Septiembre 2003.
- [16] Belenky, V.L., Sevastianov, N.B. Stability and safety of Ships. Risk of Capsizing. SNAME. 2007.
- [17] Gudmundsson, A. Safety practices related to small fishing vessel stability. Food and Agriculture Organization of the UN. 2009.