



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y PROPULSIÓN MARINA

E.T.S. NÁUTICA Y MÁQUINAS

TESIS DOCTORAL

**MEJORAS EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS
BUQUES DE $L < 24$ METROS, EN CONDICIONES
METEOROLÓGICAS Y ESTADOS DE LA MAR
ADVERSOS, A TRAVÉS DE LA INVESTIGACIÓN
FACTUAL DE LOS SINIESTROS MARÍTIMOS**

Doctorando: Jesús Alvite Castro

Directores: José Antonio Orosa García

Ángel Martín Costa Rial

A Coruña, 2017

AGRADECIMIENTOS.

Considero justo agradecer en estas breves líneas, a las personas que me han acompañado y ayudado en este maravilloso viaje en el cual he desarrollado mi tesis doctoral. En primer lugar, a mis padres que me han ido animando cada vez que tenía un momento bajo, a mi hija Andrea María cuya mitad de su vida me ha conocido en esta labor y a la cual debo mi inspiración para llevarla a cabo. A mi hermana y a “Moni” y sus maravillosas familias y amigos, a Edu mi compañero inseparable de pesca con el que tantas “conversaciones trascendentales” he tenido. A todos mis viejos amigos y compañeros y a Eva María, quien últimamente ha sido mi confidente y consejera y con quien estoy compartiendo los cambios más excitantes de mi vida profesional.

Gracias como no, a Rafael Rodríguez Valero el “inductor y culpable” de que me hubiese embarcado en esta nave, a Carbia por sus sabios consejos, a Rosa Mary de la Campa por acompañarme en mis “proyectos imposibles y a todos mis compañeros y profesores de Náutica. Gracias especialmente a José Antonio Orosa y a Ángel Martín Costa, mis dos directores de tesis, que han sabido darme todo el soporte y la ayuda necesarios para que dicha nave arribe a buen puerto.

Me considero en deuda con todos vosotros y espero en un futuro saber estará a la altura cuando me toque a mi estar a vuestro lado. Gracias infinitas!

ÍNDICE

RESUMEN EN CASTELLANO.....	19
RESUMEN EN GALEGO	21
ABSTRACT IN ENGLISH.....	23
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABLAS.....	13
GLOSARIO.....	15
CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE. OBJETIVO DE LA TESIS.....	27
1.1. Introducción.....	27
1.1.1. Factor técnico: estabilidad intacta	28
1.1.2. Factor humano: error humano, accidentes laborales	29
1.2. Estado del arte	29
1.2.1. Objetivo de la tesis	42
1.2.2. Flota de buques de $L < 24$ metros.....	43
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	51
2.1. Factor técnico.....	51
2.1.1. Bases de datos del factor técnico.....	53
2.1.2. Justificación estadística de la necesidad.....	54
2.1.3. Desarrollo del criterio.....	56
2.1.3.1. Hipótesis iniciales	69
2.1.3.2. Criterio.....	71
2.1.4. Validación del criterio	76
2.1.5. Razonamiento justificativo de la elección del buque tipo seguro..	78
2.1.6. Formulación utilizada para el buque tipo seguro	78
2.1.7. Formulación utilizada en la base de datos de buques.....	90

2.1.7.1. Formulación utilizada para un buque considerado seguro	90
2.1.7.2. Formulación utilizada para un buque siniestrado	97
2.2. Factor humano	103
2.2.1. Bases de datos.....	103
2.2.2. STCW78/95 manila 2010. Metodología de investigación IMO ...	103
2.2.3. Descripción del proceso de adaptación.....	107
CAPÍTULO 3. RESULTADOS	113
3.1. Factor técnico.....	113
3.1.1. Justificación estadística de la necesidad. Tablas y gráficas.....	113
3.1.2. Aplicación del criterio.....	113
3.1.3. Validación del criterio	126
3.2. Factor humano	128
3.2.1. Diagrama de flujo	128
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	137
4.1. Factor técnico.....	137
4.2. Factor humano	149
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	153
5.1. Factor técnico.....	153
5.2. Factor humano	156
REFERENCIAS	159
PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS.....	173

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Análisis de discriminación para el parámetro GZ_{30} .	32
Figura 2.1. Relación GM/B Buques pesqueros analizados.	57
Figura 2.2. Ejemplo de la pérdida de estabilidad en la ola.	60
Figura 2.3. Secuencia de zozobra por broaching. Fuente boatdesing.net.	62
Figura 2.4. Gráfica de pérdida de estabilidad con mar de Popa.	64
Figura 2.5. Criterio de estabilidad específico para efecto del timón.	66
Figura 2.6. Representación del Range y del RM_{max} .	74
Figura 2.7. Fotografía perfil Buque tipo seguro, abarloado.	81
Figura 2.8. Fotografía perfil Buque tipo seguro, en navegación.	82
Figura 2.9. Valores para el agua embarcada.	83
Figura 2.10. Valores del efecto del viento y aplicación del C_{WH} .	84
Figura 2.11. Formulación del Criterio de estabilidad y comprobación de su cumplimiento.	85
Figura 2.12. Perfil Buque tipo seguro.	86
Figura 2.13. Cubierta Superior Buque tipo seguro.	87
Figura 2.14. Cubierta Principal Buque tipo seguro.	88
Figura 2.15. Doble Fondo Buque tipo seguro.	89
Figura 2.16. Valores para el agua embarcada.	92
Figura 2.17. Valores del efecto del viento y aplicación del C_{WH} .	93
Figura 2.18. Formulación del Criterio de estabilidad y comprobación de su cumplimiento.	94
Figura 2.19. Perfil Buque tipo seguro.	95
Figura 2.20. Cubierta Superior Buque tipo seguro.	96
Figura 2.21. Valores para el agua embarcada.	99
Figura 2.22. Valores del efecto del viento y aplicación del C_{WH} .	100

Figura 2.23. Formulación del Criterio de estabilidad y comprobación de su cumplimiento.	101
Figura 2.24. Perfil Buque tipo siniestrado.....	102
Figura 2.25. Cubierta Principal Buque tipo siniestrado.	102
Figura 2.26. Cubierta Superior Buque tipo siniestrado.....	102
Figura 3.1. Gráfica representativa de los valores de C_{1-1}	118
Figura 3.2. Representación de los valores de $C_{1 \text{ límite}}$	118
Figura 3.3. Gráfica representativa de los valores obtenidos para C_1	119
Figura 3.4. Gráfica representativa de los valores obtenidos para C_{2-2}	120
Figura 3.5. Gráfica representativa de los valores obtenidos para C_2	120
Figura 3.6. Gráfica representativa de los valores obtenidos para SC.....	124
Figura 3.7. Gráfica representativa de los valores obtenidos para SC_{\min}	124
Figura 3.8. Gráfica representativa de SC/SC_{\min} y zona de incertidumbre.....	126
Figura 3.9. Proceso OIT/ILO para la investigación de los factores humanos.	128
Figura 3.10. Shel-Reason. Metodología para reunir y secuenciar información del accidente.	129
Figura 3.11. GEMS adaptado al STCW 78/95 MANILA 2010	132
Figura 4.1. Gráfica representativa de SC/SC_{\min} y zona de incertidumbre.....	140
Figura 4.2. Gráfica representativa de SC/SC_{\min} y zona de incertidumbre.....	146
Figura 4.3. Gráfica representativa de SC/SC_{\min} en relación a la L_{pp} de cada buque...	148

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Nº de buques pesqueros, por intervalos de eslora y caladeros.	45
Tabla 1.2. Nº de buques pesqueros, por intervalos de eslora y tipo de pesca.	46
Tabla 1.3. Nº de buques pesqueros y eslora media, por tipo de pesca y caladero.	47
Tabla 1.4. Nº de buques pesqueros por intervalos de antigüedad y puerto base.	47
Tabla 1.5. Nº de buques pesqueros caladero nacional CCAA de Galicia.	48
Tabla 2.1. Nº de sucesos notificados e investigados por la CIAIM.	55
Tabla 2.2. Buques en % sucesos notificados e investigados CIAIM 2014.	55
Tabla 2.3. Tabla representativa de la base de datos de buques.	77
Tabla 2.4. Cond. de carga de la tabla representativa de la base de datos de buques.	78
Tabla 3.1. Tabla representativa de C_{1-1} para la base de datos de buques.	115
Tabla 3.2. Tabla representativa de $C_{1\text{ límite}}$ para la base de datos de buques.	116
Tabla 3.3. Tabla representativa de C_1 para la base de datos de buques.	117
Tabla 3.4. Tabla representativa de C_{2-2} para la base de datos de buques.	121
Tabla 3.5. Tabla representativa de C_2 para la base de datos de buques.	122
Tabla 3.6. Tabla representativa de SC para la base de datos de buques.	123
Tabla 3.7. Tabla representativa de SC_{min} para la base de datos de buques.	125
Tabla 3.8. Tabla representativa de SC para la base de datos de buques.	127
Tabla 4.1. Tabla representativa de la base de datos de buques.	141
Tabla 4.2. Tabla representativa de los buques que no cumplen el criterio.	142
Tabla 4.3. Tabla representativa de los buques que no cumplen el criterio con C_{MO}	143
Tabla 4.4. Tabla representativa de los valores de $TGM_{\text{límite}}$	145

GLOSARIO

C_1 (Coeficiente adimensional de estabilidad inicial).

C_2 (Coeficiente adimensional de estabilidad dinámica).

C_{M0} (Coeficiente meteorológico y Oceanográfico).

CCAA (Comunidad autónoma).

CIAIM (Comisión Permanente de Investigación de Accidentes e Incidentes Marítimos).

CFPO (Censo de Flota Pesquera Operativa).

C_{WH} (Critical Wave Height).

DGMM (Dirección General de la Marina Mercante).

EMSA (European Maritime Safety Agency).

EMCIP (European Maritime Casualty Information Platform).

FAO (Food and Agriculture Organization).

FSA (Formal Safety Assesment).

GM (Altura metacéntrica transversal).

GM/B (Relación altura metacéntrica transversal, Manga del buque).

GT (Gross tonnage).

GZ (Brazos adrizantes).

IMCO (Inter-governmental Maritime Consultive Organization).

IMO (International Maritime Organization).

INE (Instituto Nacional de Estadística).

ILO/OIT (International Labour Organization)/Organización Internacional del Trabajo.

KG (Altura del centro de gravedad sobre la línea base).

L_{pp} (Eslora entre perpendiculares).

MAIB (Maritime Accident Investigation Branch).

MAGRAMA (*Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente*).

PEN (*Plan Estadístico Nacional*).

Range (*Rango positivo de estabilidad residual*).

RM_{max} (*Máximo momento adrizante residual*).

RINA (*Royal institution of Naval Architects*).

SGISC (*Criterios de estabilidad sin avería de segunda generación*).

SLF IMO (*Subcommittee on Stability and Load Lines and on Fishing Vessels Safety*).

STCW78/95/10 (*International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers*).

STCW-F (*Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers-Fishing*).

SC (*Coeficiente de estabilidad intacta*).

SC_{min} (*Coeficiente mínimo de estabilidad intacta*).

SNAME (*The Society of Naval Architects and Marine Engineers*).

UK (*United Kingdom*).

US (*United States*).

RESUMEN EN CASTELLANO

El principal factor técnico que interviene en el desarrollo de los siniestros marítimos en las embarcaciones menores de 24 metros de eslora y particularmente las embarcaciones pesqueras, es el relacionado con las carencias en la estabilidad intacta del buque. Según datos de la Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes Marítimos española (CIAIM), en los últimos años entre un 50 y un 60% de los accidentes han sido protagonizados por pesqueros y un 60% de estos se ha producido por hundimientos o vuelco provocado por inundación y pérdida de estabilidad.

Estas carencias, habitualmente no se deben a una sola causa sino a un conjunto de ellas, como sucedió con el hundimiento del pesquero O´Bahía en el año 2004 con 10 fallecidos, provocado por la pérdida de estabilidad dinámica debida a la velocidad inadecuada del buque con mar de popa, (Ayaz, et al. 2006), el embarque sucesivo de agua por acometida de grandes olas y la existencia de pesos altos no contemplados en las condiciones de carga.

A todo esto, debemos añadir las limitaciones en el diseño de estas embarcaciones, provocadas principalmente por una legislación en materia de nuevas construcciones que limita las GT bajo cubierta principal (volúmenes). Esto supondrá que los barcos se diseñen con un francobordo muy ajustado, lo que puede ir en menoscabo de la estabilidad a grandes ángulos. Esta estabilidad a grandes ángulos es un factor muy importante a la hora de evitar situaciones de zozobra especialmente en situaciones meteorológicas adversas.

Asimismo, consideramos que los actuales criterios de estabilidad (IMO, Rahola), basados principalmente en el análisis de las características de los valores de su curva de brazos adrizantes, no se pueden considerar completamente satisfactorios, principalmente porque no tienen en consideración el tamaño del buque y en buena medida las acciones escorantes a las que están sometidos estas embarcaciones.

Por todo ello, consideramos la necesidad de establecer un nuevo criterio de estabilidad intacta para la flota objeto de esta tesis, basado en la ponderación del GM y la estabilidad dinámica $e_0 = \int_0^\theta GZ \cdot d\theta$ hasta el ángulo de 70° y el valor de la altura de la ola crítica (C_{WH}) adaptado a las condiciones meteorológicas y oceanográficas del caladero, prestando especial atención a los fallos relacionados con el balance paramétrico, la pérdida pura de estabilidad, el broaching, la condición en peso muerto y el exceso de aceleraciones, tal como marca la IMO en cuanto al desarrollo de Criterios de

Estabilidad Inicial de Segunda Generación desde la 48th sesión de la SLF y en el IMO SDC1 fijando los niveles a estudiar sobre estos fenómenos.

Así mismo, se han seguido la preferencia del establecimiento de normas basadas en objetivos (IMO Goal based Standards on new ship Construction) utilizando estudios basados en el riesgo (Risk based Oriented Methodology) cuyo máximo exponente es la evaluación formal de la seguridad (Formal Safety Assesment.- FSA).

El estudio del factor humano se ha realizado desde la perspectiva de la investigación de la siniestralidad marítima, teniendo en cuenta la gran relevancia que tiene el error humano en ella, hasta el punto de que se ha convertido en el principal factor que interviene en la siniestralidad de las embarcaciones pesqueras.

Para ello, se realizará su estudio a través de la investigación factual de dicha siniestralidad utilizando como base el modelo de investigación OIT/IMO de los factores humanos y la investigación de los modelos utilizados para la identificación y secuencia de estos eventos, desarrollando una serie sistemática de acciones para mejorar dicho modelo, basándose principalmente en las enmiendas a STCW78 Manila 2010 y el STCW-F (Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers-Fishing).

RESUMEN EN GALEGO

O principal factor técnico que intervén no desenvolvemento dos sinistros marítimos nas embarcacións menores de 24 metros de eslora, e particularmente as embarcacións pesqueiras, é o relacionado coas carencias na estabilidade intacta do buque. Segundo datos da Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes Marítimos española (CIAIM), nos últimos anos entre un 50 e un 60% dos accidentes foron protagonizados por pesqueiros e un 60% destes produciuse por afundimentos ou envorco provocado por inundación e perda de estabilidade.

Estas carencias habitualmente non se deben a unha soa causa, senón a un conxunto delas, como sucedeu co afundimento do pesqueiro O´Bahía no ano 2004 con 10 falecidos provocado pola perda de estabilidade dinámica debida á velocidade inadecuada do buque con mar de popa, (Ayaz, et a o. 2006), o embarque sucesivo de auga por acometida de grandes olas e a existencia de pesos altos non contemplados nas condicións de carga.

A todo isto debemos engadir as limitacións no deseño destas embarcacións, provocadas principalmente por unha lexislación en materia de novas construcións que limita as GT baixo cuberta principal (volumes). Isto supoñerá que os barcos se deseñen cun francobordo moi axustado, o que pode ir en menoscabo da estabilidade a grandes ángulos. Esta estabilidade a grandes ángulos é un factor moi importante á hora de evitar situacións de zozobra, especialmente en situacións meteorolóxicas adversas.

Así mesmo, consideramos que os actuais criterios de estabilidade (IMO, Rahola) baseados principalmente na fixación de valores mínimos para diversos brazos adrizantes estáticos e dinámicos non se poden considerar completamente satisfactorios, principalmente porque non teñen en consideración o tamaño do buque e as accións escorantes ás que están sometidos estas embarcacións.

Por todo iso, consideramos a necesidade de establecer un novo criterio de estabilidade intacta para a flóta obxecto desta tese, baseado na ponderación do GM e a estabilidade dinámica $e_0 = \int_0^\theta GZ \cdot d\theta$ ata o ángulo de 70° e o valor da altura da ola crítica (C_{WH}) adaptado ás condicións meteorolóxicas e oceanográficas do caladoiro, prestando especial atención aos fallos relacionados co balance paramétrico, a perda pura de estabilidade, o broaching, a condición en peso morto e o exceso de aceleracións, tal como marca a IMO en canto ao desenvolvemento de Criterios de Estabilidade Inicial

de Segunda Xeración desde a 48th sesión da SLF e no IMO SDC1 fixando os niveis a estudar sobre estes fenómenos.

Así mesmo, seguíronse a preferencia do establecemento de normas baseadas en obxectivos (IMO Goal based Standards on new ship Construction) utilizando estudos baseados no risco (Risk based Oriented Methodology) cuxo máximo expoñente é a avaliación formal da seguridade (Formal Safety Assesment.- FSA).

O estudo do factor humano realizouse desde a perspectiva da investigación da sinistralidade marítima, tendo en conta a gran relevancia que ten o erro humano nela, ata o punto de que se converteu no principal factor que intervén na sinistralidade das embarcacións pesqueiras.

Para iso, realizarase o seu estudo a través da investigación factual de dita sinistralidade utilizando como base o modelo de investigación OIT/IMO dos factores humanos e a investigación dos modelos utilizados para a identificación e secuencia destes eventos, desenvolvendo unha serie sistemática de accións para mellorar devandito modelo, baseándose principalmente nas emendas a STCW78 Manila 2010 e o STCW-F (Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers-Fishing).

ABSTRACT IN ENGLISH

The main technical factor in the development of marine casualties on vessels under 24 meters length and, in particular, in fishing vessels is related to deficiencies in the ship's intact stability. According to the Spanish Commission for Investigation of Maritime Accidents and Incidents (CIAIM), between 50 and 60% of accidents carried out in recent years were fishing vessels where 60% of them were produced by subsidence or overturning caused flooding and loss of stability.

These deficiencies are not usually due to a single cause, being usually related with a set of them, as happened with the collapse of the fishing vessel O'Bahía in 2004. In this case, 10 deaths were caused by the loss of dynamic stability due to an inadequate ship speed under following sea or successive shipment of water by large waves and the existence of high weights not included in the load conditions.

Furthermore, some other limitations in the design of these vessels were added as a consequence of the legislation that limits, in new construction vessels, the volume under main deck (GT). This would mean that ships are designed with a very tight freeboard, which may undermine the stability at large angles. This large angles stability is very important to avoid situations of anxiety especially in adverse weather conditions.

We also consider that the current stability criteria (IMO, Rahola), based primarily on the setting of minimum values for various righting static and dynamic arms, can't be considered completely satisfactory due to they do not take into account the size of the ship and the hell over actions that are submitted these vessels.

Therefore, we consider the need to establish a new intact stability criterion for the fleet object of this thesis based on the weight of GM and dynamic stability $e_0 = \int_0^\theta GZ \cdot d\theta$ to the angle of 70° and the value of the Critical Wave Height (C_{WH}) adapted to the meteorological and oceanographic conditions of the fishing ground, paying particular attention to failures related to the parametric roll (Spanos&Papanikolaou, 2009), pure loss of stability, Surf-riding (Peters et al., 2011) and broaching, dead-ship condition and excessive accelerations, such as that indicated by the IMO in the development of Second Generation of Initial Stability criteria from the 48th session of the SLF and the IMO SDC1 setting levels to study about these phenomena.

Also, the IMO proposal of Goal based Standards on New Ship Construction were considered using Risk based Oriented Methodology studies by a Formal Safety Assessment (FSA) procedure.

The study of the human factor was made from the perspective of the investigation of maritime accidents, taken into account the great importance that human error is the main factor in accidents of fishing vessels. Such accidents will be analyzed through the factual investigation using as reference the ILO/IMO research model of human factors and the research models used to identify and sequence these events. Finally, systematic series actions to improve the model will be developed based on STCW78 Manila 2010 amendments and the Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers-Fishing (STCW-F).

**CAPÍTULO 1:
INTRODUCCIÓN GENERAL. ESTADO
DEL ARTE. OBJETIVO DE LA TESIS. FLOTA
OPERATIVA DE BUQUES DE $L < 24$ M**

CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE. OBJETIVO DE LA TESIS

1.1. Introducción

En los albores de la humanidad, el ser humano comprendió la necesidad de desplazarse por el mar como medio para conseguir alimentos e interrelacionarse con el resto de sus semejantes. El 71% de la superficie de la tierra está ocupada por los mares y océanos. Para desplazarse por ellos idearon el medio de transporte más antiguo y genuino que ha existido: el barco que, según la RAE, es una “Construcción cóncava de madera, hierro u otra materia capaz de flotar en el agua y que sirve de medio de transporte”.

Con el paso del tiempo fue aumentando la sofisticación de dicho artilugio sufriendo múltiples transformaciones hasta convertirse en lo que hoy denominamos buque. Según la RAE, buque es un “Barco con cubierta que, por su tamaño, solidez y fuerza, es adecuado para navegaciones o empresas marítimas de importancia”. Ese incremento en la sofisticación le llevó a abordar empresas más ambiciosas realizando desplazamientos hacia lugares más lejanos para los que se necesitaban buques de mayor porte, con el aumento exponencial en la dificultad en su manejo.

El gran desarrollo de la industria naval se produjo a partir de la revolución industrial al introducir en los buques nuevos medios de propulsión y nuevos materiales de construcción, hasta llegar a abarcar todos los mares y océanos del mundo en su afán de capturar los recursos ícticos necesarios para complementar su alimentación. Esto supuso que la siniestralidad aumentó exponencialmente, incrementándose así mismo la gravedad de dichos siniestros.

En el Noroeste de la península ibérica, esta tendencia se bifurcó claramente en dos direcciones: la primera hacia la pesca de altura, en la que llegó a ser una de las primeras potencias de Europa, y la pesca artesanal o pesca de bajura, para la que se utilizan embarcaciones de pequeño porte y reducida tripulación.

En la actualidad, se ha registrado un fuerte aumento de la siniestralidad de las embarcaciones pesqueras de pequeño porte en nuestras costas con pérdida de un importante número de vidas humanas, por lo que parece necesario realizar una fuerte reflexión sobre la metodología utilizada en la construcción naval y la legislación que la rige, así como en las condiciones laborales en las que se desarrolla esta actividad.

Esta reflexión se realizará en esta tesis a través de la investigación factual de los siniestros marítimos, analizando los diversos factores que pueden incidir en la falta de seguridad de los buques en la mar y de la siniestralidad laboral basada en datos reales de buques siniestrados y buques considerados seguros, así como en los datos de partes de baja de trabajadores del sector en la CCAA de Galicia, con objeto de esclarecer los factores causales y realizar las propuestas necesarias para reducir la incidencia y gravedad de los mismos.

De aquí en adelante usaremos la denominación “siniestralidad marítima” para referirnos tanto a los siniestros marítimos como a la accidentalidad laboral a bordo. Cuando nos refiramos solo a uno de ellos se hará de forma explícita.

1.1.1. Factor técnico: estabilidad intacta

Según datos de la CIAIM en su informe anual (CIAIM, 2009-2014), el principal factor técnico que interviene en el desarrollo de los siniestros marítimos en las embarcaciones pesqueras es el relacionado con las carencias en la estabilidad del buque. Así, en los últimos años entre un 50 y un 60% de los accidentes han sido protagonizados por pesqueros y un 60% de estos se ha producido por hundimientos o vuelco provocado por inundación y pérdida de estabilidad (Wang et al., 2005).

Estos sucesos habitualmente no se deben a una sola causa sino a un conjunto de ellas (Womack, 2003; CIAIM, 2004; CIAIM, 2006; CPISM, 2006; CPISM, 20010a-b-c), como sucedió con el hundimiento del pesquero O´Bahía en el año 2004 con 10 fallecidos provocado por la pérdida de estabilidad dinámica debida a la velocidad inadecuada del buque con mar de popa (CPISM, 2010a), el embarque sucesivo de agua por acometida de grandes olas y la existencia de pesos altos no contemplados en las condiciones de carga.

A todo esto debemos añadir las limitaciones en el diseño de estas embarcaciones, provocadas principalmente por una legislación en materia de nuevas construcciones que limita las GT bajo cubierta principal (volúmenes). Esto supondrá que los barcos se diseñen con un francobordo muy ajustado, lo que puede ir en menoscabo de la estabilidad a grandes ángulos. Esta estabilidad a grandes ángulos es un factor muy importante a la hora de evitar situaciones de zozobra especialmente en situaciones meteorológicas adversas.

Por otro lado, organismos como la IMO consideran que los actuales criterios de estabilidad (Rahola, 1939), basados principalmente en el análisis de las características de los valores de su curva de brazos adrizantes, no se pueden considerar completamente satisfactorios, principalmente porque no

tienen en consideración el tamaño del buque, y las acciones escorantes a las que están sometidos estas embarcaciones (Mata, 2014) y (O'Dogherty 2009).

1.1.2. Factor humano: error humano, accidentes laborales

En los últimos años se ha experimentado un repunte de los accidentes e incidentes marítimos. En su investigación se requiere información sobre el factor humano (Lincon, 2010; Lougran, 2002) y, en particular, de los factores de organización y ergonómicos (Álvarez, et al. 1998; Vickery, 1968). Este factor humano y particularmente el error humano tienen gran relevancia en la siniestralidad de las embarcaciones pesqueras (Pérez, 2006, 2008, 2009 y 2012) y se tratará profusamente desde el punto de vista de la foraneidad del ser humano en la mar (Jaremin, 2004).

Para ello, se realizará su estudio a través de la investigación factual de dicha siniestralidad, utilizando como base el modelo de investigación OIT/IMO de los factores humanos y la investigación de los modelos utilizados para la identificación y secuencia de estos eventos.

De igual manera, se desarrollará una serie sistemática de acciones para poner en práctica el método de la OIT/IMO sobre la base de las enmiendas al Convenio de Formación 78 Manila 2010 (Alvite&Campa, 2011). El resultado servirá para facilitar la identificación y secuenciación de los actos o decisiones peligrosas que han participado en el desarrollo de accidente marítimo, así como los factores que subyacen detrás de ellos.

El objetivo final es determinar los factores de riesgo y los problemas de seguridad existentes (Dekking et al., 2005), para poder desarrollar las medidas correctoras adecuadas y su posterior inclusión en la EMCIP (European Maritime Casualty Information Platform).

1.2. Estado del arte

El criterio de estabilidad intacta que actualmente está en vigor está basado principalmente en las propiedades de la curva de brazos adrizantes. Este criterio se remonta a las obras de Jaakko Rahola (Rahola, 1939). Rahola analizó una serie de 34 casos de buques que zozobraron en el período de 1870, el acorazado "Capitán", hasta 1938, el barco de motor "Mónica".

Estos buques hundidos fueron analizados desde el punto de vista de sus curvas de brazos de adrizamiento y, sobre este análisis, Rahola propuso una serie de requisitos que no son significativamente diferentes del criterio actualmente en vigor.

Entre 1966 y 1985 la IMO realizó el estudio de 93 buques de pasajeros y buques de carga y de 73 buques de pesca. Posteriormente desarrollaría la circular MSC.1/Circ.1281 (IMO, 2008), basada en el enfoque de Rahola (Rahola, 1939) donde se recogieron y se elaboraron cuadros con los parámetros de la curva GZ de los buques que participan en las bajas.

Posteriormente, se recopilaron datos sobre las características de estabilidad de 62 buques de pasaje y buques de carga y de 48 buques pesqueros de funcionamiento seguro, y se elaboró una instrucción especial con especificaciones detalladas acerca del modo en que debería presentarse la información sobre estabilidad.

También se elaboraron cuadros con parámetros de estabilidad para estos buques. Estos resultados fueron presentados a la IMO en varios documentos separando los relativos a los buques de pasaje y buques de carga de los correspondientes a los buques pesqueros (IMO 1965; 1966; 1966a; 1966b).

Después de que se adoptaran las resoluciones A.167(ES.IV) (IMO, 1968a), A.168(ES.IV) (IMO, 1968b) enmendada por la A.268(VIII) (IMO, 1973) de la IMO y de que se recopilaran más datos sobre siniestros sufridos por pérdida de estabilidad sin avería, se decidió repetir el análisis para determinar si el uso de otros datos podría modificar las conclusiones extraídas en el primer análisis. El segundo análisis confirmó, en general, los resultados obtenidos en el primero (IMO, 1985).

El análisis consta de dos partes:

- Evaluación de los detalles de los siniestros, extrayéndose conclusiones cualitativas sobre las circunstancias de siniestros posteriores y especificándose precauciones generales sobre seguridad.
- Comparación de los parámetros de estabilidad de buques siniestrados y los de buques de funcionamiento seguro. En el análisis se adoptaron dos métodos: el primero era idéntico al de Rahola (Rahola 1939), mientras que el segundo era un análisis de discriminación.

Los resultados del análisis de los expedientes de siniestros sufridos por pérdida de estabilidad sin avería y de los parámetros de estabilidad del (IMO, 2008) y (IMO, 2012) fueron:

- La mayoría de los siniestros ocurrieron en buques de menos de 60 metros de eslora.
- En 35 de los 80 casos los buques tenían carga sobre cubierta.
- La mayoría de los siniestros (el 72% del total) ocurrieron en zonas de aguas restringidas, estuarios y a lo largo del litoral. Algo lógico, dado que la mayoría de los buques perdidos tenían menos de 60 m de eslora.
- Aproximadamente el 75% de todos los siniestros se produjeron con mar gruesa y vientos de fuerza 4 a 10 en la escala de Beaufort. Los buques navegaban en su mayoría con mar de través y, en menor número, con mar de aleta y de popa.
- El análisis de las estaciones en las que se produjeron los siniestros permite concluir que el mes de otoño es el más peligroso con 41% del total de los siniestros.
- Los buques que sobrevivieron al siniestro y sólo experimentaron escora fueron el 30% de los casos.
- Los principales parámetros seleccionados para el análisis cuantitativo han sido:
 - GM_0 : Altura metacéntrica inicial.
 - GZ_{20} , GZ_{30} , GZ_{40} : GZ a 20 grados, 30 y 40 grados respectivamente.
 - GZ_m : GZ máximo.
 - φ_m : Ángulo al que ocurre el GZ_m .
 - e_{40° : Estabilidad dinámica bajo la curva de GZ a 40° .

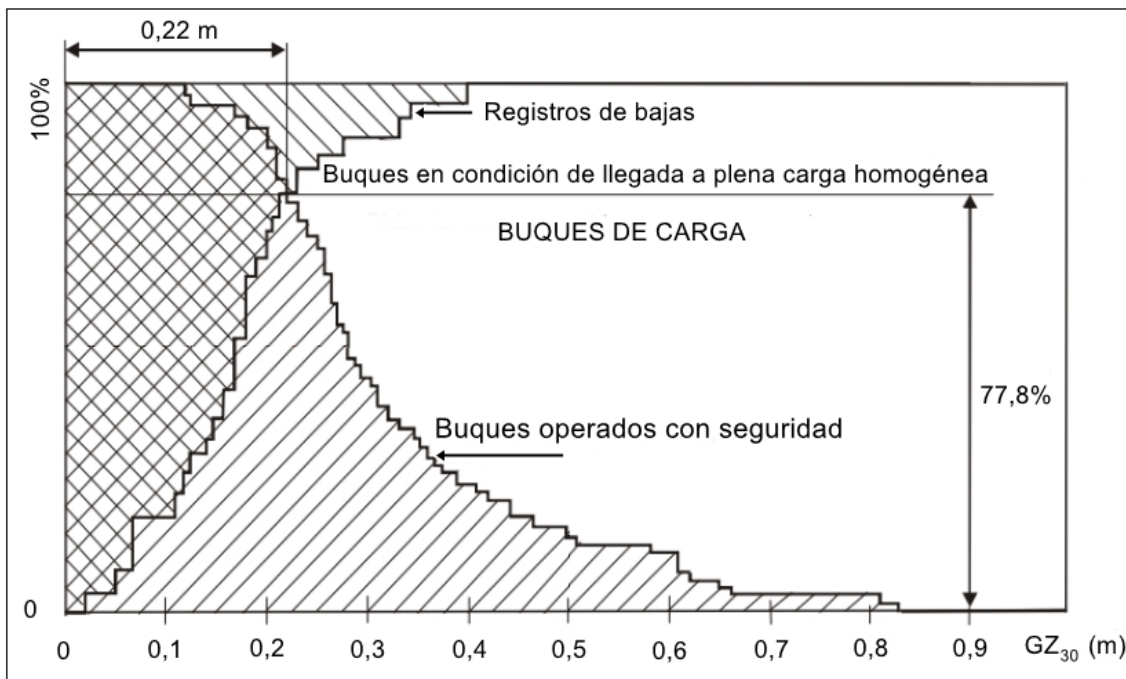


Figura 1.1. Análisis de discriminación para el parámetro GZ_{30} .

De acuerdo con el diagrama de análisis de discriminación de la Fig. 1.1 (IMO 1965), la probabilidad de zozobrar de un buque con el parámetro considerado GZ_{30} en este caso, mayor que el valor crítico es la misma que la probabilidad de supervivencia de un buque con este parámetro inferior al valor crítico. Con el fin de aumentar la probabilidad de supervivencia, el valor del parámetro se debe aumentar.

Por ejemplo, si aumenta hasta 0,4 en la que la probabilidad de supervivencia sería 100%. Sin embargo, esto significa excesiva severidad del criterio que, por lo general, no es posible adoptar en la práctica.

Tras las deliberaciones en el Grupo de trabajo sobre estabilidad sin avería y el Subcomité SLF, los criterios de estabilidad se concluyeron y adoptaron las resoluciones A.167(ES.IV) (IMO, 1968a), A.168(ES.IV) (IMO, 1968b) enmendada por la A.268(VIII) (IMO, 1973).

En el análisis original también se incluyó el ángulo de estabilidad nula, si bien este parámetro no se mantuvo en la propuesta final debido a la amplia dispersión de sus valores.

El criterio reconoce la existencia de que en un porcentaje de buques podría ser peligroso aun cuando estos cumplieren con el criterio. El origen de estos criterios es un estudio estadístico realizados tras los análisis de

discriminación de una serie relativamente corta de embarcaciones. Sobre ellas no se han analizado directamente los efectos dinámicos que podrían sufrir en caso de condiciones meteorológicas adversas, aunque posteriormente se han añadido los efectos del viento ((Military Agency for Standardization, NATO, 1983), (IMO, 2007)) y el agua embarcada sobre cubierta, estos no se han considerado aún de manera integral sobre una firme base teórica.

En el desarrollo de las nuevas tendencias en la estabilidad intacta (Reed, 2009) de los buques se presta especial atención a los fallos relacionados con cinco factores dinámicos de estabilidad; el balance paramétrico, la pérdida pura de estabilidad, el broaching, la condición de peso muerto y el exceso de aceleraciones, tal como marca la IMO en cuanto al desarrollo de Criterios de Estabilidad Intacta de Segunda Generación en la 55th sesión de la SLF55 (Stability and Load Lines and on Fishing Vessels) para la revisión del 2008 Intact Stability Code (IMO, 2008 IS Code), fijando en el (IMO, 2008 SDC1) los tres niveles de evaluación de la vulnerabilidad a estudiar sobre estos fenómenos.

Una vez asumido el hecho de que los criterios de estabilidad actualmente en vigor no cubren adecuadamente algunos de los efectos dinámicos que se encuentran en el origen de una serie de accidentes marítimos debidos principalmente a pérdida de estabilidad, la IMO ha reconocido que el actual marco reglamentario en materia de estabilidad debe ser mejorado y establece la necesidad de investigar nuevos enfoques para desarrollar nuevos criterios de estabilidad sin avería que puedan abarcar la complejidad de la dinámica que experimentan los buques de navegación marítima.

Por todo ello, se han establecido grupos de trabajo para desarrollar los llamados de "Segunda generación de criterios de estabilidad sin avería". Esta nueva reglamentación está todavía en desarrollo y aún no ha sido aprobada por la IMO. Posiblemente en un futuro a corto plazo estos trabajos constituirán la base de la futura normativa de estabilidad aplicable a los buques de pesca, incluidos los del ámbito de esta tesis.

Actualmente la IMO está fomentando el desarrollo de unos criterios de estabilidad intacta de segunda generación (SGISC) para complementar el actual régimen de estabilidad intacta. El Comité Sub19 de la IMO sobre Estabilidad y Líneas de Carga y los buques de pesca, en su 45^a reunión en 2002 (SLF 45) estableció un grupo de trabajo con el objetivo a largo plazo de redefinir el Código de estabilidad sin avería de acuerdo con un enfoque de estándares de rendimiento.

En el grupo de trabajo SLF 52 (IMO, 2009) se ha desarrollado un trabajo que contiene los siguientes conceptos:

- Se ha elaborado una lista de modos de fallos.
- La introducción del concepto de "criterios de vulnerabilidad"
- La estructura de 3 + 1 niveles de los criterios de estabilidad sin avería de segunda generación que comprenden para cada modo de fallo:
 - Dos niveles de "criterios de vulnerabilidad".
 - Un "nivel de estimación directa".
 - Orientación operacional para aquellos casos en los que sólo contramedidas de diseño no eran suficientes (el "1" nivel).

En la actualidad, como ya se ha mencionado, los trabajos de SGISC contemplan los siguientes fallos relacionados con cinco factores dinámicos relacionados con la estabilidad;

- El balance paramétrico,
- la pérdida pura de estabilidad,
- el broaching y el planeo, la pérdida de gobierno en olas de popa,
- la condición de peso muerto y,
- el exceso de aceleraciones.

El criterio de vulnerabilidad y su metodología de aplicación están aún lejos de ser definitivos y establecidos dentro del marco legislativo internacional. El Subcomité SLF encargó al grupo de trabajo (IMO SLF 55-WP.1) para revisar el plan de acción para el trabajo de estabilidad sin avería (IMO SLF54/WP.3, 2012) anexo 4 y preparar un plan revisado, la identificación de prioridades, los plazos y los objetivos para el trabajo a realizar. El estado actual es el siguiente (IMO SLF 55/3/1):

- Se han acordado los criterios de vulnerabilidad para la pérdida de estabilidad y la resonancia paramétrica (Míguez, 2012), aunque

existen varios estudios vagos al respecto, necesitándose mayor desarrollo de este campo (Bulian&Francescutto, 2011b).

- Los criterios de vulnerabilidad para broaching se encuentran en fase avanzada de desarrollo, con dos elementos indecisos (estándar del criterio de nivel 2 y el rango de número máximo de Froude para el efecto de las fuerzas de inercia y la fuerza de gravedad que actúan sobre el agua en calma (Bulian&Francescutto, 2006)).

- Los criterios de vulnerabilidad para la condición de “dead ship” están en fase avanzada de desarrollo. Dos métodos de cálculo ligeramente diferentes de probabilidad de fallo se han estudiado estando actualmente pendiente de decisión.

- Los criterios de vulnerabilidad para la aceleración excesiva, quedando pendiente de establecer algunos elementos como el amortiguamiento del balance.

Es necesario hacer una especial mención, por su influencia en los buques pesqueros pequeños, a la condición de “dead ship” pues, para cobrar algunas artes de pesca, el buque debe permanecer a la deriva sin ninguna capacidad de maniobra.

En el (IMO SLF 55/17 Final report) se han establecido los grupos de trabajo que deberán revisar el plan de acción para los trabajos sobre estabilidad intacta SLF 54 / WP.3, Anexo 4, preparar un plan revisado, identificar las prioridades, plazos y objetivos para terminar este trabajo.

El Subcomité tomó nota de los progresos realizados por el grupo en el desarrollo de los criterios de estabilidad sin avería de segunda generación, y ha generado un borrador para los criterios de vulnerabilidad de los niveles 1 y 2 para el modo de fallo del balance paramétrico.

Así mismo, este subcomité tomó nota de que el grupo de investigación había acordado a la selección de un entorno de ola para la aplicación de los primeros criterios de vulnerabilidad para los niveles de pérdida esencial de estabilidad en las olas (IMOSLF 55 / WP.3, anexo 2).

Sin embargo, no se pudo llegar a un consenso sobre las tablas para la selección de un entorno de ola para el segundo nivel de criterios de

vulnerabilidad para la pérdida pura de estabilidad en las olas (Tello et al., 2011).

En este contexto, el Subcomité tomó nota de que la delegación de Grecia y el observador de RINA expresaron sus reservas con respecto a los diagramas de dispersión utilizados para la selección de un entorno de ola, ya que los datos más recientes podrían mostrar diferencias que son influyentes para el resultado de la aplicación de la evaluación.

Finalmente, se estableció un plan de acción para el futuro con el SLF55/WP.3, Anexo 3, realizado sobre la base de los progresos realizados. El Subcomité, teniendo en cuenta los avances realizados en este período de sesiones, acordó volver a constituir el grupo de trabajo por correspondencia sobre estabilidad sin avería bajo la coordinación del Japón, con la asistencia de Noruega, para las cuestiones relativas a la acumulación de hielo, el proyecto del Código Polar punto 13 y remolque de anclaje-manipulación y elevación punto 10, y les encargó que:

- Siguieran trabajando en los puntos contenidos en el plan de acción actualizado para los criterios de estabilidad sin avería de segunda generación SLF 55 / WP.3, Anexo 3, sobre la base de la parte 1 del informe del grupo de trabajo es SLF 55 / WP.3 y la parte 2 del informe del grupo de trabajo, que se presentará en el SLF 56, teniendo también en cuenta los documentos pertinentes de las sesiones anteriores.
- Se considere el desarrollo de un borrador de orientación para los buques que transporten cubiertas de madera en relación con el aumento de peso del hielo, basado en el documento SLF 55/3/8, y teniendo en cuenta el documento SLF 55/3/10.
- Preparar una versión de trabajo de notas explicativas para facilitar la acumulación de experiencia de la aplicación de los criterios de estabilidad sin avería (proyecto de segunda generación SLF 55 / WP.3, Anexo 3, sección 1.3) para las cuestiones relacionadas con la estabilidad intacta; y
- Presentar un informe para el SLF 56.

Una vez descrita la evolución de la problemática sobre estabilidad y las diversas soluciones adoptadas, se procederá a la descripción de las principales

normativas vigentes al respecto y, a continuación, de los principales trabajos científicos más recientes ((Perez-Labajos C., 2008), (Perez-Labajos C., 2012) (Perez-Labajos et al., 2006) (Perez-Labajos et al., 2009), (Umeda et al., 2011), (Wagner, 2006) (Lloyd, A.R.J.M., 1989)(Loughran et al., 2002) (Lincoln&Lucas, 2010)), así como grupos de trabajo internacionales ((ITTC, 2002) (ITTC, 2011) (ITTC, 2011b) (SLF52/WP.1-Annex 2, 2010) , SLF54/INF.12, 2011)) para tener así un punto de partida lo más completo posible.

En primer lugar, se hará una breve referencia al Marco normativo Internacional actualmente en vigor y los avances del SGISC considerados. En este sentido, una de las normas básicas es el IS CODE: 2008 Intact Stability Code. Dicha normativa se puede definir como la principal norma sobre estabilidad de aplicación para todos los buques regidos por los instrumentos de la IMO.

Este documento ha demostrado ser una buena herramienta a la hora de establecer márgenes de seguridad, pero lamentablemente no es la panacea. Basta con leer el punto 3 del preámbulo en dónde la IMO reconoce que la gran variedad de tipos, tamaños, condiciones operacionales y ambientales son barreras infranqueables a la hora de buscar criterios de estabilidad que sirvan en todos los casos.

Por otra parte, con la Directiva 99/19/CE (EU Comisión, 1999) de la Comisión de 18 de Marzo de 1999, se modifica la Directiva 97/70/CE (EU Comisión, 1997) 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.

Una parte importante que se ha considerado como instrumento a través del cual se ha realizado el presente estudio son las resoluciones IMO A.849(20) (IMO, 1997), IMO 884(21) (IMO, 1999), las enmiendas al código para la investigación de accidentes e incidentes marítimos, la MSC.255(84) Código de investigación de siniestros y MSC/circ.621.

En relación al factor humano, se ha considerado principalmente la International Convention on Standards of Training Certification and Watchkeeping (STCW 78/95, 2010) Manila Amendments 2010 y la International Convention on Standards of Training Certification and Watchkeeping for Fishing Vessel Personnel (STCW-F).

De igual manera, cabe destacar que la UE ha publicado recientemente los hechos y cifras de la política pesquera común - Datos estadísticos básicos (EU Commission, 2014) y que la IMO, entre otras, ha realizado las siguientes publicaciones relacionadas con estabilidad intacta y, en particular, con los

comentarios de los criterios de vulnerabilidad en una muestra grande de buques (IMO SLF 55/Inf.15, 2012), (IMO SDC 1/5/3, 2013), (IMO SDC 1/Inf.6, 2013), (IMO SDC 1/Inf.8, 2013) y (IMO SLF 55/WP.3, 2013).

En relación a la estabilidad de los buques de menos de 12 metros de eslora, la IMO y su Subcomité en el SLF han tratado su estabilidad y sus líneas de carga para la mejorar las condiciones de seguridad (SLF 48, 2005). En este mismo sentido, la FAO creó una propuesta para elaborar nuevas normas de seguridad voluntarias para buques pesqueros con cubierta de L < 12 m y para buques pesqueros sin cubierta de cualquier tamaño.

En Julio de 2006 se decidió establecer un grupo de trabajo que presentó en el SLF 49 un borrador en el que se ha incluido la legislación Nacional y Regional de todos los países participantes, en especial de los capítulos de “Estabilidad” y “Construcción”. A continuación, se ha debatido qué países serían los responsables de coordinar los diferentes capítulos que tendrá el futuro código y, en especial, los dos capítulos claves ya mencionados. En cuestiones relativas a la construcción se encargó a Japón, y la Estabilidad a España, con ayuda de la FAO.

Durante el año 2008 el Subcomité SLF debió presentar el texto definitivo al MSC (Maritime Safety Committee) para su aprobación.

En la actualidad, se encuentra en vigor el siguiente marco Normativo Nacional;

- En el Boletín Oficial del Estado del 1 Junio 2007, se ha publicado el Real Decreto 543/2007, de 27 de abril (RD, 2007), “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”. En dicho BOE se recogen las características de construcción, integridad de estanqueidad y equipo de amarre y fondeo de esta flota. Es la principal normativa nacional en materia de los buques del rango de esloras estudiado.
- Por otra parte, donde se especifica las condiciones de Seguridad y Salud Laboral en los buques pesqueros es en el Real Decreto 1216/1997 del 18 de julio “Por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo a bordo de los buques de pesca. Siendo en el Real Decreto 1549/2009 del 9 de octubre, sobre ordenación del sector pesquero y adaptación

al Fondo Europeo de la Pesca, donde se realiza la ordenación del sector.

- La investigación de los Siniestros Marítimos y la creación de la CIAIM se ha realizado en el Real Decreto 862/2008, del 23 de mayo, “Por el que se regula la investigación de los accidentes e incidentes marítimos y la Comisión permanente de investigación de accidentes e incidentes marítimos”.
- Finalmente en el Real Decreto 1032/1999, de 18 de junio, se determinan las normas de seguridad a cumplir por los buques pesqueros de eslora igual o superior a 24 metros.

Por otra parte, durante el proceso de elaboración de esta tesis también se han revisado los trabajos de investigación más significativos y novedosos, los cuales serán descritos a continuación tanto para el estudio del factor humano como el estudio del factor técnico.

En primer lugar, el libro Human error (Reason, 1990), presenta un enfoque particularmente atractivo para comprender el origen del error humano conocido como el modelo de “Queso Suizo” del error humano. Reason describe cuatro niveles de fallo humano.

El primer nivel representa aquellos actos inseguros de los operadores y/o ejecutores que finalmente llevaron al accidente o incidente, el segundo las precondiciones para actos inseguros, el tercero la supervisión y el cuarto son los aspectos organizacionales.

Como complemento de esta obra fundamental a la hora de investigar el factor humano, cabe destacar la guía de factores humanos para la investigación de accidentes marítimos (Gil&Calvo, 2003) desarrollada Instituto de Investigación en Seguridad y Factores Humanos (ESM). De igual manera, los estudios recientes de (García&Carro, 2010) muestran una relación de los aspectos de seguridad en la pesca de bajura.

Finalmente, “The Human factor in the investigation of marine casualties, amendments to Manila STCW78/95 2010” (Alvite&Campa, 2011) muestra una serie sistemática de identificación del factor humano en la siniestralidad marítima adaptada a las enmiendas de Manila 2010 al Convenio STCW78/95 y a su Código de Formación asociado.

El estudio del factor técnico parte, en esta tesis doctoral, del análisis de tres tesis doctorales que han marcado el estudio internacional de estabilidad

intacta en buques pesqueros. En primer lugar, los trabajos realizados por Rahola analizan la mínima estabilidad necesaria en buques en aguas finlandesas (Rahola, 1939), siendo el origen del actual criterio de estabilidad vigente.

Por otra parte, los trabajos desarrollados por O'Dogherty (O'Dogherty, 1969) en su Informe pericial sobre las causas del hundimiento del motopesquero "Cruz II", muestran un minucioso estudio de la supuesta condición de carga en el momento del accidente culminando su investigación en su propia tesis doctoral sobre accidentes en buques pesqueros como consecuencia de problemas de estabilidad (O'Dogherty 2009). Dicho estudio ha servido de referencia para el desarrollo del criterio propuesto en esta tesis con la intención de mejorar los resultados definidos por el criterio vigente.

La última tesis doctoral a destacar ha sido la de F. Mata pues actualiza el estudio de accidentes debidos a causa de problemas de estabilidad en buques españoles durante el período 2004-2007 (Mata, 2014).

Tras analizar estos trabajos tan detallados, ha sido necesario recurrir a trabajos de investigación específicos para considerar en el criterio propuesto nuevos parámetros como son las condiciones de la mar ((Bulian&Francescutto, 2004), (Bulian&Francescutto, 2006)), olas extremas (Wolfson, 2004a) y condiciones meteorológicas existentes.

En este sentido, caben destacar los trabajos de investigación de Neves (Neves et al. 2005) y de (Bulian&Francescutto, 2011b) sobre olas extremas. Inicialmente, Neves ha desarrollado un estudio de códigos numéricos para el análisis de estabilidad intacta en olas extremas, por medio de un plan de ensayos experimentales con un buque pesquero de cerco rápido y de formas afinadas, en olas regulares de popa, para varios rumbos y velocidades.

Así mismo, ha examinado situaciones de zozobra con mar de popa asociadas a condiciones de grandes olas y frecuencias de encuentro muy bajas (Neves et al. 2005). Con posterioridad, se ha presentado un método para evaluar los cambios en la estabilidad de las olas en las primeras etapas del diseño del buque por medio de la evaluación del periodo de balance y el cambio de la estabilidad en mares irregulares (Belenky et al., 2007).

Por otra parte, Bulian y Francescutto han analizado varios aspectos relacionados con las olas y la estabilidad del buque a lo largo de los últimos años. En este sentido, es interesante destacar la breve descripción de la simulación de la metodología empleado en el código SHIXDOF

(Bulian&Francescutto, 2008), (Francescutto&Serra, 2002) e incluso sobre la estabilidad intacta del buque (Francescutto, 2004).

Posteriormente, estos investigadores han conseguido realizar el análisis de los movimientos de balance paramétrico (Bulian&Francescutto, 2011b) y el movimiento de balanceo de un barco con una baja altura metacéntrica en olas de través (Bulian et al., 2012).

Lo que es más, estos investigadores han llegado a analizar las reglas de estabilidad intacta (Bulian, 2012) de la OMI y dinámica de los buques no lineales así como realizado experimentos y simulaciones numéricas para evaluar una alternativa del criterio meteorológico según el momento de la escora (Bulian et al., 2010).

Tras el análisis de las tesis doctorales y trabajos de investigación específicos, se ha procedido al estudio de los principales resultados de investigación sobre la normativa vigente y sus tendencias futuras en materia de estabilidad (Núñez, 2009), así como las diversas consideraciones a tener en cuenta a la hora de realizar estudios de estabilidad (Gefaell-Chamochín, 2005a, 2005b).

Para finalizar, muchos otros trabajos se han centrado en crear una guía de referencia sobre la estabilidad (Womack&Johnson, 2003) y su mantenimiento (Gudmundsson, 2009) de manera comprensible para la tripulación, así como la presentación sencilla de la información sobre la estabilidad intacta (Wolfson, 2004a, 2004b), culminado con la presentación de un método universal de evaluación y orientación estabilidad (Wolfson, 2010).

Otros muchos trabajos han sido considerados durante la elaboración de esta tesis tratando temas tan diversos como la vulnerabilidad de una serie de buques representativos de la flota española frente a los modelos de fallos sugeridos por la IMO Second Generation Intact Stability Criteria ((Marcos Míguez et al., 2015) (Mata-Álvarez-Santullano et al., 2014) (Míguez-González et al. 2014) (Míguez-González et al. 2012)) y el estudio del “roll damping” específico para buques pesqueros (Chun et al., 2001).

1.2.1. Objetivo de la tesis

Se ha establecido como objetivo, en relación al **Factor Técnico, el desarrollo de un nuevo criterio de estabilidad intacta para la flota de buques menores de 24 metros de eslora** basado en la ponderación del GM y la estabilidad dinámica $e_0 = \int_0^{\theta} GZ \cdot d\theta$ hasta el ángulo de 70° y el valor de la altura de la ola crítica (C_{WH}) adaptado a las condiciones meteorológicas y oceanográficas del caladero.

Para ello, se prestará especial atención a los fallos relacionados con cinco factores dinámicos relacionados con la estabilidad, tal como marca la IMO en cuanto al desarrollo de Criterios de Estabilidad Intacta de Segunda Generación en la 55th sesión de la SLF55 (Stability and Load Lines and on Fishing Vessels) para la revisión del 2008 Intact Stability Code (2008 IS Code), fijando en el (IMO SDC1) los tres niveles de evaluación de la vulnerabilidad a estudiar sobre estos fenómenos.

Así mismo, se ha seguido la preferencia del establecimiento de normas basadas en objetivos (IMO Goal based Standards on new ship Construction) utilizando estudios basados en el riesgo (Risk based Oriented Methodology) cuyo máximo exponente es la evaluación formal de la seguridad (Formal Safety Assessment.- FSA).

Posteriormente, se podría valorar su utilización para tamizar y aislar los factores de riesgo recogidos en la European Maritime Casualty Information Platform (EMCIP).

Por otra parte, se ha establecido como objetivo, en relación al **Factor Humano, desarrollar una serie sistemática de acciones para mejorar dicho modelo de la OIT/IMO** basándose principalmente en las enmiendas a STCW78 Manila 2010 y el STCW-F (Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers-Fishing).

Tanto el estudio del factor técnico como el del factor humano se realizará principalmente desde la perspectiva de la investigación de la siniestralidad marítima, por considerar esta plataforma como la más apta y sobre la que se propondrán las mejoras a adoptar para reducirla, tratando de actuar directamente sobre los factores de riesgo que han concurrido en el transcurso de dichos accidentes.

1.2.2. Flota de buques de L < 24 metros

De los veintiocho países de la UE veintitrés tienen costa, siendo la longitud de esta equivalente a siete veces la de Estados Unidos y cuatro veces la de Rusia. Las regiones marítimas de la UE albergan casi la mitad de su población y representan casi la mitad del PIB. Incluyendo las regiones ultra-periféricas, la UE posee la mayor superficie marítima del mundo.

España tiene el sector pesquero más importante de la UE (Comisión Europea de la UE, 2014). El tonelaje total de la flota pesquera española alcanzó 379.000 GT concentrando el 22% del tonelaje total de la flota de la UE. El Reino Unido (UK) fue el segundo país por tonelaje de la flota pesquera, con 190.000 GT, la mitad de la flota española.

En las mismas fechas España tenía 9.895 embarcaciones pesqueras registradas, mientras que Reino Unido tenía 6.415 buques. Estas cifras están por debajo de Italia 12.698 buques y bastante por debajo de Grecia, con 15.860 unidades. Estos datos indican que las flotas de estos dos países se componen principalmente de unidades pequeñas.

La repercusión del empleo es otro indicador de la importancia del sector pesquero. De acuerdo con datos de la UE en el año 2011, el sector de la pesca en España emplea a 32.194 trabajadores (medidos en equivalentes a tiempo completo días laborables), mientras que toda la Unión Europea emplea 116.094 trabajadores. Por lo tanto, España emplea a casi un tercio de la fuerza laboral del sector pesquero en Europa. Reino Unido emplea a 11.277 trabajadores e Italia a 20.599 trabajadores.

Por volumen de capturas, España está de nuevo en la parte superior de los países europeos con las capturas de 1.034.173 toneladas en 2013, 15% de las capturas totales de la UE. Con fines comparativos, Reino Unido estaba cerca en la lista con capturas de 632.345 toneladas (el 11% de las capturas totales de la UE).

Sin embargo, a este respecto, España no es un país relevante a nivel internacional y no se encuentra entre los 19 principales productores de volumen de capturas. China se encuentra en la primera posición de la lista con 14,4 MT (millones de toneladas), que representa el 16% de la producción mundial, seguido por Indonesia con 6 millones de toneladas, 8%) y Perú con 5,8 millones de toneladas.

Dentro del ámbito de esloras elegido para este estudio, prácticamente la totalidad de los buques se dedican a la actividad económica incluida en el código CNAE-2009 y, particularmente, a la pesca marina.

En el artículo 4 del Real Decreto 543/2007 (RD, 2007) por el que se determinan las normas de seguridad y de prevención de la contaminación a cumplir por los buques pesqueros menores de 24 m de eslora y, a los efectos de lo dispuesto en el artículo 4.2 del Reglamento de Inspección y Certificación de Buques Civiles, aprobado por el Real Decreto 1837/2000, se realiza la siguiente clasificación de las embarcaciones de pesca de eslora (L) menor de 24 metros:

a) Embarcaciones de pesca local que, son las que ejercen su actividad sin alejarse de la costa más de 10 millas.

b) Embarcaciones de pesca litoral que, son las que ejercen su actividad dentro de la zona comprendida entre el litoral y la línea de 60 millas paralela al mismo y entre los paralelos 52° N y 20° N.

c) Buques y embarcaciones de pesca de altura, que son los que ejercen su actividad fuera de la expresada línea de 60 millas y en la zona comprendida entre los paralelos 60° N y 35° S y los meridianos 52° E y 20° O.

d) Buques y embarcaciones de pesca de gran altura, que son los que ejercen su actividad sin limitación de mares ni distancias a la costa fuera de las zonas comprendidas anteriormente.

La flota pesquera es el conjunto de buques que se utilizan para la captura de las diferentes especies. Las principales variables medidas son el número de buques, el arqueo, la potencia, la eslora, etc. Estas variables se agrupan y clasifican por el tipo de pesca principal, el caladero donde faenan, etc.

Las fuentes de los resultados que considerada para el desarrollo de esta tesis han sido la Estadística de Flota Pesquera que se realiza sobre el Censo de Flota Pesquera Operativa. Esta operación estadística está incluida en el Plan Estadístico Nacional (PEN) de cada período correspondiente, actualmente del PEN 2013-2016 destacaremos estas dos clasificaciones:

En las Tablas 1.1 y 1.2 se han representado los buques de pesca de la lista tercera operativos a 31 de Diciembre de 2014. En dicha Tabla 1.1 se han representado en rojo el porcentaje de los buques por intervalo de eslora con respecto al tipo de caladero y, en azul, el porcentaje de los buques de un determinado tipo de caladero con respecto al total nacional para un intervalo de eslora.

En la Tabla 1.2 se han representado, en rojo, el porcentaje de los buques por intervalo de eslora con respecto al tipo de pesca y, en azul, el porcentaje de los buques de un determinado tipo de pesca con respecto al total nacional para un intervalo de eslora.

En esta Tabla 1.2 se puede observar que las artes menores representan en España un 84% del total de la flota de buques operativa. En este tipo de arte pesquera utilizada se ha podido observar que la franja comprendida entre los buques con esloras entre 0 y 15 metros tenemos un total de 7.369 embarcaciones representando un 99% de todas las dedicadas a las artes menores.

Estos porcentajes refuerzan la necesidad de incrementar la seguridad en una flota tan representativa entre la flota operativa nacional, siendo las embarcaciones menores de 10 metros con un 85% las más utilizadas en España.

CALADEROS NACIONALES Censo de la Modalidad	Eslora (metros)					Total buques
	(0-10)	(10-12)	(12-15)	(15-18)	(18-24)	
Cantábrico- Noroeste	3938 82,4% 62,0%	332 6,9% 48,3%	267 5,6% 36,6%	107 2,2% 26,6%	138 2,9% 20,4%	4782
Mediterráneo	1377 55,5% 21,7%	242 9,8% 35,2%	267 10,8% 36,6%	181 7,3% 44,9%	412 16,6% 60,9%	2479
Golfo De Cádiz	396 50,3% 6,2%	50 6,3% 7,3%	151 19,2% 20,7%	96 12,2% 23,8%	95 12,1% 14,1%	788
Canarias	638 83,1% 10,0%	63 8,2% 9,2%	42 5,5% 5,8%	15 2,0% 3,7%	10 1,3% 1,5%	768
Cualquier Zona	0 0,0% 0,0%	0 0,0% 0,0%	3 10,7% 0,4%	4 14,3% 1,0%	21 75,0% 3,1%	28
Total buques	6349	687	730	403	676	8845

Tabla 1.1. Número de buques pesqueros, por intervalos de eslora y caladeros.

Tipo de pesca	Eslora (metros)					Total buques
	(0-10)	(10-12)	(12-15)	(15-18)	(18-24)	
Arrastre	10 1,6% 0,2%	12 1,9% 1,7%	67 10,6% 9,2%	150 23,8% 36,9%	392 62,1% 56,9%	631
Cerco	14 3,0% 0,2%	32 6,8% 4,7%	107 22,7% 14,7%	126 26,8% 31,0%	192 40,8% 27,9%	471
Palangre	37 16,3% 0,6%	29 12,8% 4,2%	67 29,5% 9,2%	38 16,7% 9,4%	56 24,7% 8,1%	227
Arte de Enmalle	5 6,7% 0,1%	6 8,0% 0,9%	11 14,7% 1,5%	23 30,7% 5,7%	30 40,0% 4,4%	75
Artes Fijas	0 0,0% 0,0%	0 0,0% 0,0%	0 0,0% 0,0%	0 0,0% 0,0%	5 100% 0,7%	5
Artes Menores	6283 84,3% 98,9%	608 8,2% 88,5%	478 6,4% 65,5%	69 0,9% 17,0%	14 0,2% 2,0%	7452
Sin tipo Asignado	1 100% 0,0%	0 0,0% 0,0%	0 0,0% 0,0%	0 0,0% 0,0%	0 0,0% 0,0%	1
Total buques	6350	687	730	406	689	8862

Tabla 1.2. Número de buques pesqueros, por intervalos de eslora y tipo de pesca.

Todo ello demuestra la gran importancia de este sector económico en Galicia (Riveiro, 2001) cuya cultura y desarrollo económico de sus poblaciones costeras gira en torno a esta actividad. Por ello, que se ha considerado esta flota como representativa en el ámbito del estado español.

De las Tablas 1.3 y 1.4 se puede deducir que la eslora media de todos los barcos que se dedican al cerco, palangre, redes de enmalle y a las artes menores está dentro del ámbito de este proyecto L < 24 metros, y son desarrolladas dentro del caladero nacional, destacando la CCAA de Galicia que con 4664 embarcaciones, casi triplica los de la CCAA de Andalucía con 1.534 y que figura en segundo lugar.

Un aspecto a tener en cuenta será la edad media de los barcos de pesca en la CCAA de Galicia que alcanza los 30 años. Todo esto, unido al estado de conservación inherente a esta antigüedad, supone un factor a tener en cuenta en el estudio de la siniestralidad marítima, lo que se confirma a nivel nacional al contar casi un 25% de esta flota con más de 40 años de antigüedad.

CALADERO NACIONAL	TIPO DE PESCA											
	Arrastre		Cercos		Palangre		Redes Enmalle		Artes menores		Total	
	Nº	L	Nº	L	Nº	L	Nº	L	Nº	L	Nº	L
Cantábrico -N.Oe.	93	28,3	272	22,3	71	16,4	81	17,0	4473	6,5	4990	8,1
Mediterráneo	626	20,3	237	18,3	128	12,9			1658	8,3	2649	12,3
Golfo De Cádiz	139	18,7	86	16,7					571	8,9	796	11,5
Canarias			12	12,9					771	8,3	783	8,4
Cualquier Zona			85	25,5							85	25,5
Total	858	20,9	692	20,5	199	14,1	81	17,0	7473	7,3	9303	9,8

Tabla 1.3. Número de buques pesqueros y eslora media, por tipo de pesca y caladero.

Nº buques	Antigüedad (años)									Resultados	
	0-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	>40	Total buques	Antig. media
Galicia	157	463	403	456	449	552	507	216	1461	4664	32
Asturias	18	34	77	51	23	25	23	5	23	279	20
Cantabria		13	51	47	9	4	5	1	8	138	19
País Vasco	4	47	89	34	18	9	3	3	4	211	15
Cataluña	13	106	103	68	128	101	70	49	191	829	30
C. Valen.	7	84	122	100	74	79	49	13	58	586	23
Baleares	6	29	40	25	33	45	36	16	130	360	35
Andalucía	35	299	384	158	61	132	71	34	360	1534	26
Murcia	5	20	20	22	12	26	21	4	59	189	33
Ceuta		4	4		3	2	3	4	4	24	32
Melilla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Canarias	14	98	88	36	9	57	83	42	394	821	38
Total buques	259	1197	1381	997	819	1032	871	387	2692	9635	30

Tabla 1.4. Número de buques pesqueros por intervalos de antigüedad y puerto base.

En una estadística más detallada, Tabla 1.5, se observa el elevado número de embarcaciones de pequeño porte de la CCAA de Galicia dedicado a artes menores.

Mejoras en el comportamiento de los buques de L < 24

Registro de buques pesqueros de la CCAA de Galicia a 10/03/2016						
DESCRIPCIÓN		Nº DE BARCOS	TRB	GT	POTENCIA CV	
CALADERO NACIONAL CANTÁBRICO NOROESTE	ARRASTRE		69	9816,09	15741,83	31303,01
	ARTES MENORES		2929	9482,7	8694,78	108272,94
	CERCO		148	4549,52	5927,05	31635,88
	PALANGRE DE FONDO		28	968,11	1486,68	5310,42
	PALANGRE DE SUPERFICIE		52	6263,32	11416,9	21677,23
	ENMALLE	RASCOS	4	113,87	122,86	550
VOLANTAS		28	9,93	17,8669	5382,99	
TOTALES		3258	31203,54	43407,9669	204132,47	
Buques dedicados a la Acuicultura/Auxiliares		1282				

Tabla 1.5. Número de buques pesqueros caladero nacional CCAA de Galicia.

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Factor técnico

El factor técnico principal que interviene en el desarrollo de los siniestros marítimos es el relacionado con las carencias en la estabilidad del buque. Estos siniestros se suelen desencadenar de una forma muy rápida y sin previo aviso, a veces con la tripulación descansando en sus camarotes, por lo que el resultado final suele agravarse seriamente.

Estas carencias en la estabilidad habitualmente no se deben a una sola causa, sino a un conjunto de ellas. Esta multicausalidad será analizada en esta tesis con el objeto de identificar las causas y proponer medidas correctoras a implantar con objeto de mejorar la estabilidad y la seguridad de los buques pesqueros, que limitaremos a los menores de 24 metros de eslora entre perpendiculares.

Habitualmente, el diseño de los barcos de pesca de eslora menor de 24 metros se realiza en función de las GT de las que disponga el armador, tal y como indica la reglamentación pesquera actual española en el “Real Decreto 1549/2009, del 9 de octubre, sobre ordenación del sector pesquero y adaptación al Fondo Europeo de la Pesca”. Esto supone que el diseño del buque nace con una limitación inicial severa que supone que no se pueden variar las que se denominan como GT’s bajo cubierta principal (volúmenes).

El armador a la hora de construir una embarcación nueva, siempre tratará de conseguir el mayor barco posible con las GT de las que disponga, siendo para él de gran importancia la eslora y la manga, con las que intentará obtener la mayor área de trabajo posible en cubierta y una buena estabilidad inicial, que es la que se percibe al embarcar.

Con objeto de ceñirse a estos requisitos, el proyectista deberá ajustar el puntal de la cubierta principal al mínimo posible, habitualmente a la altura de una persona. Esto supondrá que los barcos se diseñen con un francobordo muy ajustado, lo que puede ir en menoscabo de la estabilidad a grandes ángulos. Éste es un factor muy importante a la hora de evitar navegaciones comprometidas en situaciones meteorológicas adversas.

Un problema importante es que esta estabilidad no se aprecia al embarcar ya que normalmente la que se percibe es la estabilidad inicial del barco. Esto puede suponer que se está creando a la tripulación una sensación de seguridad en materia de estabilidad que no se corresponde con la realidad.

Con objeto de mejorar las condiciones de trabajo de la tripulación y la habitabilidad del buque, se ha ido modificando la reglamentación aplicable de forma que se han permitido notables incrementos en las GT's totales de las embarcaciones favoreciendo importantes aumentos de GT's sobre la cubierta principal. En la práctica esto ha supuesto un aumento de las superestructuras con objeto de proteger las cubiertas de trabajo expuestas, con la consiguiente elevación del centro de gravedad, del centro de empuje y el aumento de la superficie vélica de la embarcación. Como la altura de entrepuente tiene que ser la misma que en un barco grande, que como ya hemos dicho viene condicionada por el tamaño de las personas, el efecto relativo de incremento de altura del centro de gravedad del barco, así como del área vélica y su centro de empuje, es mucho mayor en un barco pequeño que en uno grande.

En la práctica, esto ha supuesto que la estabilidad inicial de algunos barcos es insuficiente, por lo que incluso a algunos ha sido necesario recurrir a lastrarlos de proyecto, perjudicando su francobordo y su capacidad de carga en las bodegas, razón por la cual muchas veces se comete la imprudencia de estibar la carga sobre la cubierta principal. Por esta misma razón, la capacidad de combustible en tanques estructurales se reduce al mínimo posible.

El problema surge cuando el buque no opera en su caladero, sino que lo hace en otro más lejano. Esta situación es muy habitual en la práctica de forma que se suele transportar el combustible extra en grandes garrafas sobre cubierta con la penalización que ello supondrá a la estabilidad al subir el centro de gravedad del barco.

A pesar de ello, es mucho peor la solución adoptada por otros armadores al habilitar indebidamente todo tipo de espacios como tanques de combustible, incluyendo el pique de proa y otros tanques, que en teoría constan en proyecto como espacios vacíos, cuyas superficies libres pueden llegar a penalizar la estabilidad de forma considerable. El hecho de sobrecargar el barco supone reducir significativamente su francobordo.

Un punto muy importante a considerar cuando se desarrolla el proyecto de una embarcación de pesca, es que se ha de tener en cuenta el peso de sus aparejos de pesca mojados y situarlos en el lugar donde realmente estarán estibados. Estos aparejos estarán ajustados a la faena que habitualmente va a realizar el barco, así como al tamaño y potencia de sus maquinillas. De nuevo, el proyectista se verá obligado a considerar el peso de los aparejos lo más ajustado posible, para lo que se suele tener en cuenta solamente el peso de un juego de aparejos, suficiente para faenar en las aguas cercanas a su puerto base. Cuando el caladero está más lejano, es habitual que se transporten

aparejos de reserva sobre cubierta, a veces duplicando o triplicando el peso considerado en el proyecto, con la consecuente e importante elevación del centro de gravedad, especialmente si las cubiertas sobre las que se transporta son altas.

Otro factor técnico a tener en cuenta y que ha sido el responsable de muchos de los accidentes e incidentes acaecidos por pesqueros en las costas españolas son los mecanismos de zozobra con mar de popa.

2.1.1. Bases de datos del factor técnico

Una vez establecida la Flota Pesquera Operativa actual en el punto 1.2.2, ahora se justificarán las fuentes utilizadas para conformar una base de datos válida, para realizar posteriormente la validación de este nuevo criterio de estabilidad intacta para dicha flota.

Para el desarrollo de esta tesis se han tomado en consideración una serie de datos extraídos principalmente de las bases de datos de la CIAIM (Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes Marítimos española), órgano colegiado adscrito al Ministerio de Fomento del gobierno español que posee competencias para la investigación de las causas técnicas de los accidentes e incidentes marítimos. El valor principal de estos datos es que en todos ellos se ha intentado recrear la condición de carga existente en el momento del siniestro, incluso en varios de ellos se ha podido realizar unas pruebas de estabilidad al buque una vez recuperado de su hundimiento.

Otras bases de datos utilizadas han sido las facilitadas por las Capitanías Marítimas de Vigo y A Coruña, de las cuales depende una importante flota operativa dentro del rango de eslora que nos ocupa. Todos ellos son buques que actualmente se encuentran en explotación y han demostrado buenas maneras marineras en el desarrollo de su actividad.

Así mismo, se han utilizado datos de embarcaciones siniestradas pertenecientes al MAIB (Maritime Accident Investigation Branch) (MAIB, 2017), siendo esta agencia de investigación de siniestros marítimos del Reino Unido una de las que más tradición tiene en esta materia.

Como “buque control” hemos utilizado el denominado en este trabajo como “**Buque A**”. Este buque fue diseñado en su totalidad por el autor de esta tesis, está en la actualidad desarrollando su actividad pesquera en la CCAA de Galicia, demostrando en multitud de ocasiones sus buenas maneras marineras en situaciones extremas de mar adversa. Sus características principales, así

como valores de estabilidad intacta, se han incluido en la sección 2.1.6 de esta tesis.

Así también se han considerado los comentarios de la Food and Agriculture Organization (FAO). En particular, se ha estimado que en 2001 existían en el mundo unas 15 millones de embarcaciones pesqueras (FAO, 2001) de las cuales han sufrido accidentes mortales por los menos 24.000, resultando un ratio de mortalidad en el sector pesquero de aproximadamente 160 muertos por cada 100.000 trabajadores.

Finalmente, la European Maritime Safety Agency, (EMSA, 2017) publica anualmente informes estadísticos de acuerdo a la directiva 2009/08/EC que también han sido considerados en este estudio.

2.1.2. Justificación estadística de la necesidad

Entre los datos estadísticos disponibles en esta materia cabe destacar por su valor intrínseco los datos de buques siniestrados facilitados por La Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes Marítimos española (CIAIM). El principal factor técnico que interviene en el desarrollo de los siniestros marítimos en las embarcaciones pesqueras es el relacionado con las carencias en la estabilidad del buque.

Así, en los últimos años entre un 50 y un 60% de los accidentes han sido protagonizados por pesqueros y un 60% de estos se ha producido por hundimientos o vuelco provocado por inundación y pérdida de estabilidad. En el último informe anual disponible se reseña que más de la mitad de los accidentes investigados por esta agencia son pesqueros, lo que da una idea de la entidad de esta flota con aproximadamente unas 10.000 unidades.

Los 97 accidentes notificados, Tabla 2.1, en el 2014 a la CIAIM (CIAIM, 2014) se registraron un total de 28 fallecidos, 8 desaparecidos y 6 heridos graves. De los 28 buques y embarcaciones perdidas 26 eran pesqueros. Especialmente se hace referencia a que en solo tres accidentes de pesqueros hundidos se han perdido 18 vidas de sus 31 tripulantes.

Queda reflejado en la Tabla 2.2 la gran afectación de la flota pesquera en los accidentes marítimos en el año 2014, representando un 68% del total de implicados en los sucesos investigados y el 52% de los implicados en sucesos notificados.

Tipología de los sucesos ocurridos en 2014	Número de sucesos notificados a la CIAIM		Número de sucesos Investigados	
	Número	%	Número	%
Abordaje	13	13%	5	14%
Accidente operacional	9	9%	3	8%
Colisión	5	5%	1	3%
Daño al barco o al equipo	4	4%	0	0%
Fallo estructural	1	1%	1	3%
Incendio/explosión	9	9%	3	8%
Inundación/hundimiento	10	10%	4	11%
Pérdida de control	16	16%	4	11%
Varada/embarancada	19	20%	5	14%
Vuelco/escora	11	11%	10	28%
TOTAL	97	100%	36	100%

Tabla 2.1. Número de sucesos notificados e investigados por la CIAIM.

Tipo	Número de buques y embarcaciones implicados en sucesos notificados		Número de buques y embarcaciones implicados en sucesos investigados	
	Número	%	Número	%
Carga	32	29%	10	24%
Pasaje	7	6%	2	5%
Pesquero	57	52%	28	68%
Recreo	4	4%	1	2%
Servicios especiales	8	7%	0	0%
Buque de estado	2	2%	0	0%
TOTAL	110	100%	41	100%

Tabla 2.2. Buques en % sucesos notificados e investigados CIAIM 2014.

2.1.3. Desarrollo del criterio

Tomando como base el criterio de estabilidad intacta (O'Dogherty, 2009) para buques pesqueros de altura, las conclusiones obtenidas en los Research Project 509, 560, 583 y otros muchos de la Universidad de Southampton (Wolfson, 2004a), siguiendo las pautas anteriormente descritas marcadas por la OMI en cuanto al desarrollo de Criterios de Estabilidad Inicial de Segunda Generación (OMI SLF 53/54), se ha desarrollado un criterio simplificado y específico para los buques objeto de esta tesis.

En el "Código Internacional de estabilidad sin avería, 2008" (Código IS, 2008) parte B "Recomendaciones aplicables a determinados tipos de buques y otras directrices" punto 2.1.3, se justifica la adopción por los países de criterios simplificados para aplicar los valores básicos de estabilidad a sus propios tipos y clases de buques, reconociendo estos como métodos valiosos y prácticos para evaluar la estabilidad de un modo económicamente rentable.

Para ello, en esta tesis se ha desarrollado un nuevo criterio simplificado de estabilidad intacta para buques pesqueros de eslora menor de 24 metros, basándose principalmente en la ponderación del GM y la estabilidad dinámica $e_0 = \int_0^{\theta} GZ \cdot d\theta$ hasta el ángulo de 70° y el valor de la altura de la ola crítica (C_{WH}) adaptado a las condiciones meteorológicas y oceanográficas del caladero, prestando especial atención a la pérdida de estabilidad en la navegación con mar de popa o de aleta por efecto del broaching.

En este criterio consideramos los parámetros de la estabilidad inicial, GM y el francobordo (Paroka&Umeda, 2007), como los principales parámetros a tener en cuenta. Para que los buques de menor eslora logren la estabilidad suficiente es necesario que posean un valor mayor de GM/B en función de la L_{pp} debido al pequeño francobordo que habitualmente poseen.

El valor de GM/B decrece al aumentar la eslora del buque porque generalmente los buques a partir de una eslora poseen una cubierta shelter con un gran francobordo que les permite tener una estabilidad inicial menor, véase la Fig. 2.1. Esta relación suele ser un buen indicativo de las aceleraciones que sufre el buque durante la navegación.

Por otra parte, los criterios de estabilidad intacta utilizados en la actualidad no suelen tener en cuenta la posibilidad de compensar la falta de estabilidad dinámica con un aumento de la estabilidad inicial (GM) y viceversa. Así mismo, se ha partido de la premisa de que el nivel de seguridad que debe

proporcionar el criterio debe depender del tamaño de la embarcación y del estado de la mar en la que opera.

Con objeto de contrastar este criterio de estabilidad se han tenido en cuenta los datos de una serie de accidentes marítimos de los que se tienen datos fidedignos, prestando especial atención a los barcos de pesca dentro del rango de esta tesis. Así también, se han considerado los datos de una serie de buques pesqueros que han sido considerados como poseedores de buenas condiciones marineras en relación a su estabilidad.

Estas condiciones marineras lógicamente estarán relacionadas con los posibles estados adversos de la mar. Para su implementación en este criterio, se ha realizado un estudio de las principales características de los caladeros gallegos fijando los parámetros de los mismos a tener en cuenta a la hora de introducir un coeficiente de corrección (C_{MO}) sobre los valores mínimos de estabilidad del criterio a aplicar.

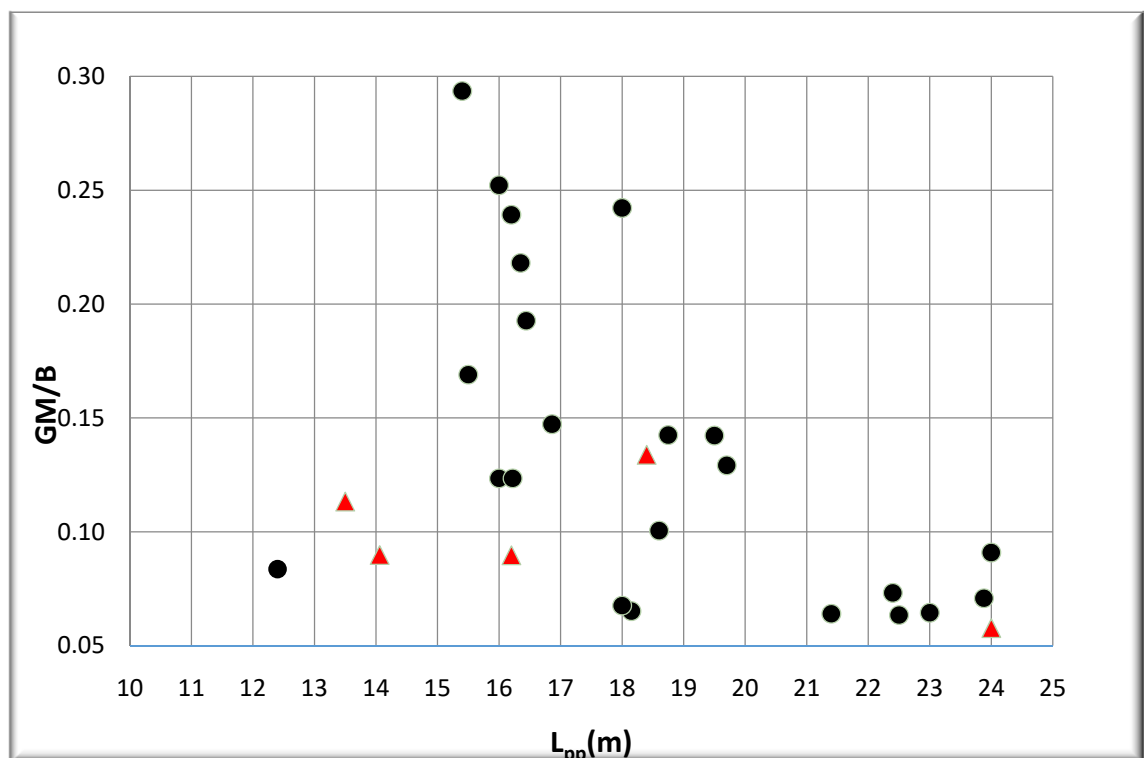


Figura 2.1. Relación GM/B Buques pesqueros analizados.

Para que este factor corrector sirva para cumplir con su objetivo, se ha tenido en cuenta también las zonas por las que tendrá que navegar el buque para llegar a los caladeros en los que tendrá autorizado faenar. Estas derrotas

y estos caladeros estarán claramente indicados en el libro de estabilidad y su certificado correspondiente, aplicándolo a las condiciones de carga reglamentarias.

Dichas condiciones de carga deberán ser actualizadas siempre que se requiera realizar un cambio en las zonas o caladeros de pesca. A la hora de fijar los parámetros que conformen este coeficiente corrector se tendrá en cuenta la facilidad para extrapolarlos a otros caladeros.

Como es sabido, en el estudio de la estabilidad intacta se consideran flotaciones paralelas a la línea base al considerar la superficie del mar como un plano horizontal. A pesar de ello, la realidad nos aconseja que se consideren los efectos debidos a la acción de las olas sobre la estabilidad.

Así mismo, en la parte A “Criterios obligatorios” punto 1.2 “Fenómenos de estabilidad dinámica con olas” del “Código Internacional de estabilidad sin avería, 2008” (Código IS, 2008) se especifica claramente que es necesario elaborar e implantar criterios basados en el rendimiento para que sean tenidos en cuenta los siguientes fenómenos:

a. Movimientos de balance paramétrico. Variación del brazo adrizante.

Los movimientos de balance paramétrico del buque con grandes amplitudes de olas se originan como consecuencia de las variaciones de estabilidad entre las posiciones correspondientes a la cresta y al seno de la ola (Bulian&Francescutto, 2004), (Bulian&Francescutto, 2011a). Este balance paramétrico puede producirse en dos situaciones:

- La estabilidad varía con un periodo de confluencia de las olas (TE) que es aproximadamente igual al periodo de balance (TR) del buque (relación de confluencia 1:1). La estabilidad registra un valor mínimo una vez durante cada periodo de balance. Esta situación se caracteriza por el balance asimétrico, es decir, por el hecho de que la amplitud con el centro del buque en la cresta de la ola sea mucho mayor que la amplitud en el otro lado. Dada la tendencia al retraso del adrizado desde la amplitud grande, el periodo de balance TR podrá adaptarse al periodo de confluencia hasta un cierto punto de modo que este tipo de balance paramétrico pueda producirse para un rango amplio de periodos

de confluencia. La transición a la resonancia armónica puede resultar perceptible con mar de aleta.

- La estabilidad varía con un periodo de confluencia (TE) que es aproximadamente igual a la mitad del periodo de balance (TR) del buque (relación de confluencia 1:0,5). La estabilidad registra un valor mínimo dos veces en cada periodo de balance. Con mar de popa o de aleta, en los que el periodo de confluencia es más largo que el periodo de la ola, esto sólo puede ocurrir con periodos de balance (TR) muy grandes, lo cual indica una estabilidad sin avería marginal.

El resultado es un balance simétrico de gran amplitud y vuelve a observarse la tendencia del buque a adaptar su respuesta al periodo de confluencia debido a la reducción de la estabilidad en la cresta de la ola. El balance paramétrico caracterizado por la relación de confluencia 1:0,5 también puede producirse con mar de proa o con mar de amura.

A diferencia de lo que sucede con mar de popa o mar de aleta, en los que la variación de la estabilidad sólo se ve afectada por el paso de las olas a lo largo del buque, la oscilación vertical y el cabeceo intensos que suelen registrarse con mar de proa o de amura pueden contribuir a la variación de la estabilidad, en particular como consecuencia de la inmersión y emersión periódicas de los marcos del codaste y del abanico de los buques modernos. Esto puede traducirse en movimientos acusados de balance paramétrico incluso con variaciones de estabilidad inducidas por olas más pequeñas.

El periodo de cabeceo y oscilación vertical del buque suele ser igual al periodo de confluencia con las olas. La incidencia del movimiento de cabeceo sobre el movimiento de balance paramétrico depende de la coordinación (acoplamiento) existente entre ellos.

El comportamiento dinámico de un buque que navega con mar de popa o de aleta es muy complejo. El movimiento del buque es tridimensional y, en combinación con los fenómenos antedichos, pueden registrarse simultánea o secuencialmente varios factores perjudiciales o fenómenos peligrosos (Bulian, et al., 2010), tales como momentos escorantes adicionales originados a consecuencia de que el borde de la cubierta esté sumergido, del agua transportada y retenida en cubierta (Paroka&Umeda, 2006) o del corrimiento de la carga debido a movimientos de balance amplios. Además, suele ser

frecuente que estas embarcaciones se encuentren con olas cuya longitud es análoga a su eslora.

Todo esto puede dar lugar a combinaciones extremadamente peligrosas que pueden causar su zozobra. Por lo general, la curva de brazos adrizantes aumenta ligeramente cuando el buque se encuentra en el seno de la ola disminuyendo considerablemente en las situaciones de quebranto en la cresta de la ola, tal y como se muestra en la Fig. 2.2.

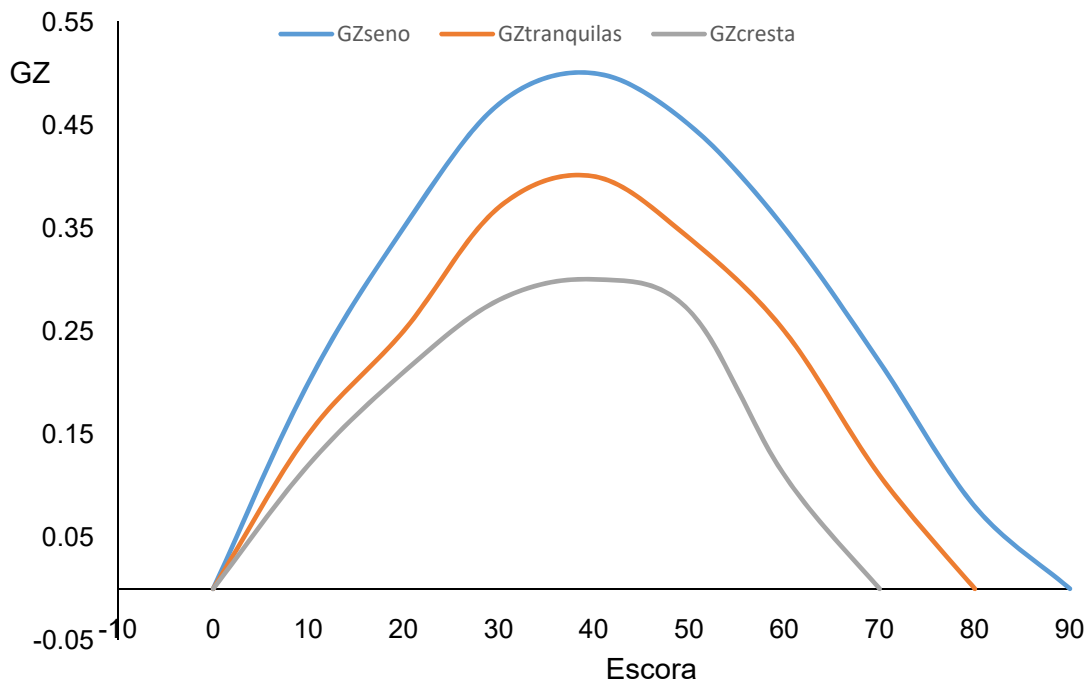


Figura 2.2. Ejemplo de la pérdida de estabilidad en la ola.

b. Movimiento de balance sincrónico con el buque apagado.

Está establecido que en el caso de que el periodo de balance natural de un buque coincida con el periodo de confluencia con la ola pueden llegar a producirse grandes movimientos de balance.

Durante una navegación con mar de popa o de aleta esta situación puede tener lugar cuando la estabilidad transversal del buque es marginal prolongándose así peligrosamente su periodo de balance normal (Bulian, 2012).

c. Fenómenos que suelen ocurrir con mar de popa y mar de aleta. Caída al través, Broaching y otros fenómenos relacionados con las maniobras.

Cuando un buque que navega con mar de popa o mar de aleta se encuentra olas cuyo periodo es más largo que el de las olas de través, de proa o de amura se pueden causar los siguientes peligros:

1. Navegación sobre la cresta de las olas y caída al través.

Se produce cuando el buque se encuentra en la cara frontal de una ola de gran pendiente con mar de popa o de aleta, puede acelerarse para remontar la ola, esto se llama navegar sobre la cresta de las olas.

Es entonces cuando puede presentarse el fenómeno denominado caída al través, que pone al buque en peligro de zozobra, Fig. 2.3, como resultado de un cambio repentino del rumbo del buque y de una gran escora. Este se produce cuando el buque navega con mares de popa o aleta.

Durante dicha navegación el momento de guiñada producido por la acción de las olas llega a ser mayor que el momento ejercido por el timón en sentido opuesto perdiendo gobierno la embarcación. En esta situación la tendencia será a atravesarse a la mar, adquiriendo una fuerte y peligrosa escora. En este proceso se pueden diferenciar dos fases, la primera será la escora desarrollada durante la virada y como consecuencia de esta el buque termina la maniobra con el mar de través en una situación peligrosa de mar adversa.

Es en estas dos situaciones es cuando se incrementa la importancia de disponer una elevada estabilidad residual. Esta será la razón por la cual este parámetro formará parte de la formulación del nuevo criterio de estabilidad a desarrollar implementando el valor de la altura de ola crítica (C_{WH}) en el cálculo.



Figura 2.3. Secuencia de zozobra por broaching. Fuente boatdesing.net.

2. Situación de pérdida de la estabilidad intacta cuando la parte central del buque se encuentra sobre la cresta de una ola en situación de quebranto.

Cuando un buque navega sobre la cresta de una ola, la estabilidad intacta puede disminuir de forma importante según los cambios de forma de la superficie mojada del casco sumergido. Es decir, la disminución en los brazos adrizantes de la curva de estabilidad estática depende de las formas del buque, siendo mayor en buques con formas finas y con poco calado. Esta disminución de estabilidad podría resultar peligrosa para longitudes de ola comprendidas entre $0,6 \times L$ y $2,3 \times L$.

En dicho intervalo es cuando la disminución de la estabilidad es prácticamente proporcional a la altura de la ola. Esta situación resulta crítica con mar de popa o de aleta ya que se prolonga el tiempo de navegación sobre la cresta de la ola, siendo este el periodo con menor estabilidad (Bulian et al., 2012).

La pérdida de estabilidad en esta situación ha sido estudiada por diversos autores entre los que pueden citarse a Yury Nechaev, (2011) que la ha representado a través de esta formulación (siendo su error inferior al 10%):

$$\delta GZ = -B \cdot \sum_{i=1}^{i=7} A_i \cdot f_i(\theta)$$

Donde;

B = Manga del buque.

A_i = Son funciones de las características del buque, dadas por las ecuaciones:

$$A_1 = \frac{\zeta}{\lambda_1} \quad A_2 = 0,208 - B/L \quad A_3 = 0,375 - d/B$$

$$A_4 = \frac{d}{B} - 0,77 \quad A_5 = 0,7 - \delta/\alpha \quad A_6 = 0,692 - \delta/\beta$$

$$A_7 = F_n - 0,28$$

Donde;

L = Eslora en la flotación

λ y ζ son la longitud y la altura de la ola.

Si $L/B > 7,5$, el coeficiente de $f_i(\theta)$ se tomará igual a cero, porque la velocidad, en este caso, no tiene influencia en la estabilidad.

Este método es aplicable para buques que cumplan con los siguientes requisitos:

$$\begin{array}{lll} L/B > 7,5 & 1,6 < B/D < 3,75 & D/d > 1,05 \\ 0,55 < \theta < 0,85 & 0,55 < \varphi < 0,85 & 0,22 F_n < 0,36 \end{array}$$

A continuación, se representa en la Fig. 2.4 la de pérdida de estabilidad con mar de Popa según Nechaev, adaptado para buques de eslora menor de 24 metros.

$$\delta e_{40^\circ} = \int_0^{40} \delta GZ \cdot d\theta$$

Estos valores se representan en la siguiente gráfica en función de la eslora.

Sobre esta gráfica puede observarse que la pérdida de estabilidad dinámica hasta el ángulo 40° crece sistemáticamente al aumentar el tamaño de los buques. Los cálculos efectuados entonces correspondían a una pendiente de la ola, encontrándose que la pérdida de estabilidad era superior a la estabilidad dinámica mínima señalada por la IMO en su propuesta.

Los autores estimaron que la conclusión era debida a suponer la pendiente de la ola constante, lo cual no era acorde con los datos conocidos sobre olas.

Este extremo no se tuvo en cuenta por ser pequeña la variación de pendiente que podía existir en la gama de valores considerados y ser usual el adoptar una pendiente constante de las olas en cálculos de resistencia longitudinal y otros estudios teóricos.

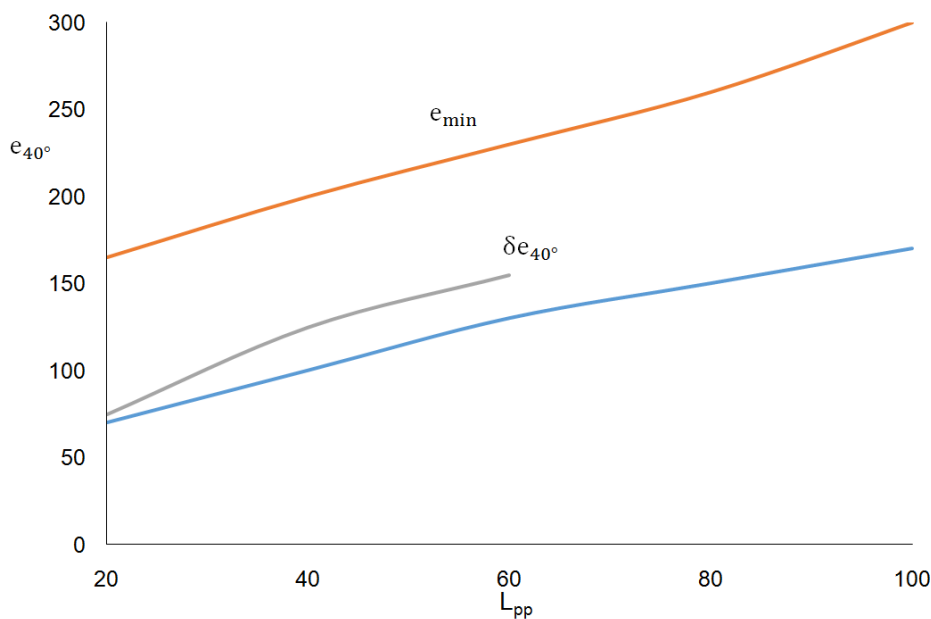


Figura 2.4. Gráfica de pérdida de estabilidad con mar de Popa.

Sin embargo, al rehacer estos cálculos empleando una pendiente de olas variable, la conclusión establecida en la discusión sigue siendo totalmente válida, lo que comprueba la falta de seguridad del criterio provisional marcado por la IMO al aplicarlo a buques de diferentes esloras, resultando dicho criterio menos conservador en los buques de mayor tamaño.

3. Brazos escorantes producidos por metida de la pala del timón.

Este efecto podría ser de entidad en buques considerados rápidos. Durante su evolución la fuerza centrífuga que actúa sobre el buque es:

$$F_e = \frac{\Delta \cdot V_e^2}{g \cdot R}$$

Donde;

V_e = Velocidad del buque durante la metida, m/s.

R = radio de evolución, m.

El brazo escorante ($ht\theta$), producido por esa fuerza, en metros, es:

$$ht\theta = 0,027 \cdot \frac{V_E^2 \cdot H}{R} \cos \theta$$

Estando V_E expresado en nudos y siendo H la distancia vertical expresada en metros entre el centro de gravedad del buque y el centro de deriva que se supone a una distancia de la flotación igual a la mitad del calado.

$$H = KG - \frac{1}{2} \cdot d$$

La velocidad durante la evolución queda disminuida apreciablemente, tanto más cuanto menor es el coeficiente de bloque o el radio de evolución. Se deduce la siguiente fórmula para V_E/V :

$$\frac{V_E}{V} = 0,75 \cdot \delta + 0,35 \cdot \sqrt{\frac{R}{L_{pp}} - 0,52}$$

Que puede ser utilizada hasta los valores de $R/L_{pp} = 8$.

Es recomendable que el buque cumpla el siguiente criterio de estabilidad específico para este efecto del timón.

1. Se traza la curva de los brazos escorantes.
2. Siendo θ el ángulo de equilibrio deberá verificar que $\frac{GZ(\theta)}{GZ_m} < 0,60$.
3. El ángulo θ no puede ser mayor de 12 grados cuando el buque mete toda la caña a la máxima velocidad.
4. La reserva de estabilidad dinámica ha de ser superior al 40 por ciento del valor del brazo dinámico del buque hasta el ángulo de estabilidad nula o hasta 80°.

En la Fig. 2.5 se observa los parámetros anteriormente descritos para un buque que cumple dicho criterio de estabilidad específico para este efecto del timón.

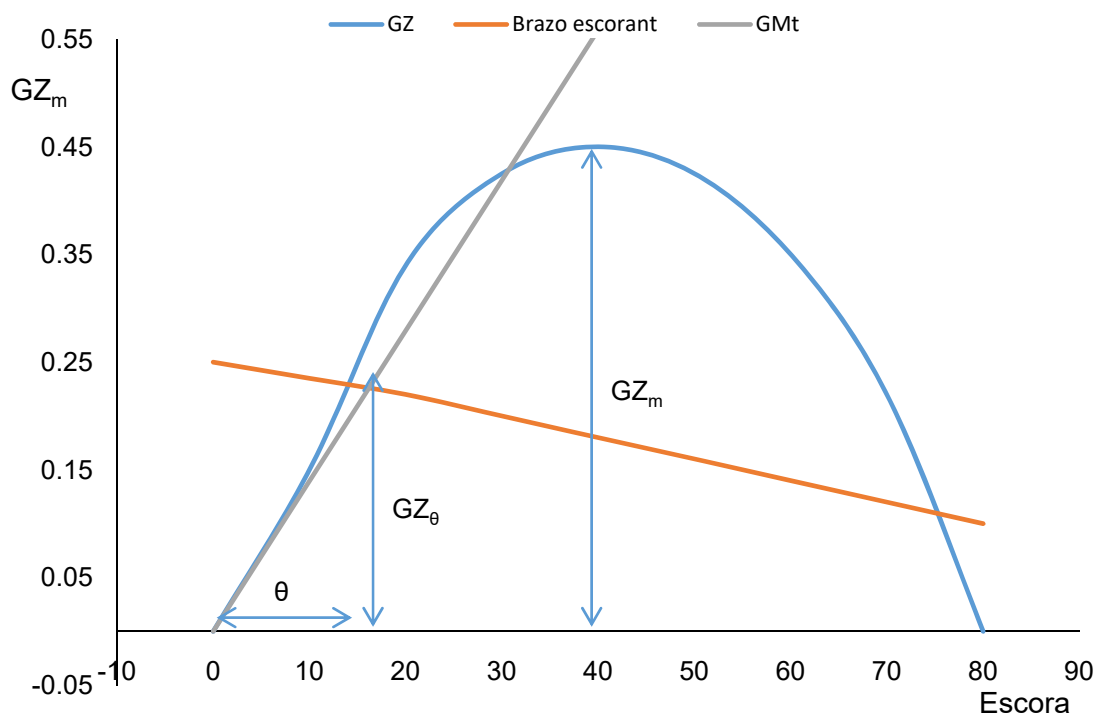


Figura 2.5. Criterio de estabilidad específico para efecto del timón.

Por otra parte, la mar de aleta afecta directamente a la efectividad de la pala del timón y, por consiguiente, a la maniobrabilidad del buque. En esta situación se reduce severamente la velocidad relativa de incidencia del agua sobre la pala y se puede producir un movimiento de guiñada debido a la acción dinámica de las olas, derivado de los movimientos orbitales en sentido opuesto del agua entre el seno y la cresta de la ola.

Las embarcaciones pesqueras que poseen bulbo de proa sufren en menor medida esta pérdida de efectividad ya que la reducción de los brazos adrizantes, así como el desplazamiento hacia proa del centro de carena, es menor obteniendo una situación más equilibrada y reduciéndose el movimiento de guiñada.

d. Combinación de diversos fenómenos peligrosos

El comportamiento dinámico de un buque que navega con mar de popa o de aleta es muy complejo. El movimiento del buque es tridimensional y, en combinación con los fenómenos antedichos, pueden registrarse simultánea o secuencialmente varios factores perjudiciales o fenómenos peligrosos.

Tales factores como momentos escorantes adicionales originados a consecuencia de que el borde de la cubierta esté sumergido, del agua transportada y retenida en cubierta o del corrimiento de la carga debido a movimientos de balance amplios (Bulian&Francescutto, 2011b).

Esto puede dar lugar a combinaciones extremadamente peligrosas que pueden causar la zozobra del buque por acción del viento y las olas. Se tendrán en cuenta principalmente la pérdida de estabilidad inducida por las olas con mar de popa o de aleta y, en particular, el llamado “Efecto Broaching”. Así mismo, se deberá tener en consideración la Pérdida de estabilidad producida por el efecto combinado de:

1. Superficies libres en tanques.

Se han seguido las recomendaciones de la IMO en esta materia, debiendo considerar para calcular la corrección por superficies libres en tanques que tengan el máximo momento escorante para un ángulo de inclinación de 30°. El valor de dicho momento escorante viene dado por:

$$M_{FS} = V \cdot b \cdot \gamma \cdot K(\theta) \cdot \sqrt{\delta}$$

Donde;

V = Volumen total del tanque.

b = Manga máxima del buque.

γ = Peso específico del líquido del tanque en T/m³.

$K(\theta)$ = Coeficiente adimensional relacionado con b/h tabulado en los reglamentos.

δ = Coeficiente de bloque del tanque = $\frac{V}{b \cdot h}$

h = Longitud máxima el tanque.

No se considerarán los tanques que para un ángulo de inclinación de 30° cumplan con:

$$V \cdot b \cdot \gamma \cdot K(30^\circ) \cdot \sqrt{\delta} < 0,01 \cdot \Delta_{\min}$$

Siendo Δ_{\min} el valor del mínimo desplazamiento del buque.

2. Corrimiento de la carga.

Para calcular el efecto escorante del corrimiento de la carga se realizará un estudio de un número suficiente de pesqueros suponiendo un corrimiento de la carga de la mitad de la eslora para un 105% de la carga, en dónde;

$$\text{Brazo escorante} = 0,05 \cdot WB \cdot \cos \theta / \Delta$$

3. Maniobra artes de pesca.

En los buques con métodos y artes de pesca que los sometan a fuerzas externas adicionales que creen momentos escorantes, deberá demostrarse por cálculo directo que el buque no sumerge ningún punto de la cubierta cuando dichas fuerzas están actuando.

La situación de carga sobre la que se calculará será la considerada como más desfavorable. Si esta no es compatible con una situación de pesca, preferiblemente se realizará con la condición de carga de salida de caladero con 35% de consumos y 100% de pesca.

2.1.3.1. Hipótesis iniciales

Se han establecido las siguientes hipótesis antes de desarrollar el nuevo criterio de estabilidad:

- Es conveniente establecer un $GM_{\text{límite}}$ para cada buque en relación a su eslora entre perpendiculares (L_{pp}) y a su Manga (B) y nunca establecer un valor mínimo fijo para toda la flota.
- Para estos buques pesqueros el valor de GM/B es un buen indicativo de las aceleraciones que sufre durante la navegación y labores de pesca producen en la mar. Según los criterios de estabilidad inicial mínima definidos (O'Dogherty, 2009), se establecen que los valores medios de GM/B en función de la manga y de la condición de carga serán:

Salida de puerto: $GM/B = 0,14 - 0,006 \cdot B$

Salida de caladero y Rendir viaje: $GM/B = 0,17 - 0,01 \cdot B$

Siendo el valor del GM: $GM_{\text{min}} = \frac{p \cdot A_v \cdot z}{\Delta \cdot \text{tg}\theta}$

Donde;

$$p = 0,0546 + (L_{pp}/1310)^2$$

θ = ángulo de escora correspondiente a la inmersión de la mitad del francobordo u 8° si $\theta < 8^\circ$.

A_v = área transversal expuesta al viento, proyectada.

z = distancia vertical del centro de gravedad a un punto situado a la mitad del calado.

Δ = Desplazamiento

- Se ha partido del criterio de estabilidad para pesqueros de altura establecido por O'Dogherty (O'Dogherty, 2009). De acuerdo con este criterio, no parece conveniente fijar valores mínimos muy distintos a los dos parámetros elegidos de GM y de estabilidad dinámica hasta el ángulo de setenta grados e_{70° ó hasta el ángulo de inundación progresiva si éste es menor de forma que los valores mínimos exigidos para e_{70° serán crecientes con la eslora y, por otra parte, cuando la estabilidad inicial C_1 se considere insuficiente. Estos valores están ligados entre sí de tal forma que un buque con poco francobordo y e_{70° necesita tener un valor más alto de GM, ocurriendo lo contrario en buques con una amplia reserva de estabilidad.
- Se ha tenido en cuenta los estudios de la Wolfson Unit (Wolfson, 2004a), en donde se destaca el hecho de que el nivel de seguridad proporcionado por los criterios debe depender del tamaño de la embarcación y del estado de la mar donde opera. Estableciendo que la vulnerabilidad a la zozobra dependía en gran medida del Rango de estabilidad residual y en menor medida del momento adrizante máximo.
- Para esta tesis doctoral se ha considerado los tipos de efectos escorantes para los buques de $L < 24$ m detallados en el apartado anterior.
- Para fijar los valores del nuevo coeficiente Meteorológico y Oceanográfico (C_{MO}) se ha realizado un estudio detallado fijando unos parámetros válidos de cada caladero de la flota gallega.
- Estos valores serán elegidos de forma que sean fácilmente extrapolables a los de otros caladeros, siendo esta otra de las partes más innovadoras de este criterio. Uno de los objetivos será adaptar los criterios de estabilidad actuales a las condiciones de los caladeros en donde estará autorizado el pesquero a faenar, así como las condiciones del mar hasta llegar a dicho caladero. Esto evitará las actuales desviaciones en relación a los mínimos exigidos, especialmente a las embarcaciones que faenan exclusivamente dentro de las rías.
- En el Libro de Estabilidad quedarán claramente indicados los caladeros en los cuales podrá faenar el pesquero y para los cuales se realizarán los cálculos para cada condición de carga que se pueda darse en el desarrollo habitual de su actividad pesquera.

2.1.3.2. Criterio

Tal y como se ha indicado anteriormente, los actuales criterios de estabilidad (IMO, Rahola) basados en el análisis de las características de los valores de su curva de brazos adrizantes, no se pueden considerar completamente satisfactorios. Por ello, se procede al desarrollo de un nuevo criterio en base a las hipótesis presentadas en la sección anterior.

Para realizar la formulación necesaria para el nuevo criterio de estabilidad intacta, en primer lugar se han establecido los coeficientes adimensionales que se han utilizado. Posteriormente se desglosará el procedimiento de cálculo desarrollado, ilustrándolo en la sección 2.1.5 con un ejemplo de un buque perteneciente a este rango de esloras y aplicándolo a su condición de carga reglamentaria más desfavorable. Finalmente, será contrastado con nuestra base de datos de buques reales y en activo.

El coeficiente adimensional de estabilidad SC (criterio de estabilidad) se formulará como la suma del coeficiente de estabilidad inicial (C_1) y el coeficiente de estabilidad dinámica (C_2), tal y como se puede apreciar en la ecuación 2.1.

$$SC = C_1 + C_2 \quad [2.1]$$

Todo ello para la condición de carga con la estabilidad más desfavorable. En este sentido, podemos definir C_1 como el menor de los valores de C_{1-1} y de $C_{1 \text{ límite}}$ obtenidos por medio de las ecuaciones 2.2 y 2.3.

$$C_{1-1} = 50 \cdot GM/B \quad [2.2]$$

$$C_{1 \text{ límite}} = 8 - 0,12 \cdot L_{pp} + 0,0006 \cdot L_{pp}^2 \quad [2.3]$$

Tal y como podemos observar de esta última ecuación, la estabilidad inicial límite exigida será siempre la misma para una L_{pp} dada.

Al evaluar la estabilidad mediante SC se pueden dar dos casos:

1º Que $C_{1-1} < C_{1 \text{ límite}}$. En este caso la estabilidad dinámica exigida por el criterio será tanto mayor como menor sea el GM, puesto

que $C_{1-1} = 50 \cdot GM/B$ lo que resultará en una estabilidad suficiente en todos los casos. La estabilidad inicial ($\Phi < 15^\circ$) del buque no es excesiva.

En esta situación, cuando el valor de C_{1-1} es menor de $C_{1 \text{ límite}}$, el valor mínimo de e_{70° aumentará en un valor igual al valor obtenido por medio de la ecuación 2.4.

$$\delta e_{70^\circ} = \frac{C_{1 \text{ límite}} - C_{1-1}}{1000} \cdot L_{pp} \quad [2.4]$$

Valor de GM asociado al valor de $C_{1 \text{ límite}}$ será:

$$GM_{\text{límite}} = \frac{C_{\text{límite}} \cdot B}{50} \quad [2.5]$$

De esta manera, el periodo de balance correspondiente a este $GM_{\text{límite}}$ viene dado por la ecuación 2.6.

$$TGM_{\text{límite}} = f \cdot \frac{B}{\sqrt{GM_{\text{límite}}}} \quad [2.6]$$

En donde,

$$f = 0,746 + 0,046 \cdot \left(\frac{B}{T_m} \right) - 0,086 \cdot \left(\frac{L}{100} \right)$$

2º Que $C_{1-1} \geq C_{1 \text{ límite}}$. En este caso la estabilidad inicial ($\Phi < 15^\circ$) puede ser excesiva para la bondad de sus movimientos de balance. Es decir, que el valor de GM es suficientemente amplio como para aceptar para K (brazo de estabilidad dinámica) hasta el ángulo ΦK (m x rad) el valor exigido por el criterio.

C_2 es el coeficiente de estabilidad dinámica, el cual será igual al menor de los valores C_{2-1} y C_{2-2} obtenidos por medio de las ecuaciones 2.7 y 2.8.

$$C_{2-1} = \frac{(2000 \cdot e_{70^\circ})}{L_{pp}} \quad [2.7]$$

En donde:

$$e_{70^\circ} = \int_0^{70^\circ} GZ_x \cdot \delta\Phi$$

$$C_{2-2} = \frac{(C_{WH} \cdot 100)}{L_{pp}} \quad [2.8]$$

Según los resultados de los estudios realizados (Wolfson, 2004a), podemos formular la altura crítica de ola (C_{WH}) por medio de la ecuación 2.9.

$$C_{WH} = \frac{\text{Range} \cdot \sqrt{RM_{\max}}}{10 \cdot B} \quad [2.9]$$

Siendo;

Range = Rango positivo de estabilidad residual.

RM_{\max} = Máximo momento adrizante residual.

B = Manga de trazado de la embarcación.

En la Fig.2.6 de curva de brazos adrizantes (GZ) se puede observar la representación gráfica del rango positivo de estabilidad residual (Range) expresado en grados y el máximo momento adrizante residual (RM_{\max}) expresado en Toneladas métricas.

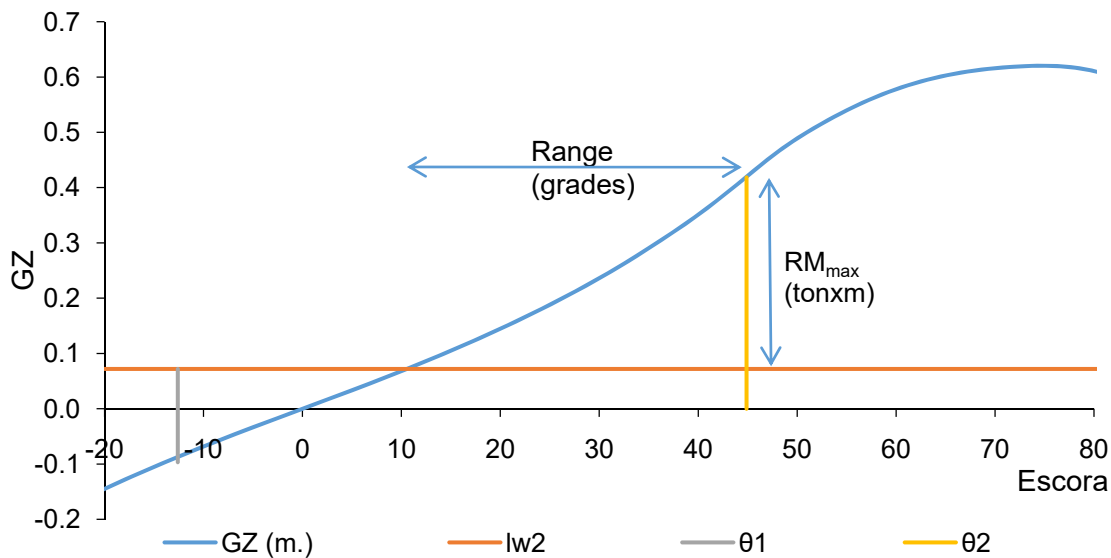


Figura 2.6. Representación del Range y del RM_{max} .

Para el cálculo de estos dos valores se han tenido en cuenta los coeficientes del efecto del agua embarcada y los efectos del viento y balance intensos, según el criterio actual en vigor en España RD 543/2007, el Protocolo de Torremolinos 1993 (Torremolinos, 2012) y la Resolución A.685(17) (IMO, 1991). Una vez obtenidos los valores de estos coeficientes, utilizaremos el menor de ellos para realizar el cálculo de la altura de ola crítica. Este se efectuará sobre la condición de caga más desfavorable, independientemente de que esta posea una estabilidad dinámica a 30° por encima de la mínima requerida reglamentariamente ($0,065 \text{ m.rad}$) para ser estudiado el efecto del viento y del agua embarcada. Es interesante destacar que (Mata, 2014) también ha sugerido realizar el cálculo de estos coeficientes, aunque los buques posean valores de estabilidad dinámica por encima de los actualmente requeridos para considerar su cálculo.

Se deberá tener en cuenta que los valores obtenidos de altura de ola crítica (C_{WH}) no son valores para predecir la zozobra de la embarcación, sino valores para estimar la altura mínima de la ola que podría hacer zozobrarla.

En los estudios realizados en el PR 509 de la Wolfson Unit la gran mayoría de los modelos no han mostrado signos de vulnerabilidad con olas mucho mayores que las obtenidas con la ecuación 2.9, pero las tripulaciones podrían tener un indicio de la vulnerabilidad de su embarcación en el caso de modificar el rumbo o de que variase la frecuencia de las olas.

Las constantes 50, 100 y 2.000 utilizadas en las ecuaciones 2.2, 2.7 y 2.8 han sido elegidas de tal forma que los valores resultantes de C_1 y C_2 sean números manejables y que su comparación influya razonablemente en la aplicación del criterio.

Finalmente, la estabilidad de un pesquero se considerará como satisfactoria si se verifica la condición reflejada en la ecuación 2.12.

$$SC = C_1 + C_2 \geq SC_{\min} \quad [2.12]$$

En base al valor mínimo del coeficiente de estabilidad, inicialmente propuesto por O'Dogherty, ha sido definido para este nuevo criterio un nuevo SC_{\min} más completo que considera el criterio Meteorológico y Oceanográfico (C_{MO}), tal y como se aprecia en la ecuación 2.13.

$$SC_{\min} = \left[A + (B \cdot L_{pp}) + \left(\frac{C}{L_{pp}} \right) \right] \cdot C_{MO} \quad [2.13]$$

Siendo;

A: 2,7

B: - 0,004

C: 244

C_{MO} : Criterio Meteorológico y Oceanográfico.

El valor del coeficiente C_{MO} se aplicará en la ecuación del SC_{\min} con un rango de este coeficiente entre el 0,9 y el 1,1 de forma que el SC_{\min} se incrementará o reducirá como máximo en un 10%. De esta forma, se penalizará a los buques y embarcaciones autorizadas a faenar fuera de las rías (1,1) en mares con condiciones adversas y, en general, fuera de la línea base.

Así también, se favorece el cumplimiento del criterio en las embarcaciones que realizan su actividad pesquera dentro de las rías (0,9) en mares protegidos y en general en aguas interiores. En particular, para nuestra validación se le ha asignado un valor inicial de 1,0.

2.1.4. Validación del criterio

En secciones anteriores, se ha realizado un análisis pormenorizado de la flota operativa de buques pesqueros. A continuación, se demostrará la validez del criterio. Para ello, se utilizarán los datos de estabilidad de una colección de unos 30 buques de esta lista, donde varios de los cuales han zozobrado por motivos comprobados de carencia de estabilidad.

Los datos de estos buques siniestrados han sido recopilados a partir de las publicaciones de la Comisión permanente de investigación de accidentes e incidentes marítimos (CIAIM) española. Por otra parte, los datos del resto de los buques que la conforman provienen de buques de capitanías marítimas gallegas y de la base de datos del MAIB.

De igual manera, se ha tomado como referencia el buque denominado "A" en la Tabla 2.3 y definido como "Buque tipo seguro" por su adecuado comportamiento en los diversos caladeros en los que ha navegado.

En la Tabla 2.3 podemos observar las principales dimensiones de cada buque y sus valores de estabilidad inicial y estabilidad dinámica a e_{70° . En la Tabla 2.4 se muestran las principales condiciones de carga estudiadas extraídas de sus libros de estabilidad.

Finalmente, es interesante recalcar que se ha utilizado para la comprobación de este criterio la considerada como más desfavorable. En particular, en el caso de los buques siniestrados se ha considerado la condición de carga supuesta en el momento del siniestro.

Buque	C. Carga	L_{pp}	B	GM	e_{70°
A	4	18,15	6,00	0,391	0,379
1	5	16,20	5,30	0,475	0,199
2	5	13,50	5,20	0,589	0,019
3	5	14,06	5,00	0,449	0,115
4	5	9,00	2,52	0,908	0,097
5	5	18,40	5,88	0,786	-0,027
6	5	24,00	6,50	0,375	0,616
191	4	16,44	5,88	1,133	0,12
244	4	19,70	6,00	0,775	0,122
247	4	16,00	5,75	1,45	0,19
250	2	15,50	5,00	0,845	0,124
271	2	19,50	6,20	0,882	0,161
303	4	24,00	8,00	0,727	0,428
318A	4	16,00	5,50	0,679	0,237
318B	4	22,40	7,00	0,512	0,281
403	4	18,60	5,90	0,593	0,058
404	3	15,40	5,75	1,688	0,359
408	3	18,00	6,20	0,419	0,304
413A	4	23,00	6,50	0,419	0,364
413B	4	21,40	6,50	0,416	0,394
414	4	23,88	7,50	0,531	0,218
416	4	22,50	6,70	0,425	0,366
421	2	16,86	5,84	0,86	0,127
DX	4	12,40	5,00	0,418	0,191
CCN	2	18,00	6,30	1,526	0,308
1C	2	16,35	5,70	1,243	0,392
3C	2	18,75	6,45	0,919	0,131
6C	2	16,20	5,10	1,22	0,239
8C	3	16,22	5,20	0,642	0,128

Tabla 2.3. Tabla representativa de la base de datos de buques.

Condiciones de carga consideradas:	
1	Salida de puerto 100% Consumos
2	Salida de caladero 100% pesca 35% consumos
3	Rendir viaje 10% consumos 100% pesca
4	Rendir viaje 10% consumos 20% pesca
5	Supuesta durante el siniestro
6	Otras reglamentadas

Tabla 2.4. Condiciones de carga de la tabla representativa de la base de datos de buques.

2.1.5. Razonamiento justificativo de la elección del buque tipo seguro

Para la elección del Buque tipo seguro se han seguido los criterios fundamentales de diseño en su fase de proyecto y un seguimiento posterior durante los aproximadamente catorce años de vida del buque desarrollando su actividad pesquera en las aguas de la CCAA de Galicia.

Durante este tiempo la respuesta del buque ha sido satisfactoria en situaciones comprometidas de viento y mar adversas presentando una buena respuesta tanto en materia de estabilidad estática como dinámica. Su comportamiento en la mar ha sido más que aceptable incluso en materia de confortabilidad en dichas condiciones adversas, por lo que se puede considerar como un buque de referencia.

2.1.6. Formulación utilizada para el buque tipo seguro

A continuación, enumeraremos las características principales del buque y a modo de ejemplo detallaremos el modo de aplicación de la formulación del criterio para el buque considerado como “Buque tipo seguro” o “Buque A”, tal y como aparece incluido en la Tabla 2.3.

Características principales del buque tipo seguro (Buque A):

Eslora entre perpendiculares (L_{pp})	18,15 m
Manga (B)	6,00 m
Puntal Cta. Principal	2,80 m
Calado de proyecto	2,40 m

Condición de carga considerada: Rendir viaje 10% Consumo y 20% de pesca

Desplazamiento condición considerada	168,20 T
KG	2,73 m
GM_t	0,39 m
GZ_{max}	0,62 m
Coeficiente de altura de ola (C_{WH})	3,84 m
Coeficiente Meteorológico y Oceanográfico (C_{MO})	1,00 m

En el siguiente desglose se detalla el método de aplicación de la formulación utilizada para este buque, considerado como el “buque tipo seguro” y el origen de los valores que se han tenido en cuenta en dicha formulación.

En primer lugar, se han calculado los valores para el agua embarcada de la forma establecida por el RD 543/2007 que son los establecidos por el protocolo de Torremolinos 2012, ver Fig. 2.9. En él se puede observar como dicho efecto no supone menoscabo en su estabilidad, cumpliendo los parámetros mínimos con mucho margen.

Así mismo, se ha comprobado el efecto del viento sobre su perfil de la forma establecida por la resolución A.685(17) (IMO, 1991) el protocolo de Torremolinos 2012 y su transposición al ordenamiento jurídico español con el RD 543/2007. Tras dicha comprobación como se muestra en la Fig. 2.8 se puede observar que la relación de áreas es sobradamente mayor que 1, cumpliendo por tanto los parámetros fijados por dicho criterio.

Una vez, establecido el cumplimiento de los criterios mencionados anteriormente, se tendrá en cuenta el valor más desfavorable de ellos a efectos de calcular el valor de la altura crítica de ola (C_{WH}), que posee la siguiente formulación.

$$C_{WH} = \frac{\text{Range} \cdot \sqrt{RM_{\max}}}{10 \cdot B} \quad [2.9]$$

Siendo;

Range = Rango positivo de estabilidad residual.

RM_{\max} = Máximo momento adrizante residual.

B = Manga de trazado de la embarcación.

En la Fig. 2.10 hemos representado la curva de brazos adrizantes (GZ) y en ella se puede observar la representación gráfica del Rango positivo de estabilidad residual (Range) expresado en grados y el máximo momento adrizante residual (RM_{\max}) expresado en Toneladas métricas.

Para finalizar, los valores que anteriormente se han obtenido a partir de las bases de datos, han sido empleados en la formulación del criterio de estabilidad intacta desarrollado en esta tesis, tal y como se ha detallado en el punto 2.1.3.2 y se puede apreciar en la Fig. 2.11. En particular, con dichos resultados se ha comprobado que el buque tipo seguro cumple sobradamente con el criterio de estabilidad intacta específico.



Figura 2.7. Fotografía perfil Buque tipo seguro, abarloado.



Figura 2.8. Fotografía perfil Buque tipo seguro, en navegación.

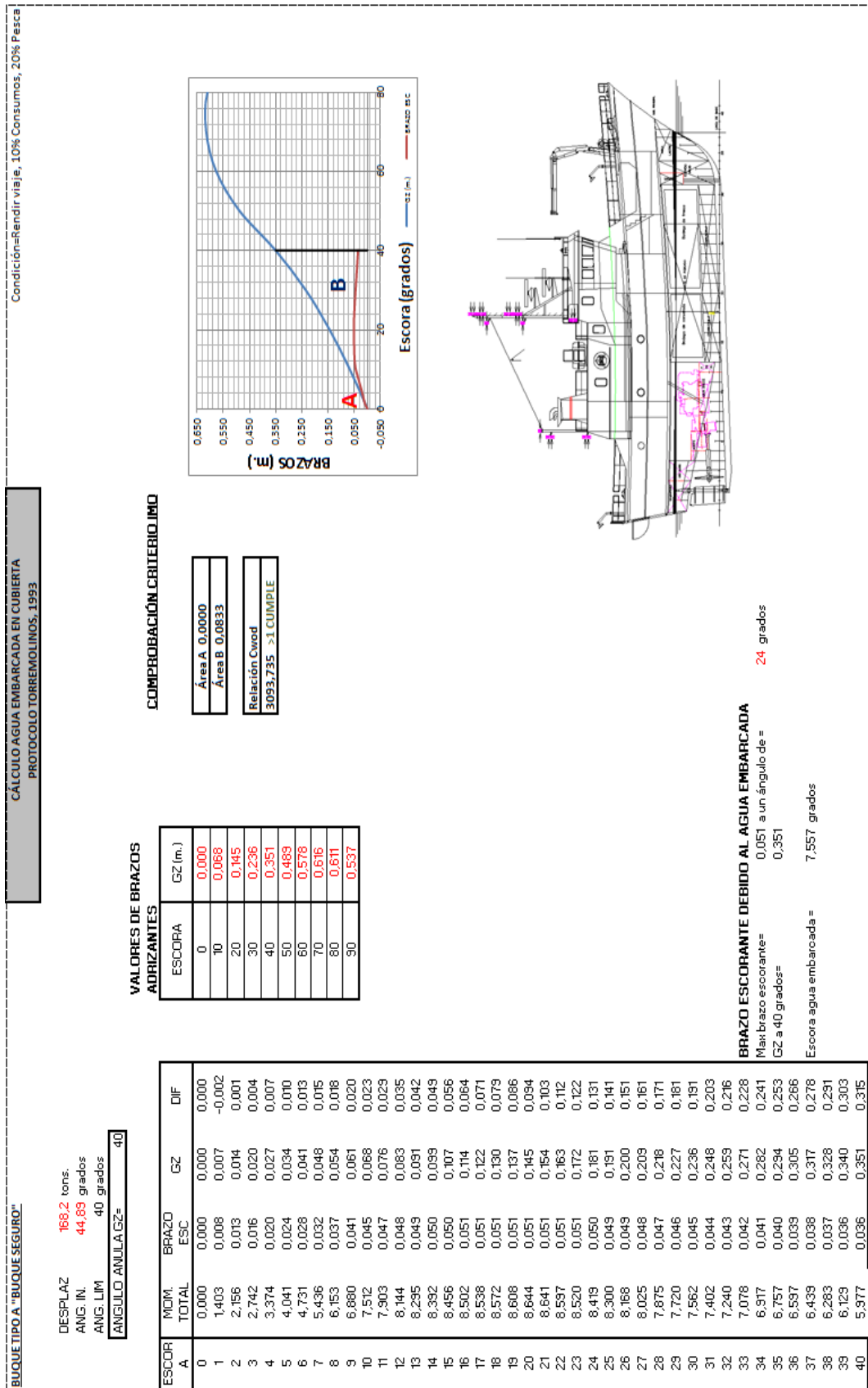


Figura 2.9. Valores para el agua embarcada.

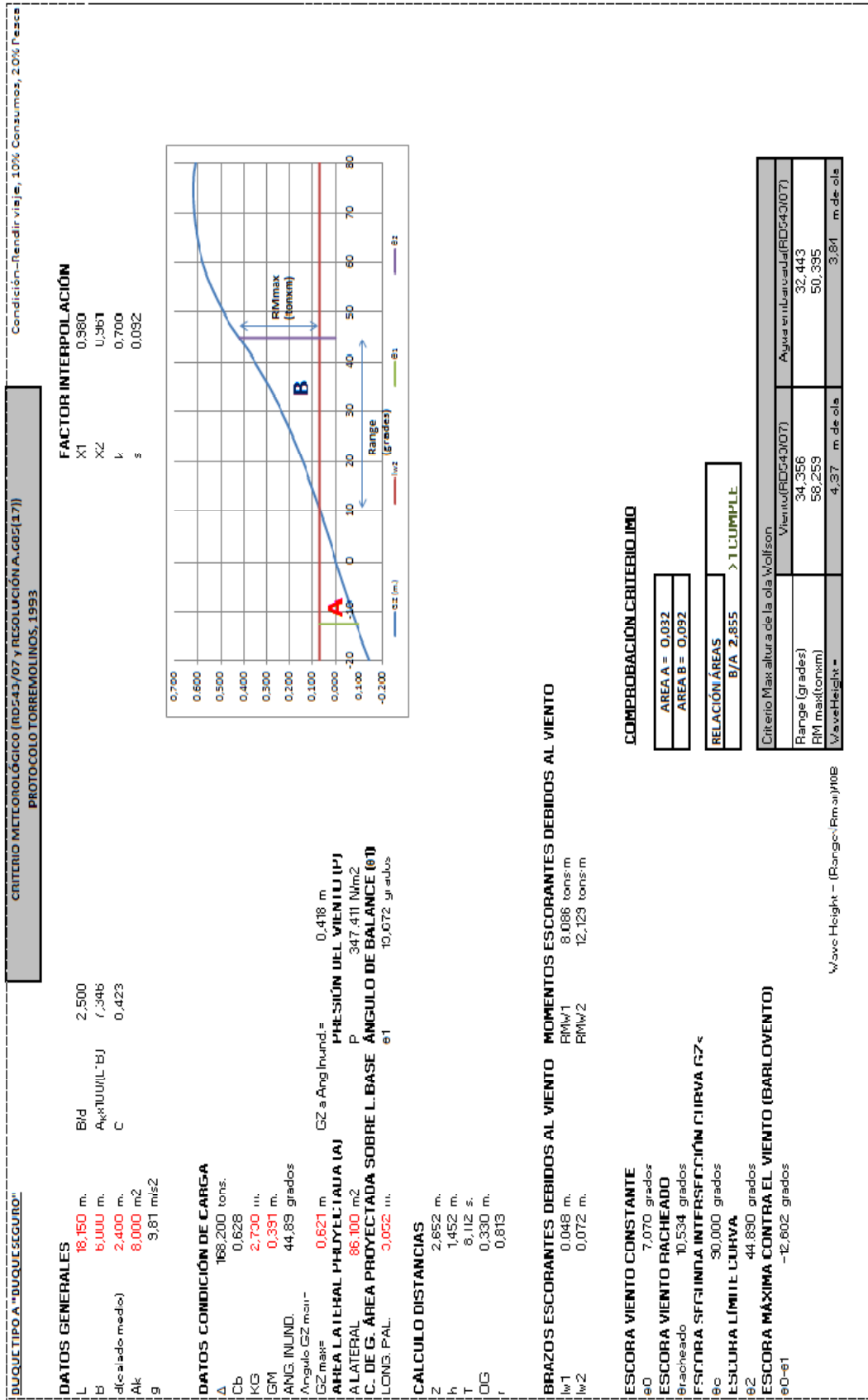


Figura 2.10. Valores del efecto del viento y aplicación del C_{WH}.

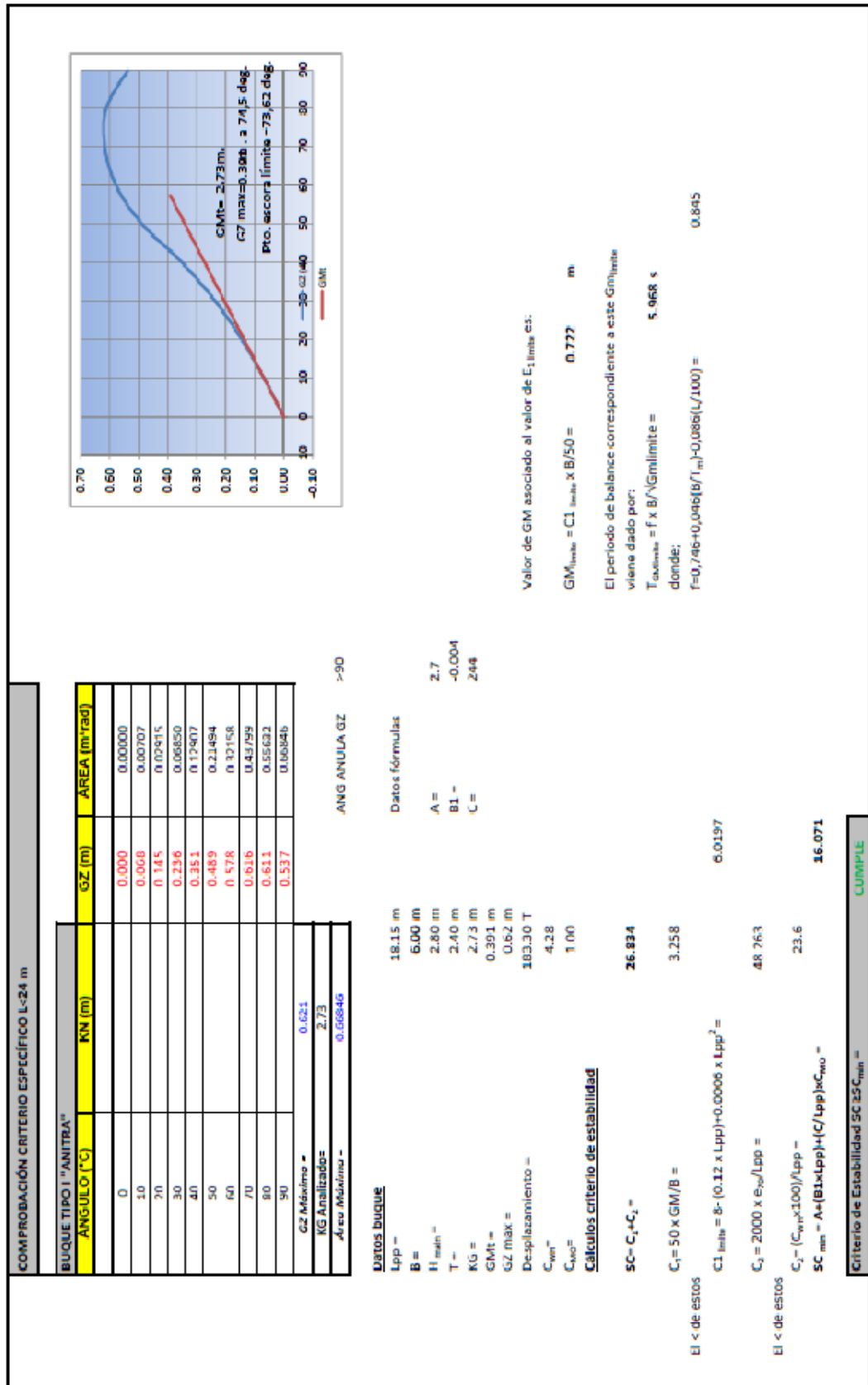


Figura 2.11. Formulación del Criterio de estabilidad y comprobación de su cumplimiento.

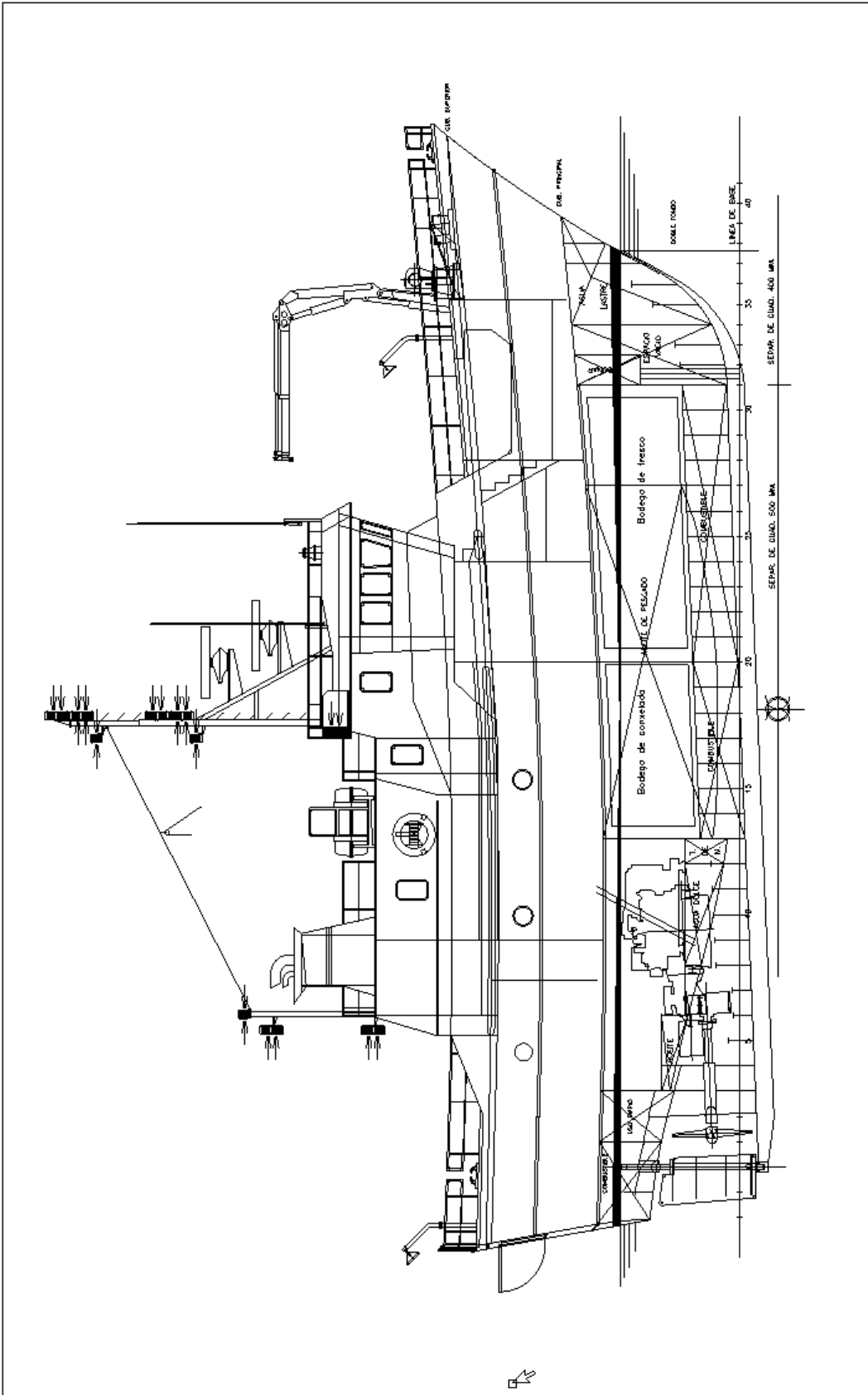


Figura 2.12. Perfil Buque tipo seguro.

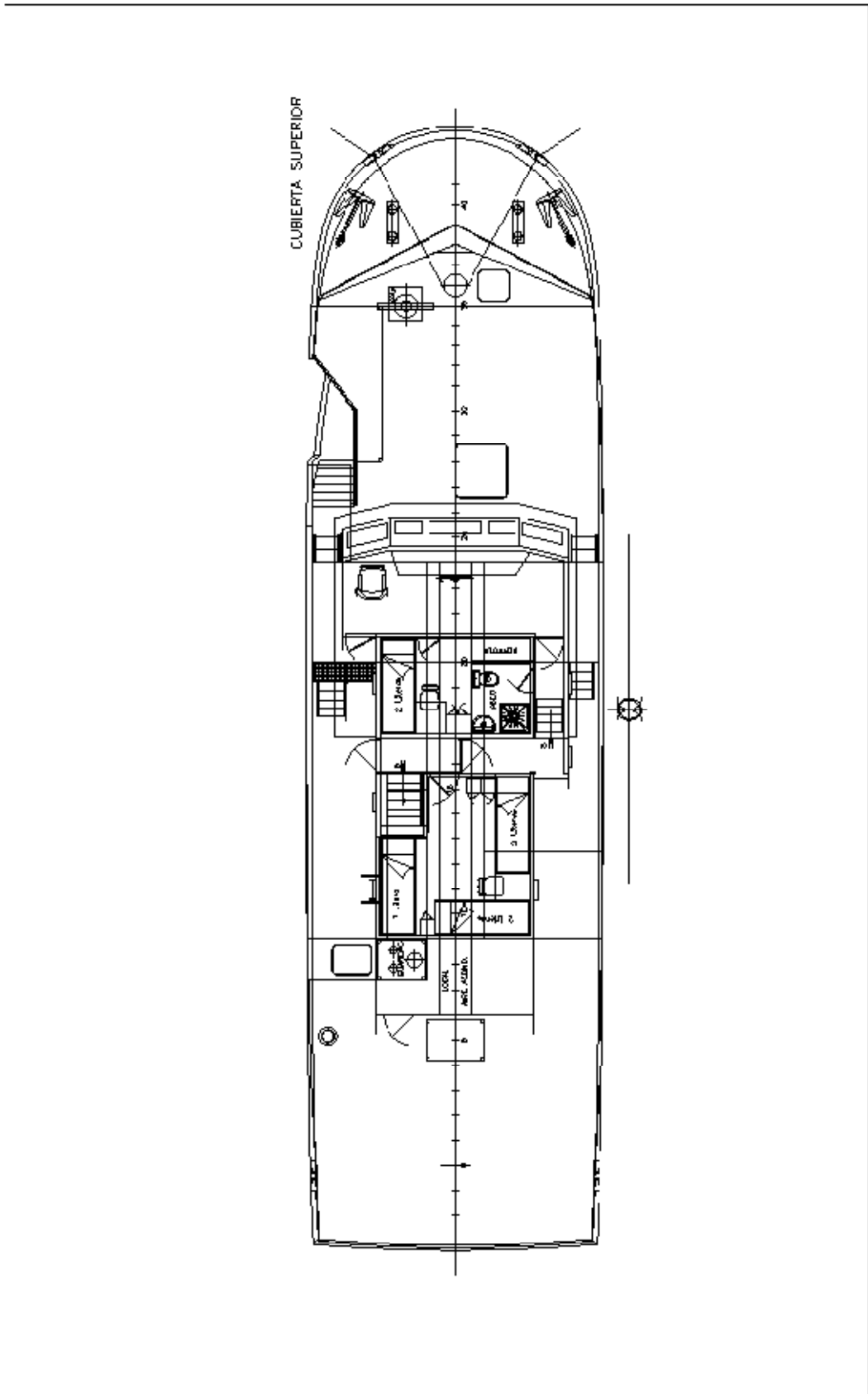


Figura 2.13. Cubierta Superior Buque tipo seguro.

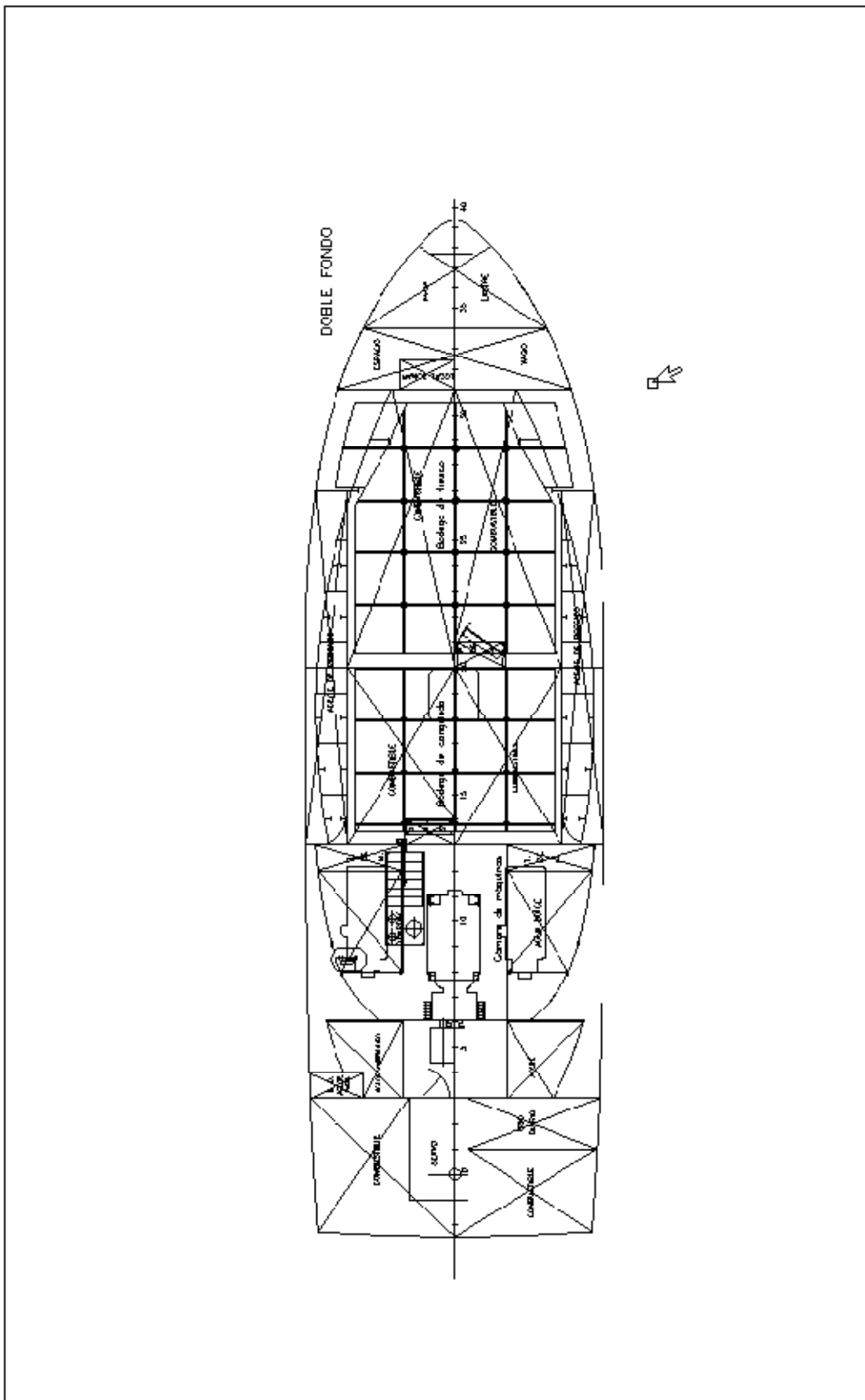


Figura 2.14. Cubierta Principal Buque tipo seguro.

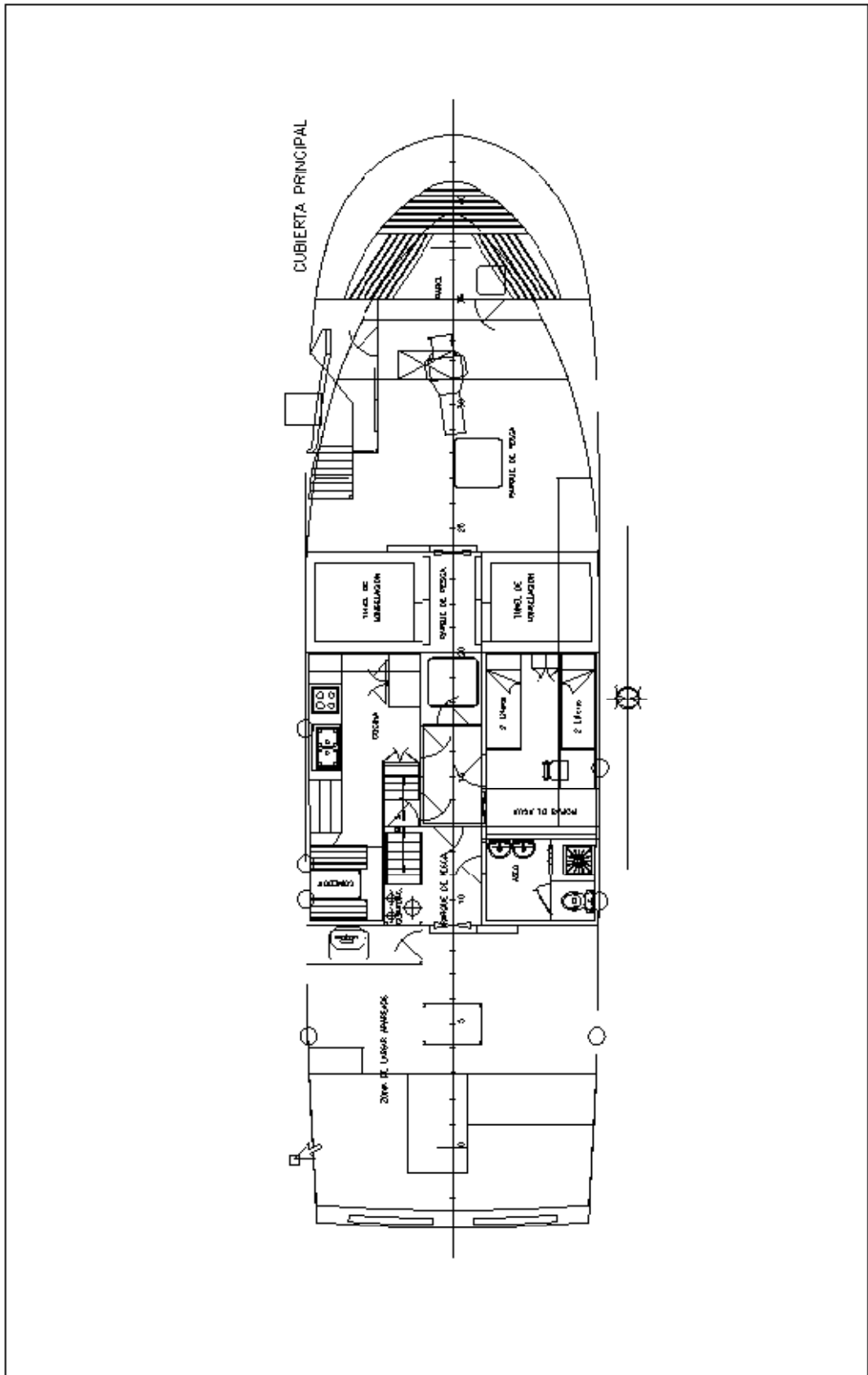


Figura 2.15. Doble Fondo Buque tipo seguro.

2.1.7. Formulación utilizada en la base de datos de buques

2.1.7.1. Formulación utilizada para un buque considerado seguro

A Continuación, a modo de ejemplo, se enumeran detalladamente las características principales y la forma de aplicación del criterio propuesto para uno de los buques considerados como “Buque seguro” incluido en la base de datos de buques analizados, tal y como se refleja en la Tabla 2.3.

Este buque no alcanza los valores establecido por el considerado “Buque tipo seguro” analizado anteriormente, pero sus valores de estabilidad intacta pueden considerarse representativos de la media de los buques que componen esta flota operativa.

Características principales del buque tipo seguro:

Eslora entre perpendiculares (L_{pp})	24,00 m
Manga (B)	8,00 m
Puntal Cta. Principal	3,25 m
Calado de proyecto	2,84 m
Condición de carga considerada: Rendir viaje 10% Consumo y 20% de pesca	
Desplazamiento condición considerada	354,93 T
KG	3,48 m
GM_t	0,727 m
GZ_{max}	0,54 m
Coeficiente de altura de ola (C_{WH})	3,99 m
Coeficiente Meteorológico y Oceanográfico (C_{MO})	1,00 m

Al igual que en el caso anterior, se han calculado los valores para el agua embarcada, tal y como se muestra en la Fig. 2.16. En él se puede observar como dicho efecto no supone menoscabo en su estabilidad, cumpliendo los parámetros mínimos sin mucho margen.

Así mismo, se ha comprobado el efecto del viento sobre su perfil de la forma establecida por la resolución A.685(17) el protocolo de Torremolinos 2012 y su transposición al ordenamiento jurídico español con el RD 543/2007. Tras dicha comprobación como se muestra en la Fig. 2.17 se puede observar que la relación de áreas es mayor que 1, cumpliendo por tanto los parámetros fijados por dicho criterio.

Una vez, establecido el cumplimiento de los criterios mencionados anteriormente, se tendrá en cuenta el valor más desfavorable de ellos a efectos de calcular el valor de la altura de ola crítica (C_{WH}), que posee la siguiente formulación.

$$C_{WH} = \frac{\text{Range} \cdot \sqrt{RM_{\max}}}{10 \cdot B} \quad [2.9]$$

Siendo;

Range = Rango positivo de estabilidad residual.

RM_{\max} = Máximo momento adrizante residual.

B = Manga de trazado de la embarcación.

En la Fig. 2.17 hemos representado la curva de brazos adrizantes (GZ) y en ella se puede observar la representación gráfica del Rango positivo de estabilidad residual (Range) expresado en grados y el máximo momento adrizante residual (RM_{\max}) expresado en Toneladas métricas.

A continuación, a los valores que anteriormente hemos obtenido le hemos aplicado la formulación completa del criterio de estabilidad intacta específico, desarrollado en este trabajo de tesis, ver Fig. 2.18, tal y como se ha detallado en el punto 2.1.3.2. Comprobando que el buque cumple con el criterio de estabilidad intacta específico.

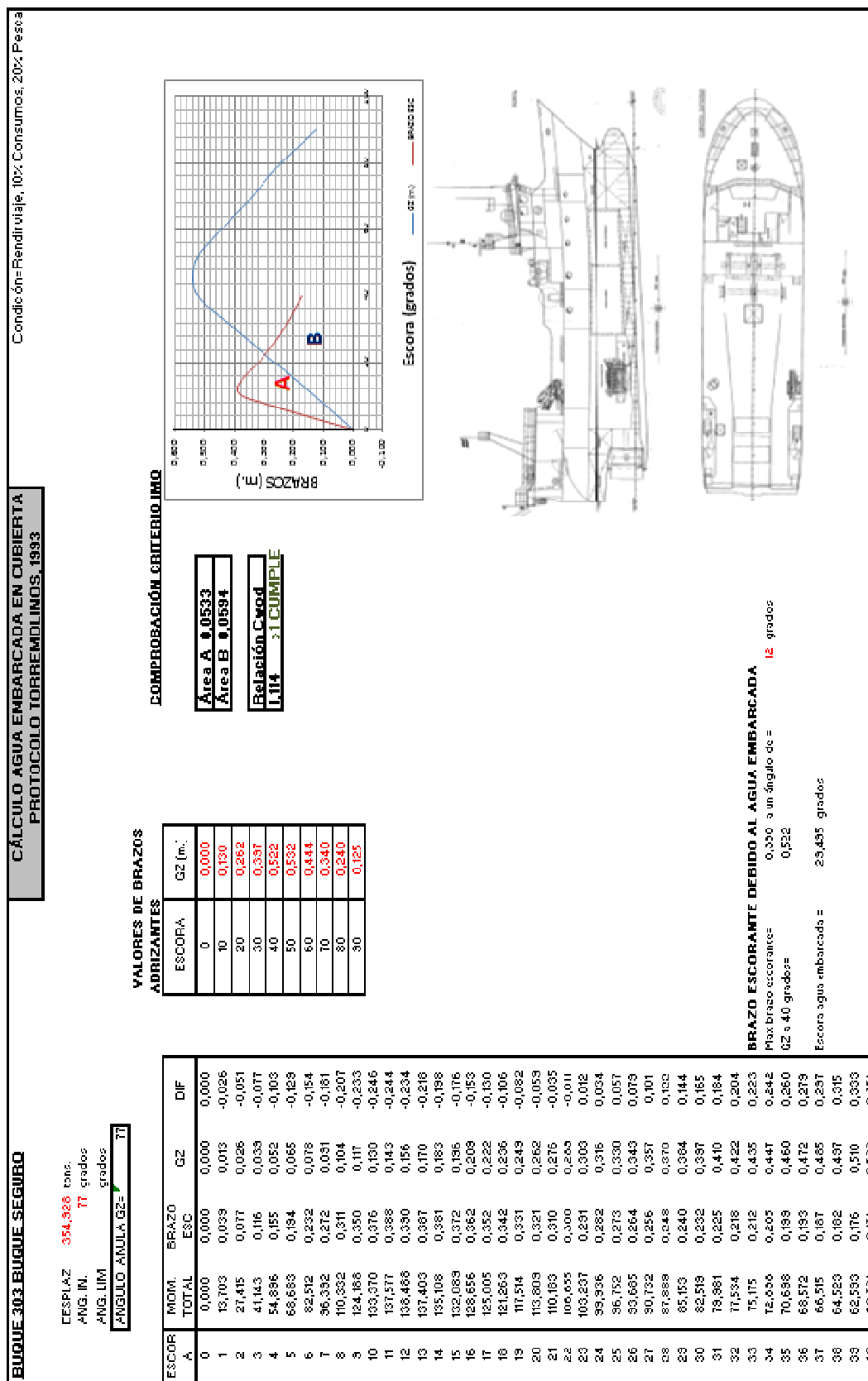


Figura 2.16. Valores para el agua embarcada.

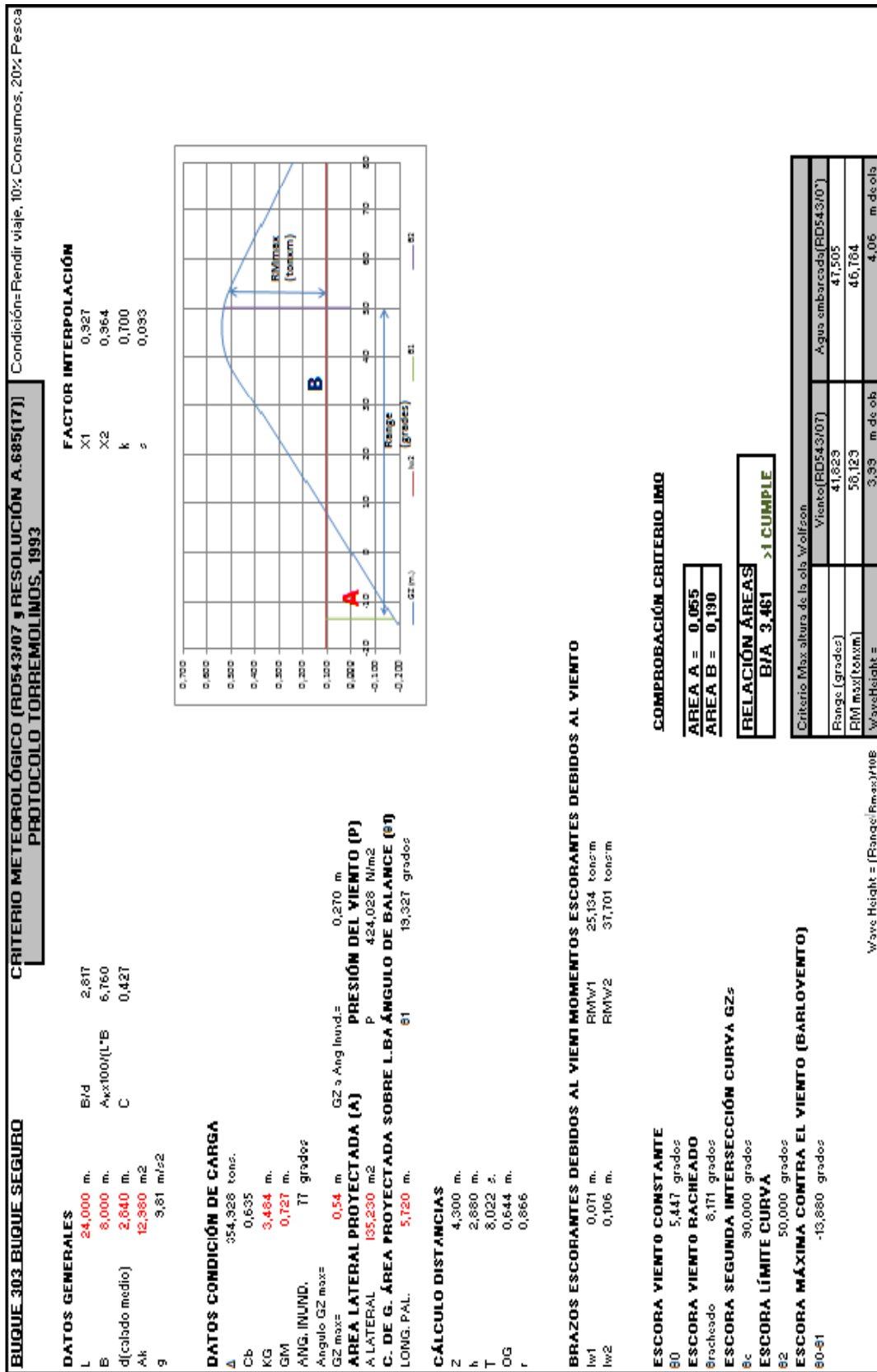


Figura 2.17. Valores del efecto del viento y aplicación del C_{WH}.

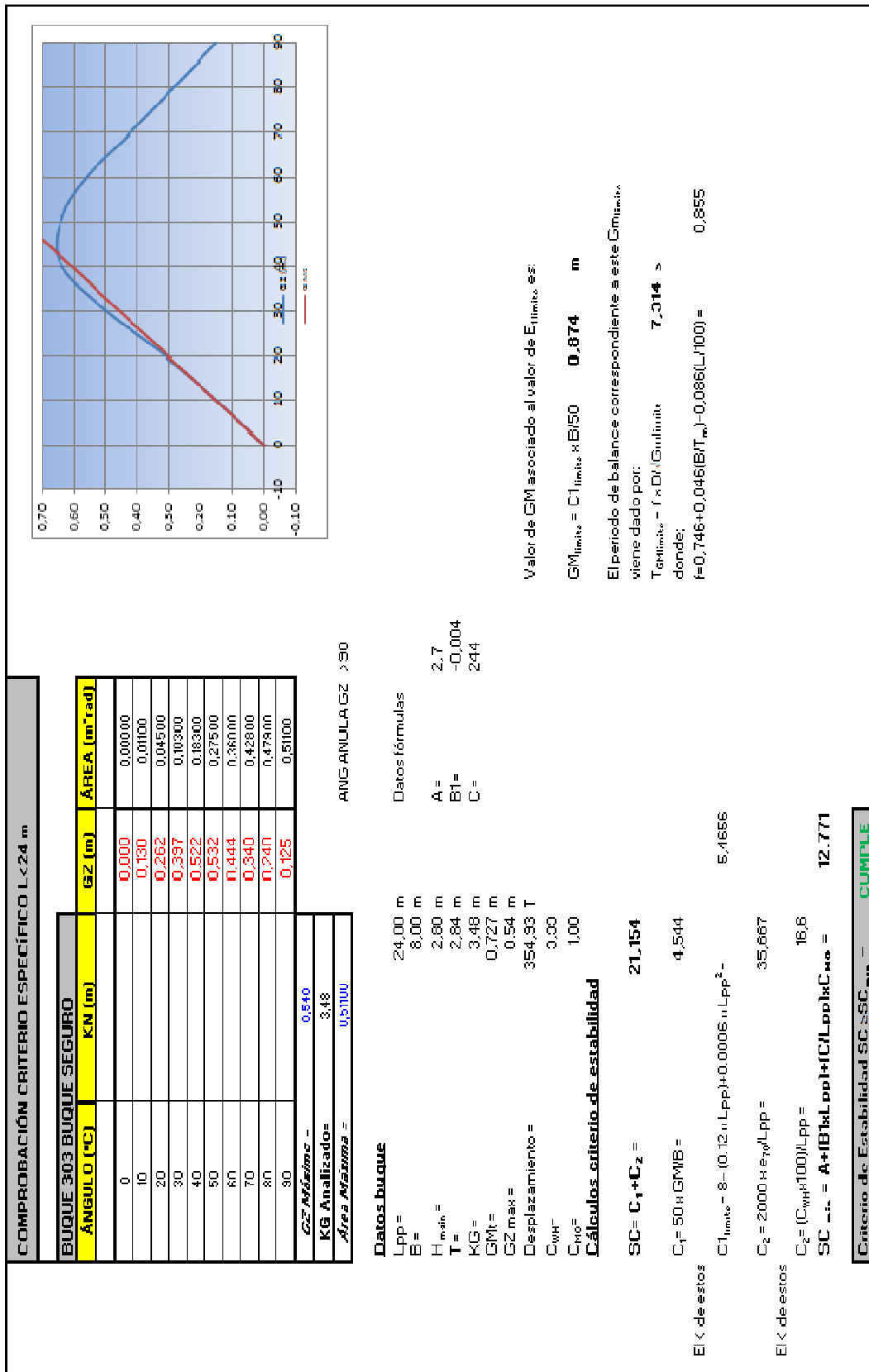


Figura 2.18. Formulación del Criterio de estabilidad y comprobación de su cumplimiento.

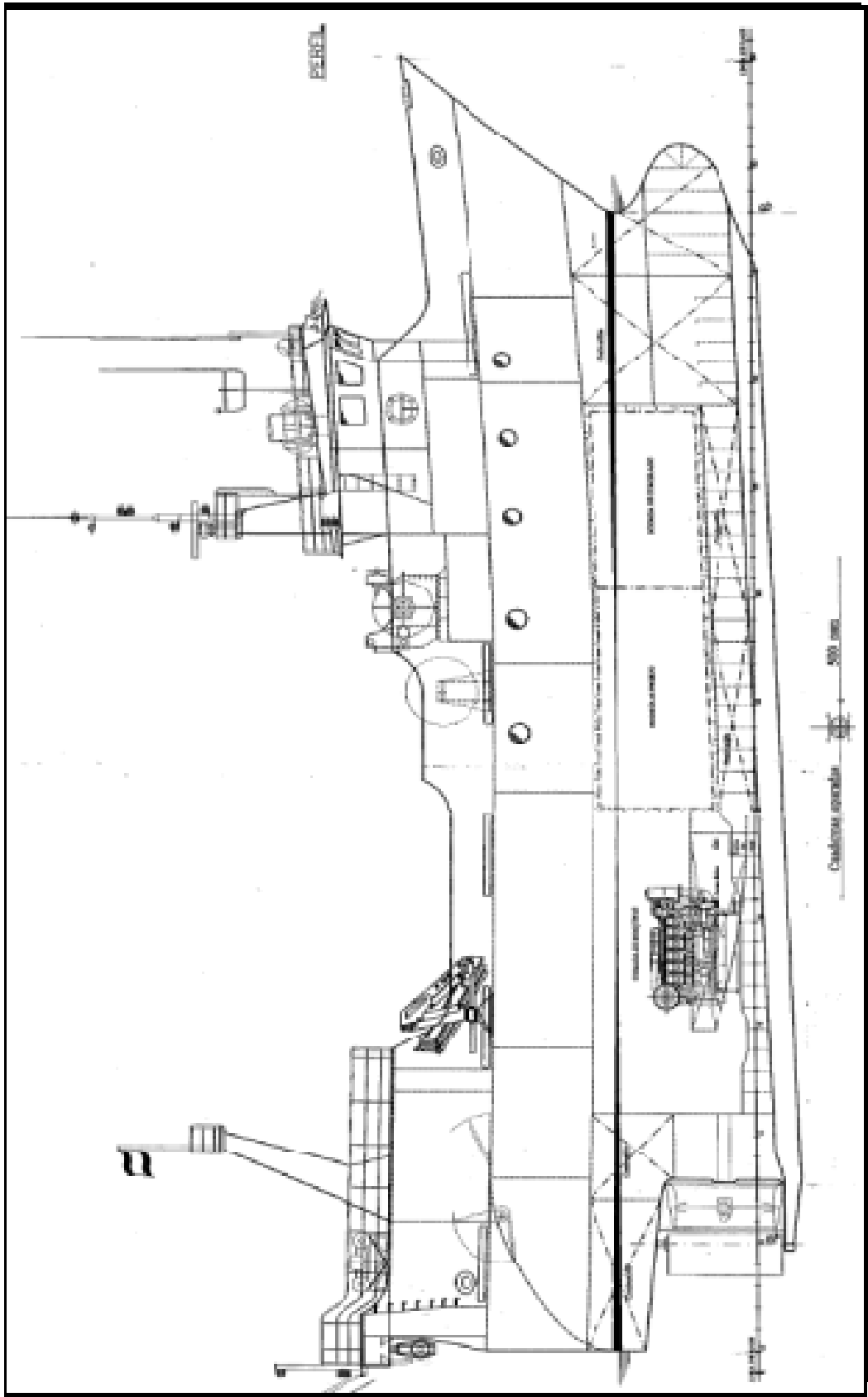


Figura 2.19. Perfil Buque tipo seguro.

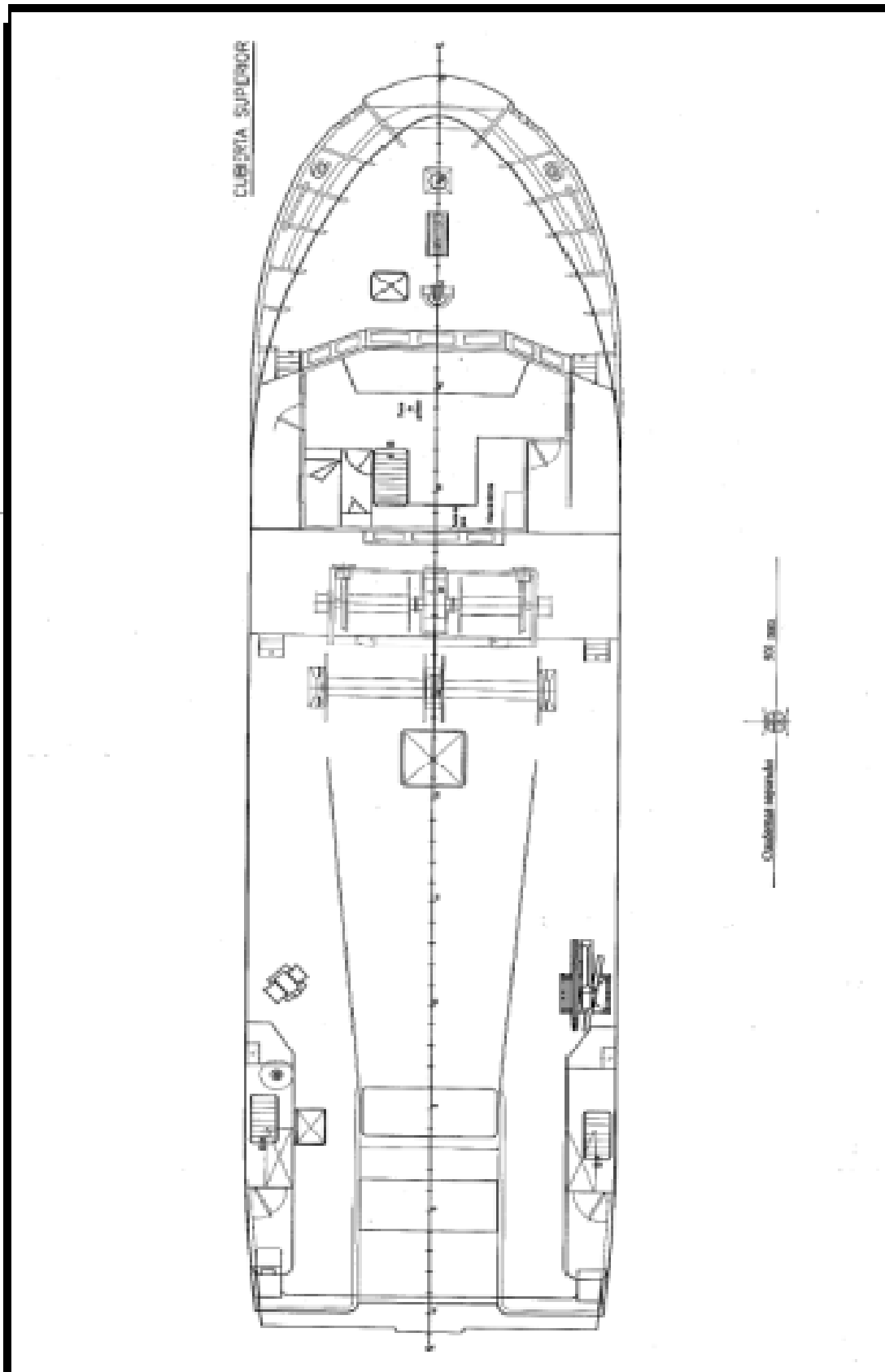


Figura 2.20. Cubierta Superior Buque tipo seguro.

2.1.7.2. Formulación utilizada para un buque siniestrado

Por último y también a modo de ejemplo, enumeraremos detalladamente las características principales y la forma de aplicación de la formulación del criterio para el buque considerado como “Buque siniestrado” incluido en la base de datos y el origen de los valores que se han tenido en cuenta en dicha formulación.

Podemos observar que, aunque cumplía todos los criterios establecidos en la actualidad en materia de estabilidad, agua embarcada y efecto del viento, los valores que arroja a la hora de aplicarle el nuevo criterio de estabilidad intacta presentan graves carencias tanto en estabilidad inicial como en estabilidad dinámica. De habersele aplicado este criterio el barco no hubiese sido autorizado a zarpar.

Varios barcos con configuraciones parecidas se hundieron en un breve espacio de tiempo en España y sobre ellos se han realizado diferentes estudios de estabilidad con objeto de establecer sus causas, en esta tesis además se ha establecido un criterio a partir del cual se puede establecer un mecanismo de detección de dichas carencias extrapolable a el resto de los buques de la flota de buques menores de 24 metros de eslora.

Características principales del buque tipo seguro:

Eslora entre perpendiculares (L_{pp})	13,50 m
Manga (B)	5,20 m
Puntal Cta. Principal	2,80 m
Calado de proyecto	1,62 m
Condición de carga considerada: Supuesta momento del siniestro.	
Desplazamiento condición considerada	74,28 T
KG	2,22 m
GM_t	0,59 m
GZ_{max}	0,19 m
Coeficiente de altura de ola (C_{WH})	1,01 m
Coeficiente Meteorológico y Oceanográfico (C_{MO})	1,00 m

En primer lugar, se han calculado los valores para el agua embarcada de la forma establecida por el RD 543/2007 que son los establecidos por el protocolo de Torremolinos 2012, ver Fig. 2.21. En él se puede observar como dicho efecto no supone menoscabo en su estabilidad, cumpliendo los parámetros mínimos con muy poco margen.

Así mismo, se ha comprobado el efecto del viento sobre su perfil de la forma establecida por la resolución A.685(17) el protocolo de Torremolinos 2012 y su transposición al ordenamiento jurídico español con el RD 543/2007. Tras dicha comprobación como se muestra en la Fig. 2.22 se puede observar que la relación de áreas es mayor que 1, cumpliendo por tanto los parámetros mínimos fijados por dicho criterio, pero con muy poco margen.

Una vez, establecido el cumplimiento de forma ajustada de los criterios mencionados anteriormente, se tendrá en cuenta el valor más desfavorable de ellos a efectos de calcular el valor de la Critical Wave Height (C_{WH}), que posee la siguiente formulación.

$$C_{WH} = \frac{\text{Range} \cdot \sqrt{RM_{\max}}}{10 \cdot B} \quad [2.9]$$

Siendo;

Range = Rango positivo de estabilidad residual.

RM_{\max} = Máximo momento adrizante residual.

B = Manga de trazado de la embarcación.

En la Fig. 2.23 hemos representado la curva de brazos adrizantes (GZ) y en ella se puede observar la representación gráfica del Rango positivo de estabilidad residual (Range) expresado en grados y el máximo momento adrizante residual (RM_{\max}) expresado en Toneladas métricas.

A continuación, a los valores que anteriormente hemos obtenido le hemos aplicado la formulación completa del criterio de estabilidad intacta específico, desarrollado en este trabajo de tesis, ver Fig. 2.24, tal y como se ha detallado en el punto 2.1.3.2. Comprobando que el buque no cumple con el criterio de estabilidad intacta específico.

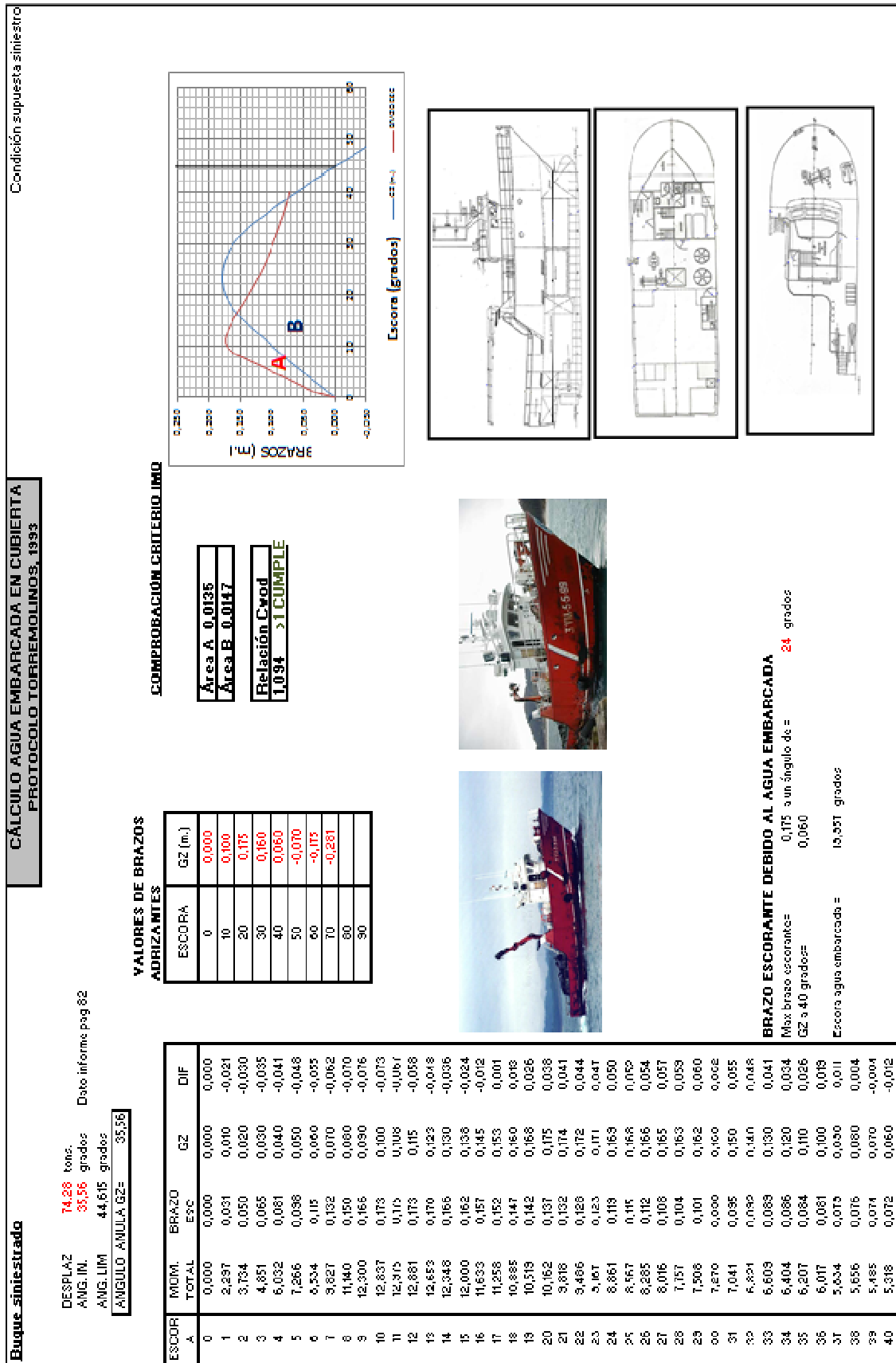


Figura 2.21. Valores para el agua embarcada.

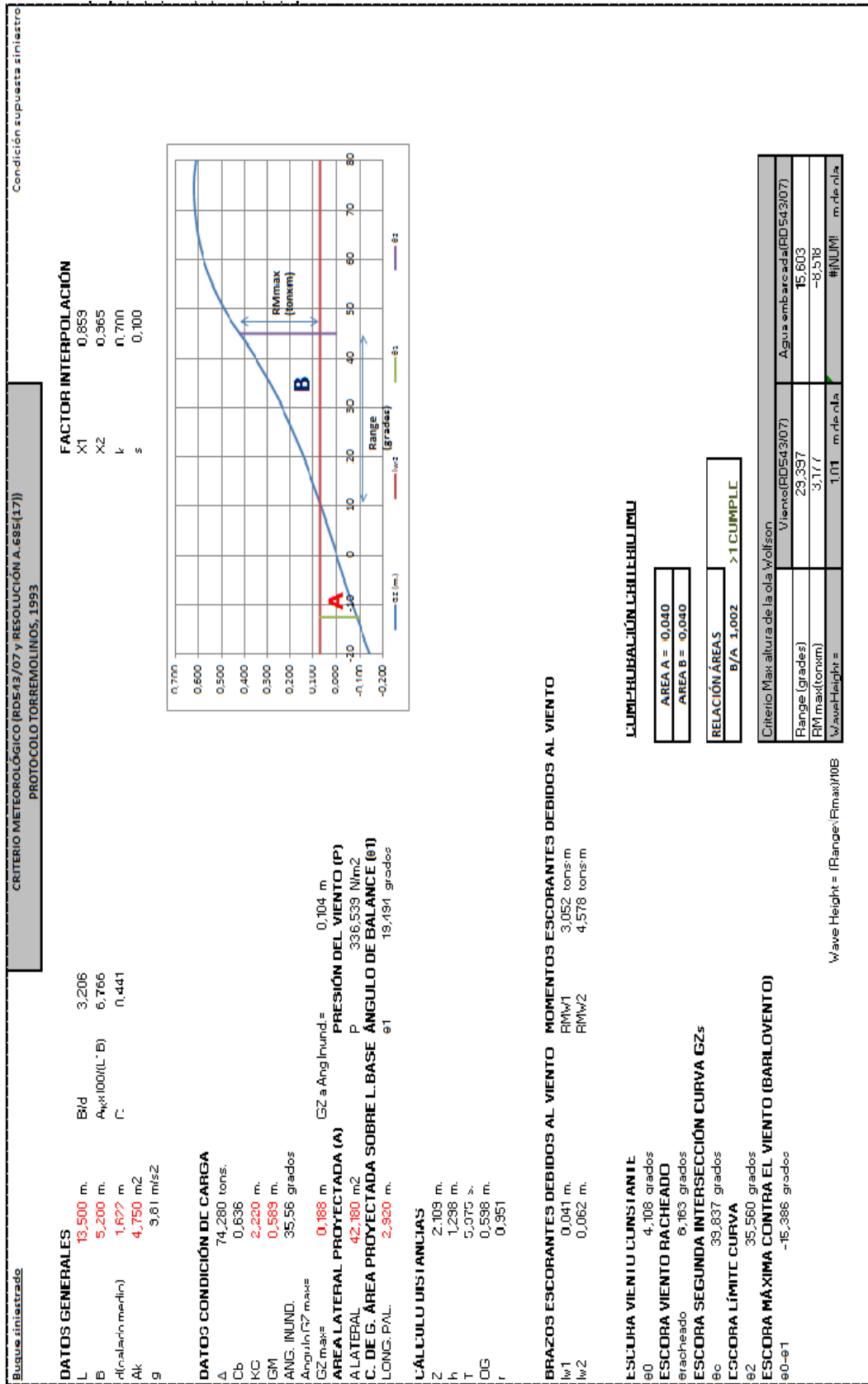


Figura 2.22. Valores del efecto del viento y aplicación del C_{WH}

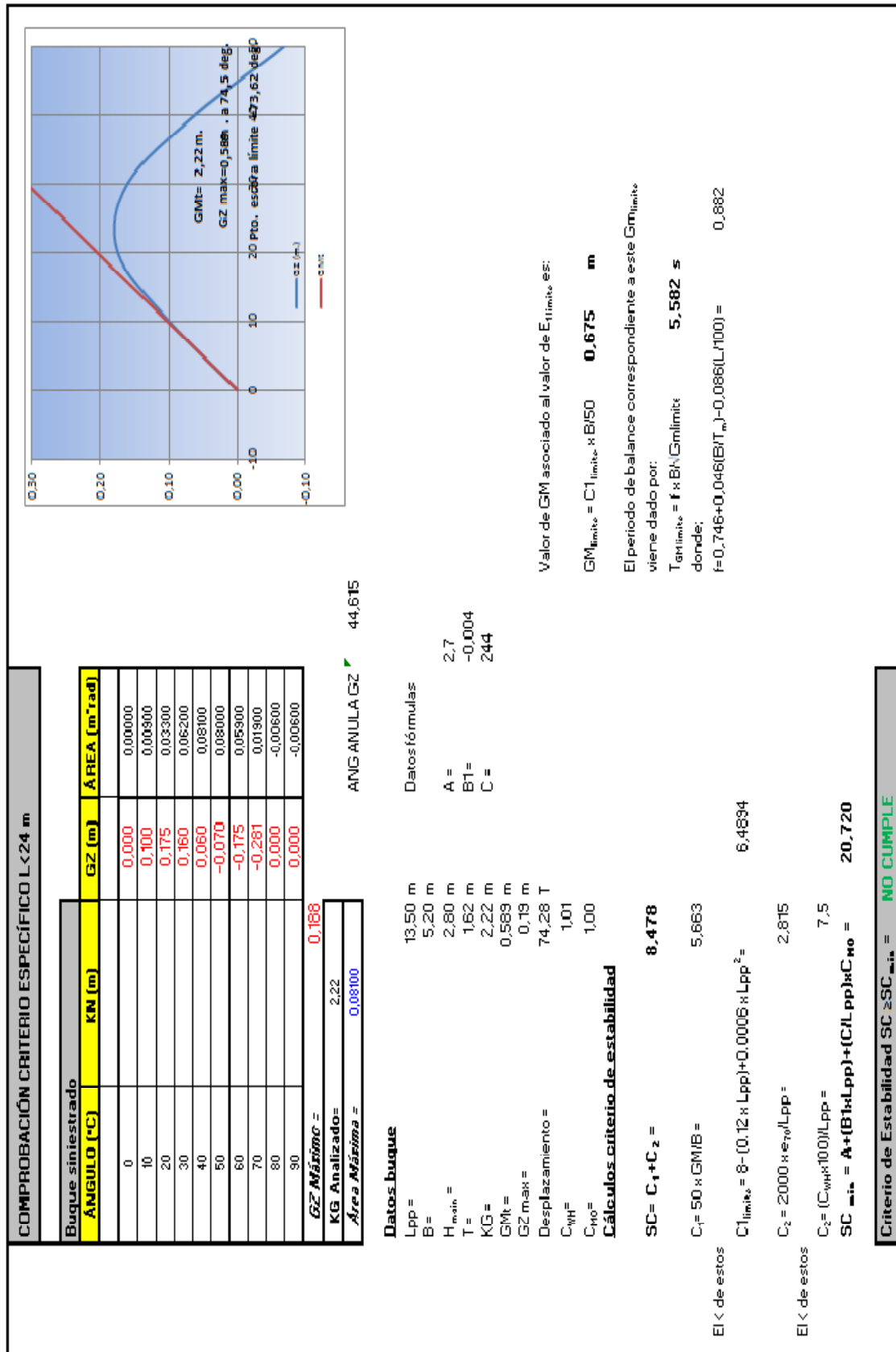


Figura 2.23. Formulación del Criterio de estabilidad y comprobación de su cumplimiento.

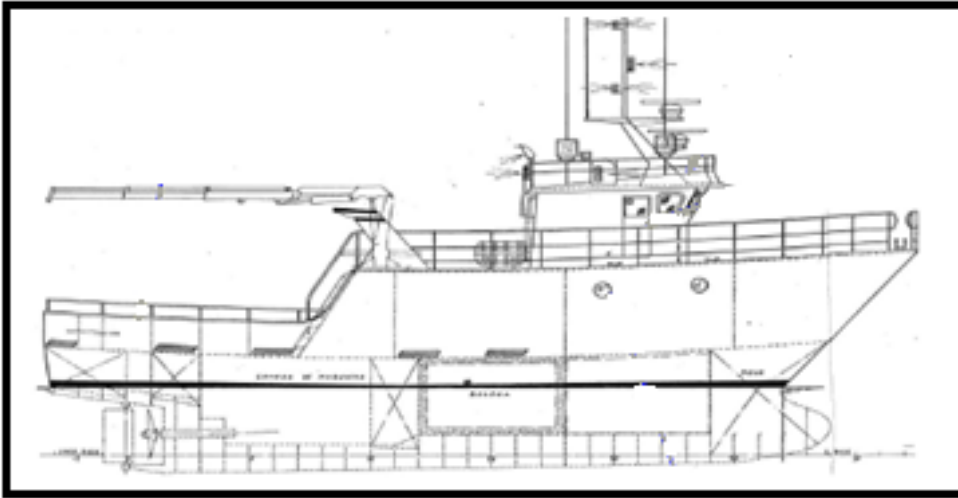


Figura 2.24. Perfil Buque tipo siniestrado.

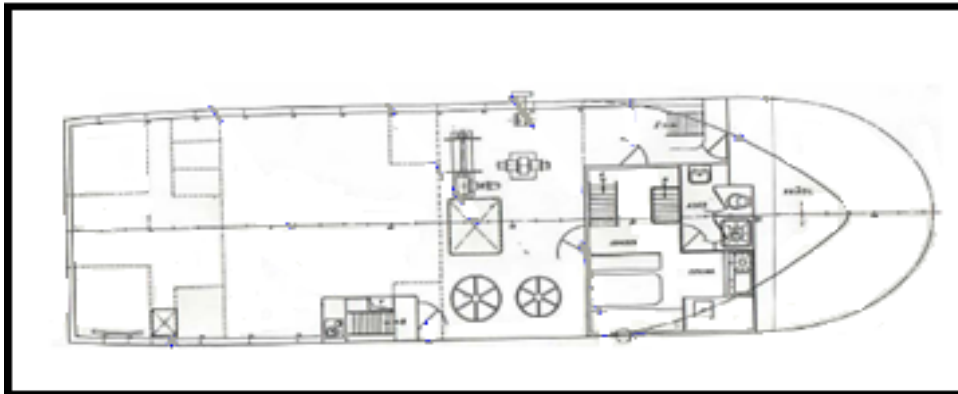


Figura 2.25. Cubierta Principal Buque tipo siniestrado.

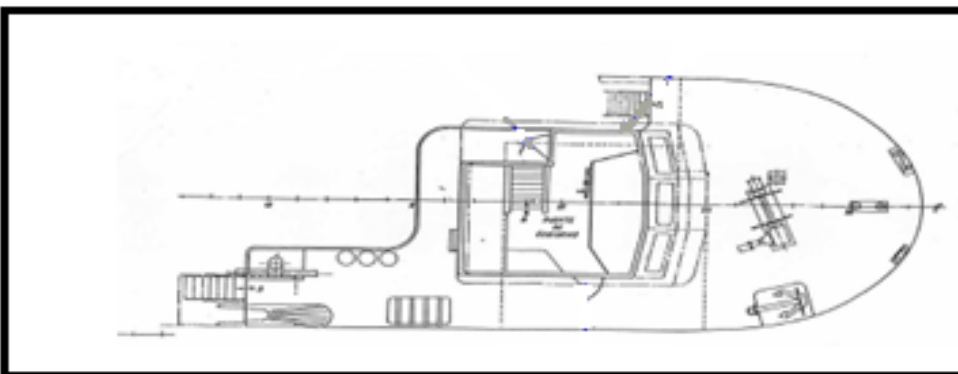


Figura 2.26. Cubierta Superior Buque tipo siniestrado.

2.2. Factor humano

2.2.1. Bases de datos

En cuanto a las bases de datos utilizadas para el estudio del Factor Humano, se han tomado como referencia las secciones del sistema de Declaración Electrónica de Accidentes de Trabajo y procesamiento de documentos (DELTA) proporcionados por el Instituto Gallego de Seguridad y Salud ocupacional (ISSGA, 2017).

2.2.2. STCW78/95 manila 2010. Metodología de investigación IMO

Además de la información procedente de las bases de datos, se ha tomado como referencia la metodología IMO. En este sentido, el Convenio SCTW78/95 y su Código de Formación asociado estipulan con todo detalle las habilidades requeridas para el desarrollo de ciertas tareas, el nivel de conocimientos y entendimiento que se requiere para realizarlas, los métodos para demostrar la competencia y los criterios para evaluarla.

A continuación, se enumeran de forma sinóptica las enmiendas adoptadas en la revisión realizada en Manila 2010.

PARTE A

Capítulo I. Disposiciones Generales:

- Incremento de las medidas de seguridad en lo relacionado con los certificados de competencia, creando un registro electrónico al que podrán acceder las partes de forma controlada y segura para verificar los datos de identificación, cualificación y pormenores médicos, funciones para las que está autorizado, así como limitaciones, si las existiera.
- Los procesos de formación y evaluación se realizarán por personal cualificado. Se elaborarán informes recogiendo las medidas adoptadas por cada una de las Partes para dar plena y total efectividad al Convenio.
- Normas relacionadas con los criterios de aptitud médica para la gente de mar.

Capítulo II. El capitán y la sección de Puente.

- Requisitos para la titulación de capitanes, oficiales y marineros, navegación celestial, ayudas de punteo radar automáticas y requisitos del radar.
- Formación para la toma de conciencia del medio ambiente marino. Liderazgo y trabajo en equipo.
- Formación relacionada con servicios de tráfico de buques.

Capítulo III. Sección de Máquinas.

- Requisitos para viajes próximos a la costa.
- Requerimientos de Formación para Oficiales Electrotécnicos.
- Formación para la toma de conciencia del medio ambiente marino. Liderazgo y trabajo en equipo.
- Actualización de competencias para maquinistas.
- Requisitos para la titulación de marineros de máquinas.

Capítulo IV. Servicio y Personal de Telecomunicaciones.

Pasa a denominarse Servicio de Operadores de Radiocomunicaciones y se actualiza para reflejar las reglas actuales, incluso referencia al Manual Internacional Aeronáutico y de Búsqueda y Salvamento marítimo (IAMSAR)

Capítulo V. Requisitos especiales de Formación para el personal de determinados tipos de buques.

- Normas de Competencia para Personal a bordo de los diferentes tipos de buque tanques, incluidos los buques tanque de gas licuado.
- Reglamentación para el personal de buques de pasaje de trasbordo rodado y buques combinados para abarcar todos los "buques de pasaje"

Capítulo VI. Funciones de emergencia, seguridad en el trabajo, atención médica y supervivencia.

- Nuevos requisitos para mantener la competencia profesional en áreas donde la formación no puede efectuarse a bordo.
- Nuevos requisitos para la formación en seguridad así como también disposiciones para asegurar que la gente de mar esté adecuadamente capacitada para enfrentar si su buque es objeto de piratas.

Capítulo VII. Titulación alternativa.

- Se reflejan las modificaciones de otros capítulos, incluso el agregado de requisitos para la titulación de marineros y especificaciones para los servicios de alta mar aprobados.
- Formación requerida para la titulación de aspirantes a nivel de apoyo en diversas funciones.

Capítulo VIII. Guardia de Navegación.

- Armonización de las Horas de Descanso con los Requerimientos del Convenio de Trabajo Marítimo de la OIT 2006 para reducir la fatiga y asegurar la aptitud para la guardia
- Requisitos actualizados y ampliados sobre horas de trabajo y descanso.
- Nuevos requisitos para la prevención del abuso de drogas y alcohol.

PARTE B

“Orientaciones con carácter de recomendación sobre las disposiciones del Convenio de Formación y su anexo”. Esta parte del Código de Formación comprende orientaciones con carácter de recomendación destinadas a ayudar a las Partes en el Convenio de Formación y a los encargados de implantar, aplicar o asegurar el cumplimiento. Entre otras encontramos las siguientes:

- Formación específica en Cartas Electrónicas y en simuladores.
- La prevención de drogas y abuso de alcohol a bordo de los buques.
- Implementación de la metodología de formación a través de la red. (Online).

Las enmiendas de Manila 2010 han entrado en vigor el 1 de Enero de 2012 en el marco del procedimiento de aceptación tácita. Mediante este marco, las nuevas reglas, reglamentos y directrices entrarán en vigor tras un periodo de tiempo acordado siempre y cuando un cierto número de Estados miembros no hubiesen presentado objeciones a las mismas.

Se ha llevado a cabo la adaptación del método sistemático y gradual OIT/IMO de investigación del factor humano en todas sus etapas con las enmiendas introducidas en el STCW 78 de Manila 2010 (Alvite&Campa, 2011). En este sentido, es interesante destacar que STCW-F 95 (International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping para el personal de buques pesqueros) ha entrado en vigor el 29 Septiembre de 2012.

Por otra parte, el método OIT/IMO para investigar el factor humano, de acuerdo con las Resoluciones A.884(21) y Resolución A.849(20) (IMO, 1997), es un método sistemático y gradual y una integración y adaptación de varios marcos de referencia del factor humano (SHEL (Hawkins, 1987), GEMS - Accident Causation and generic error modelling system frameworks (Reason, 1990), y Taxonomy of Error (Rasmussen, 1987)).

Este método puede aplicarse a ambos tipos de acaecimientos, es decir, a accidentes y sucesos, y consta de las siguientes etapas destinadas a:

1. reunir los datos sobre el acaecimiento;
2. establecer el desarrollo secuencial del acaecimiento;

3. determinar los actos (decisiones) y condiciones peligrosas;
4. y para cada acto (decisión) peligroso:
5. determinar el tipo de error o transgresión;
6. determinar los factores subyacentes; y
7. determinar los problemas de seguridad potenciales y elaborar las medidas correspondientes.

Las etapas 3 a 5 sirven para determinar las condiciones latentes peligrosas. La etapa 6 está destinada a determinar los problemas potenciales de seguridad y se basa en gran medida en lo que se define como factores subyacentes. A veces, una condición peligrosa es resultado de un acaecimiento natural.

En ese caso, el investigador pasará directamente de la etapa 3 a la 6. En otras ocasiones, un acto o una decisión peligrosa es resultado de una condición peligrosa originada a su vez por una decisión falible. En este último caso, el investigador seguirá todas las etapas de la 3 a la 6.

2.2.3. Descripción del proceso de adaptación

El objetivo será optimizar el método sistemático y gradual OIT/IMO de investigación del factor humano y los modelos de identificación y secuenciación de los hechos que utiliza a través de una serie sistemática de acciones y disposiciones basadas, principalmente, en las enmiendas introducidas en el STCW 78 de Manila 2010.

Se ha elegido este método por englobar los modelos aceptados internacionalmente por las más prestigiosas Comisiones de Investigación de los Siniestros Marítimos, como el MAIB inglés, el CostGuard Norteamericano y la Agencia Europea EMSA.

Los modelos resultantes, una vez realizada dicha optimización, estarán actualizados según la normativa vigente y se podrán incorporar a la metodología de investigación de la siniestralidad marítima obteniéndose tanto una mejora sustancial de dichos modelos como la posibilidad de extrapolarlos a otros utilizados en el futuro.

En primer lugar, se parte de la base de que todo siniestro o accidente está provocado por un conjunto de circunstancias y acciones sobre la base de

esta multicausalidad y se realizará su clasificación atendiendo al factor preponderante que lo ha provocado según el Instituto de Investigación y Formación en Seguridad y Factores Humanos (ESM):

- Factor Técnico (20%)
- Factor Humano (80%)
 - F. personales (70%)
 - F. del Individuo (20%)
 - F. Organización y ergonómicos (80%)
 - F. Sociales o del entorno (30%)

Se entiende por Factor Técnico el que comprende el conjunto de circunstancias o condiciones materiales que pueden ser origen de accidentes. El Factor Humano aglutina todos aquellos factores, circunstancias y condiciones que pueden influenciar, positiva o negativamente, en el comportamiento y la fiabilidad del marino. Se trata de cuestiones relacionadas con las características individuales, con la ergonomía y con la organización, dentro de las cuales se desarrolla el transporte marítimo.

El Factor Humano lo componen dos Factores; Factores del Individuo y el Factores de Organización. Dentro de estos de los Factores del Individuo tendremos la edad, el estado físico y psicológico, la experiencia profesional, la aptitud frente a riesgos y para trabajar en equipo y, sobretudo, el estrés y la fatiga.

Los Factores de Organización y Ergonómicos entre los que se pueden enumerar la ergonomía del equipo y de los instrumentos, los horarios, las pausas y descansos, las responsabilidades, monotonía y carga cognitiva y los planes de prevención, organización y asignación de tareas, así como la gestión del mantenimiento.

El otro componente del Factor Humano es el Factor Social o del entorno siendo, por ejemplo, la Influencia de la temperatura, el ruido, la visibilidad, las vibraciones a bordo, las condiciones atmosféricas y el estado de la mar.

Una clasificación de los accidentes según las causas que los han provocado podría ser:

- Causas básicas:
 - Factores personales: Inadecuada formación y capacitación, defectos físicos o psíquicos, la fatiga y el estrés.
 - Factores del trabajo: Normativa y mantenimiento deficiente.
- Causas inmediatas:
 - Actos inseguros: Realizar tareas sin titulación, cualificación, y sin las medidas de protección adecuadas.
 - Condiciones inseguras: La carencia de medios de protección, los ruidos y vibraciones.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

A continuación, se enumeran los resultados obtenidos con la metodología definida anteriormente en relación al factor técnico y al factor humano.

3.1. Factor técnico

En relación al factor técnico y en primer lugar, documentaremos el porcentaje de error del criterio actualmente en vigor justificando estadísticamente la necesidad de implantar un nuevo criterio de estabilidad intacta. A continuación, se documentará gráficamente el resultado de la aplicación del criterio desglosado en sus principales factores adimensionales y del resultado final de la aplicación del mismo a nuestra base de datos.

3.1.1. Justificación estadística de la necesidad. Tablas y gráficas

Como se ha comentado anteriormente, el criterio IMO-Rahola vigente en la actualidad no tiene en cuenta las dimensiones del buque y las acciones escorantes que sufre durante su navegación y explotación.

Una vez obtenidos los resultados de aplicar este criterio de estabilidad intacta a la base de datos definida en 2.1.1, formada por buques reales que habían cumplido todos los mínimos exigidos por el criterio IMO-Rahola, se ha podido observar que el error es del 20%, pues 6 barcos que lo cumplían se han hundido por problemas de estabilidad.

3.1.2. Aplicación del criterio

A continuación, se han realizado la representación gráfica de las principales variables que conforman la formulación del criterio propuesto de estabilidad intacta, una vez aplicado a la base de datos mencionada anteriormente. En particular, esta representación se desglosa de forma detallada para cada uno de los coeficientes adimensionales del criterio propuesto, permitiendo analizar el grado de influencia de cada una de estas variables, aislando los buques que se salen de forma significativa del rango de cumplimiento establecido.

En primer lugar, se representan los valores de C_{1-1} en la Fig. 3.1, obtenido a partir de la ecuación 2.2 y representados en la Tabla 3.1.

$$C_{1-1} = 50 \cdot GM/B \quad [2.2]$$

En la Fig. 3.2 se representan los valores de $C_{1 \text{ límite}}$ obtenidos a partir de la ecuación 2.3 y reflejados en la Tabla 3.2. En dicha figura se puede observar los valores del coeficiente de estabilidad inicial C_1 que, tal y como se ha indicado anteriormente, corresponderán al valor mínimo de los coeficientes adimensionales anteriormente mencionados C_{1-1} y $C_{1 \text{ límite}}$.

Por otra parte, el detalle de los valores de la Fig. 3.3 se puede observar en la Tabla 3.3.

Buque	C. Carga	GM	L_{pp}	B	C_{1-1}
A	4	0,391	18,15	6,00	3,258
1	5	0,475	16,20	5,30	4,481
2	5	0,589	13,50	5,20	5,663
3	5	0,449	14,06	5,00	4,490
4	5	0,908	9,00	2,52	18,016
5	5	0,786	18,40	5,88	6,689
6	5	0,375	24,00	6,50	2,885
191	4	1,133	16,44	5,88	9,634
244	4	0,775	19,70	6,00	6,458
247	4	1,45	16,00	5,75	12,609
250	2	0,845	15,50	5,00	8,450
271	2	0,882	19,50	6,20	7,113
303	4	0,727	24,00	8,00	4,544
318A	4	0,679	16,00	5,50	6,173
318B	4	0,512	22,40	7,00	3,657
403	4	0,593	18,60	5,90	5,025
404	3	1,688	15,40	5,75	14,678
408	3	0,419	18,00	6,20	3,379
413A	4	0,419	23,00	6,50	3,223
413B	4	0,416	21,40	6,50	3,200
414	4	0,531	23,88	7,50	3,540
416	4	0,425	22,50	6,70	3,172
421	2	0,86	16,86	5,84	7,363
DX	4	0,418	12,40	5,00	4,180
CCN	2	1,526	18,00	6,30	12,111
1C	2	1,243	16,35	5,70	10,904
3C	2	0,919	18,75	6,45	7,124
6C	2	1,22	16,20	5,10	11,961
8C	3	0,642	16,22	5,20	6,173

Tabla 3.1. Tabla representativa de C_{1-1} para la base de datos de buques.

Buque	C. Carga	GM	L_{pp}	B	C_1 límite
A	4	0,391	18,15	6,00	6,020
1	5	0,475	16,20	5,30	6,213
2	5	0,589	13,50	5,20	6,489
3	5	0,449	14,06	5,00	6,431
4	5	0,908	9,00	2,52	6,969
5	5	0,786	18,40	5,88	5,995
6	5	0,375	24,00	6,50	5,466
191	4	1,133	16,44	5,88	6,189
244	4	0,775	19,70	6,00	5,869
247	4	1,45	16,00	5,75	6,234
250	2	0,845	15,50	5,00	6,284
271	2	0,882	19,50	6,20	5,888
303	4	0,727	24,00	8,00	5,466
318A	4	0,679	16,00	5,50	6,234
318B	4	0,512	22,40	7,00	5,613
403	4	0,593	18,60	5,90	5,976
404	3	1,688	15,40	5,75	6,294
408	3	0,419	18,00	6,20	6,034
413A	4	0,419	23,00	6,50	5,557
413B	4	0,416	21,40	6,50	5,707
414	4	0,531	23,88	7,50	5,477
416	4	0,425	22,50	6,70	5,604
421	2	0,86	16,86	5,84	6,147
DX	4	0,418	12,40	5,00	6,604
CCN	2	1,526	18,00	6,30	6,034
1C	2	1,243	16,35	5,70	6,198
3C	2	0,919	18,75	6,45	5,961
6C	2	1,22	16,20	5,10	6,213
8C	3	0,642	16,22	5,20	6,211

Tabla 3.2. Tabla representativa de C_1 límite para la base de datos de buques.

Buque	C. Carga	GM	L_{pp}	B	C_{1-1}	C_1 límite	C_1
A	4	0,391	18,15	6,00	3,258	6,020	3,26
1	5	0,475	16,20	5,30	4,481	6,213	4,48
2	5	0,589	13,50	5,20	5,663	6,489	5,66
3	5	0,449	14,06	5,00	4,490	6,431	4,49
4	5	0,908	9,00	2,52	18,016	6,969	6,97
5	5	0,786	18,40	5,88	6,689	5,995	6,00
6	5	0,375	24,00	6,50	2,885	5,466	2,88
191	4	1,133	16,44	5,88	9,634	6,189	6,19
244	4	0,775	19,70	6,00	6,458	5,869	5,87
247	4	1,45	16,00	5,75	12,609	6,234	6,23
250	2	0,845	15,50	5,00	8,450	6,284	6,28
271	2	0,882	19,50	6,20	7,113	5,888	5,89
303	4	0,727	24,00	8,00	4,544	5,466	4,54
318A	4	0,679	16,00	5,50	6,173	6,234	6,17
318B	4	0,512	22,40	7,00	3,657	5,613	3,66
403	4	0,593	18,60	5,90	5,025	5,976	5,03
404	3	1,688	15,40	5,75	14,678	6,294	6,29
408	3	0,419	18,00	6,20	3,379	6,034	3,38
413A	4	0,419	23,00	6,50	3,223	5,557	3,22
413B	4	0,416	21,40	6,50	3,200	5,707	3,20
414	4	0,531	23,88	7,50	3,540	5,477	3,54
416	4	0,425	22,50	6,70	3,172	5,604	3,17
421	2	0,86	16,86	5,84	7,363	6,147	6,15
DX	4	0,418	12,40	5,00	4,180	6,604	4,18
CCN	2	1,526	18,00	6,30	12,111	6,034	6,03
1C	2	1,243	16,35	5,70	10,904	6,198	6,20
3C	2	0,919	18,75	6,45	7,124	5,961	5,96
6C	2	1,22	16,20	5,10	11,961	6,213	6,21
8C	3	0,642	16,22	5,20	6,173	6,211	6,17

Tabla 3.3. Tabla representativa de C_1 para la base de datos de buques.

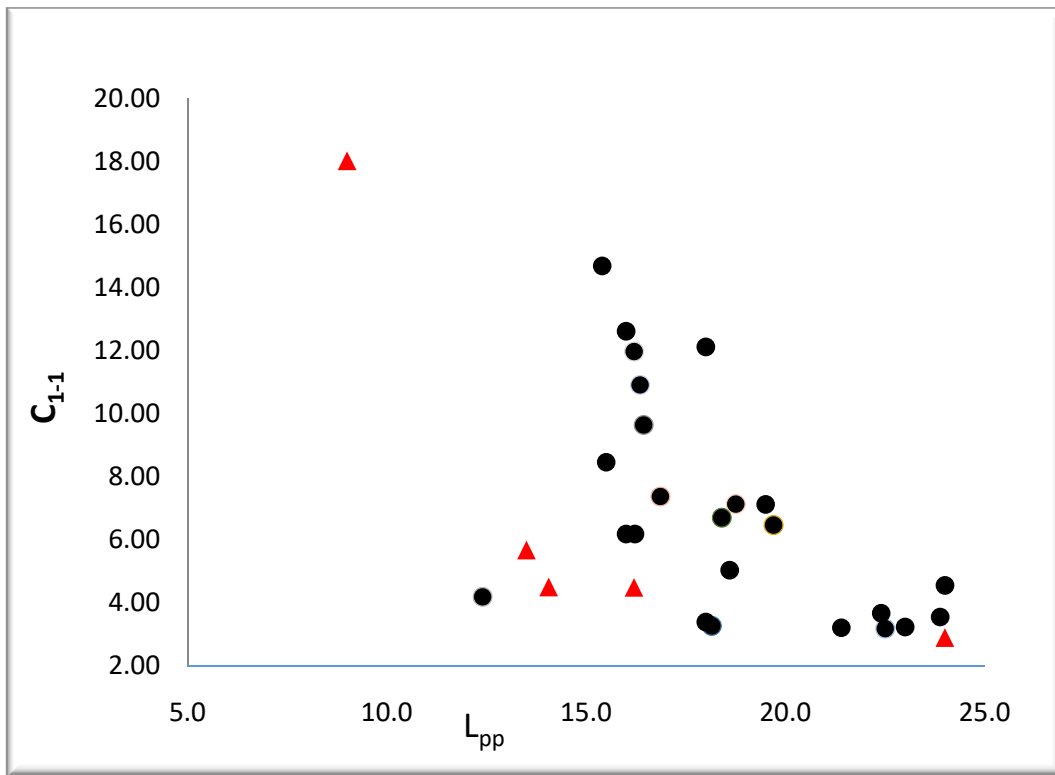


Figura 3.1. Gráfica representativa de los valores de C_{1-1} .

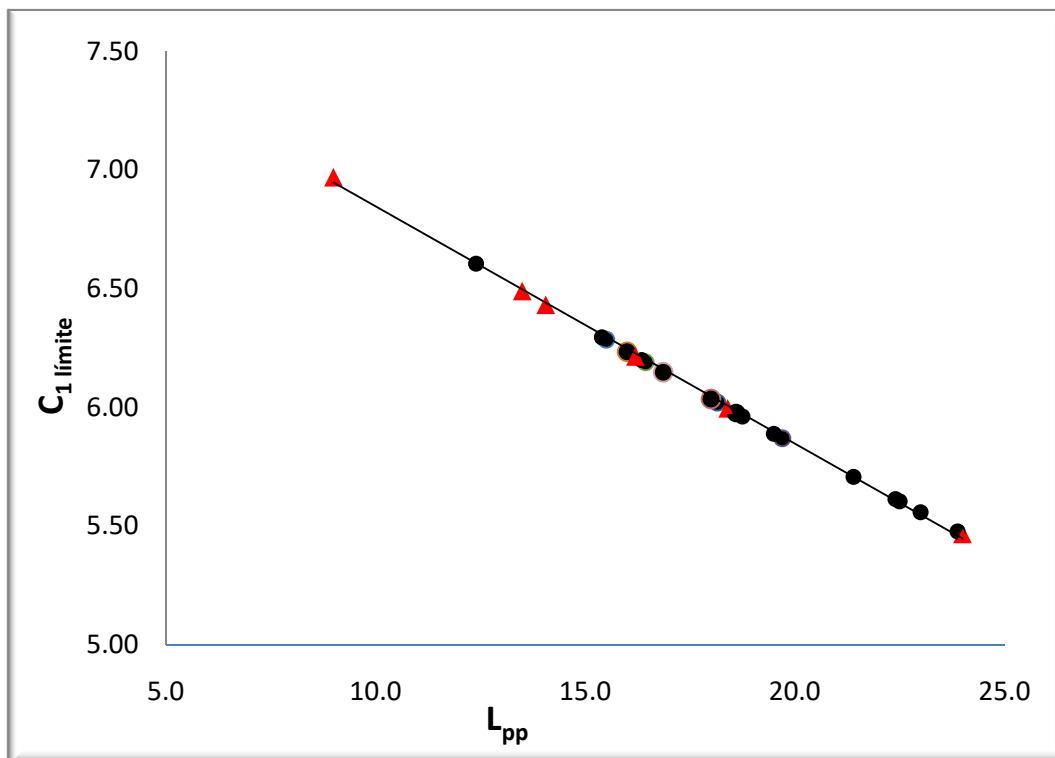


Figura 3.2. Representación de los valores de $C_{1 \text{ limite}}$.

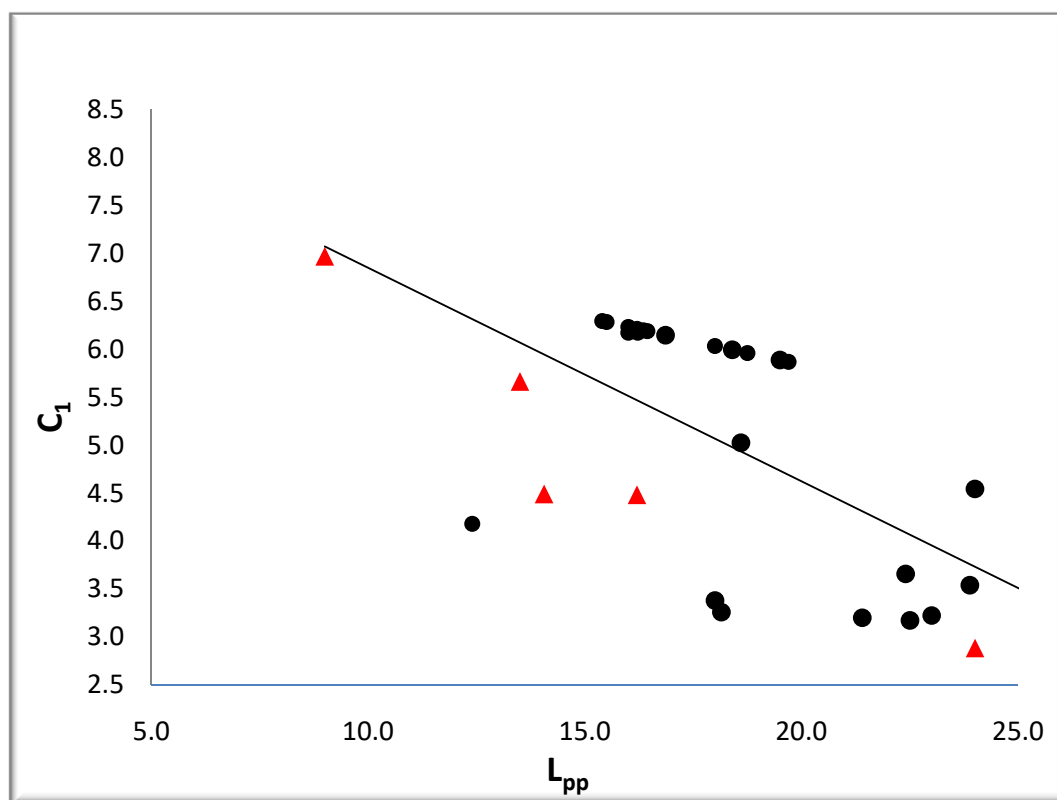


Figura 3.3. Gráfica representativa de los valores obtenidos para C_1 .

Por otra parte, el segundo valor adimensional C_2 que conforma la formulación del criterio propuesto está compuesto por el coeficiente C_{2-2} , definido en la ecuación 2.8 y representado en la Tabla 3.4 y Fig. 3.4, y el coeficiente C_{2-1} , obtenido a partir de la ecuación 2.7 y representado en la Tabla 3.5 y Fig.3.5.

Finalmente, de la ecuación 2.12 se ha obtenido la Fig. 3.6 que muestra la representación del coeficiente adimensional de estabilidad intacta SC del nuevo criterio. Dicha gráfica de la Fig. 3.6, generada a partir de la Tabla 3.6, muestran la relación existente entre eslora entre perpendiculares y el SC obtenido para cada uno de los buques objeto de estudio.

Para completar la representación gráfica de la formulación de los valores del criterio propuesto, podemos observar en la Fig. 3.7 los valores de SC_{\min} definido por la ecuación 2.13 y la Tabla 3.7.

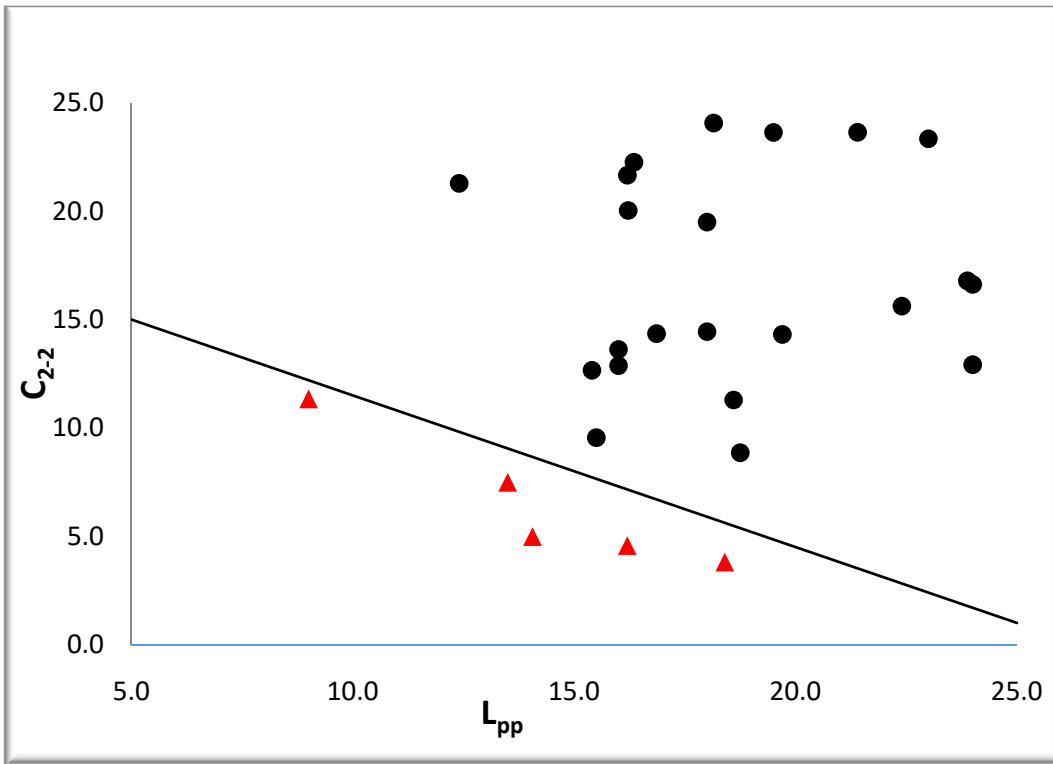


Figura 3.4. Gráfica representativa de los valores obtenidos para C_{2-2} .

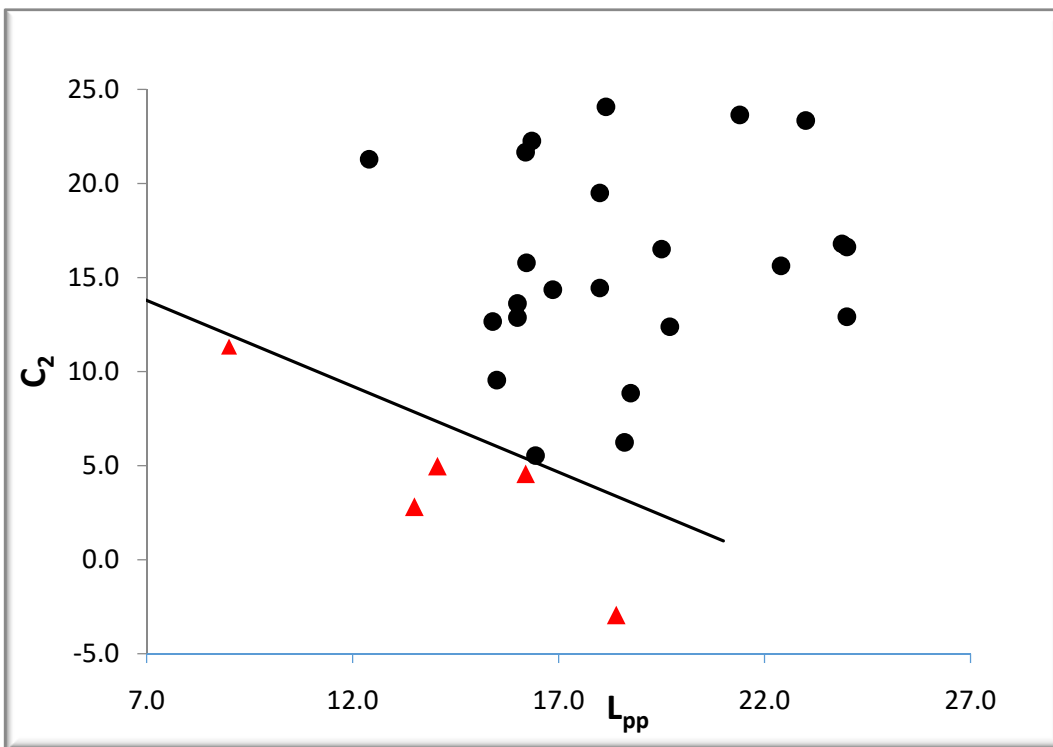


Figura 3.5. Gráfica representativa de los valores obtenidos para C_2 .

Buque	C. Carga	C_{WH}	L_{pp}	C_{2-2}
A	4	4,370	18,15	23,6
1	5	0,74	16,20	4,568
2	5	1,01	13,50	7,481
3	5	0,7	14,06	4,979
4	5	1,02	9,00	11,333
5	5	0,7	18,40	3,804
6	5	3,1	24,00	12,917
191	4	0,91	16,44	5,535
244	4	2,82	19,70	14,315
247	4	2,18	16,00	13,625
250	2	1,48	15,50	9,548
271	2	4,61	19,50	23,641
303	4	3,99	24,00	16,625
318A	4	2,06	16,00	12,875
318B	4	3,5	22,40	15,625
403	4	2,1	18,60	11,290
404	3	1,95	15,40	12,662
408	3	2,6	18,00	14,444
413A	4	5,37	23,00	23,348
413B	4	5,06	21,40	23,645
414	4	4,01	23,88	16,792
416	4	7,72	22,50	34,311
421	2	2,42	16,86	14,353
DX	4	2,64	12,40	21,290
CCN	2	3,51	18,00	19,500
1C	2	3,64	16,35	22,263
3C	2	1,66	18,75	8,853
6C	2	3,51	16,20	21,667
8C	3	3,25	16,22	20,037

Tabla 3.4. Tabla representativa de C_{2-2} para la base de datos de buques.

Buque	C. Carga	e_{70°	L_{pp}	C_{2-1}	C_{2-2}	C_2
A	4	0,379	18,15	48,263	23,6	23,6
1	5	0,199	16,20	24,568	4,568	4,568
2	5	0,019	13,50	2,815	7,481	2,815
3	5	0,115	14,06	16,358	4,979	4,979
4	5	0,097	9,00	21,556	11,333	11,333
5	5	-0,027	18,40	-2,935	3,804	-2,935
6	5	0,616	24,00	51,333	12,917	12,917
191	4	0,12	16,44	14,599	5,535	5,535
244	4	0,122	19,70	12,386	14,315	12,386
247	4	0,19	16,00	23,750	13,625	13,625
250	2	0,091	15,50	16,000	9,548	9,548
271	2	0,143	19,50	16,513	23,641	16,513
303	4	0,428	24,00	35,667	16,625	16,625
318A	4	0,237	16,00	29,625	12,875	12,875
318B	4	0,281	22,40	25,089	15,625	15,625
403	4	0,058	18,60	6,237	11,290	6,237
404	3	0,359	15,40	46,623	12,662	12,662
408	3	0,304	18,00	33,778	14,444	14,444
413A	4	0,364	23,00	31,652	23,348	23,348
413B	4	0,394	21,40	36,822	23,645	23,645
414	4	0,218	23,88	18,258	16,792	16,792
416	4	0,366	22,50	32,533	34,311	32,533
421	2	0,127	16,86	15,065	14,353	14,353
DX	4	0,191	12,40	30,806	21,290	21,290
CCN	2	0,308	18,00	34,222	19,500	19,500
1C	2	0,392	16,35	47,951	22,263	22,263
3C	2	0,131	18,75	13,973	8,853	8,853
6C	2	0,239	16,20	29,506	21,667	21,667
8C	3	0,128	16,22	15,783	20,037	15,783

Tabla 3.5. Tabla representativa de C_2 para la base de datos de buques.

Buque	C. Carga	L _{pp}	SC
A	4	18,15	26,834
1	5	16,20	9,049
2	5	13,50	8,478
3	5	14,06	9,469
4	5	9,00	18,302
5	5	18,40	3,060
6	5	24,00	15,801
191	4	16,44	11,725
244	4	19,70	18,255
247	4	16,00	19,859
250	2	15,50	15,833
271	2	19,50	22,401
303	4	24,00	21,169
318A	4	16,00	19,048
318B	4	22,40	19,282
403	4	18,60	11,262
404	3	15,40	18,957
408	3	18,00	17,823
413A	4	23,00	26,571
413B	4	21,40	26,845
414	4	23,88	20,332
416	4	22,50	35,705
421	2	16,86	20,501
DX	4	12,40	25,470
CCN	2	18,00	25,534
1C	2	16,35	28,461
3C	2	18,75	14,814
6C	2	16,20	27,880
8C	3	16,22	21,956

Tabla 3.6. Tabla representativa de SC para la base de datos de buques.

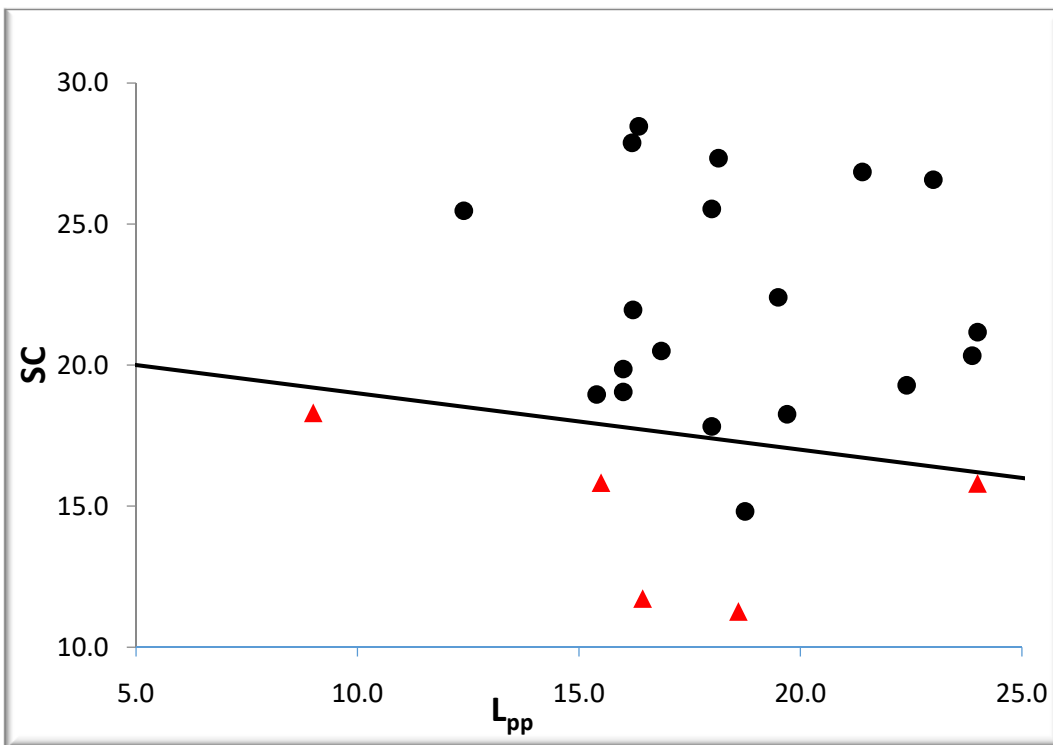


Figura 3.6. Gráfica representativa de los valores obtenidos para SC.

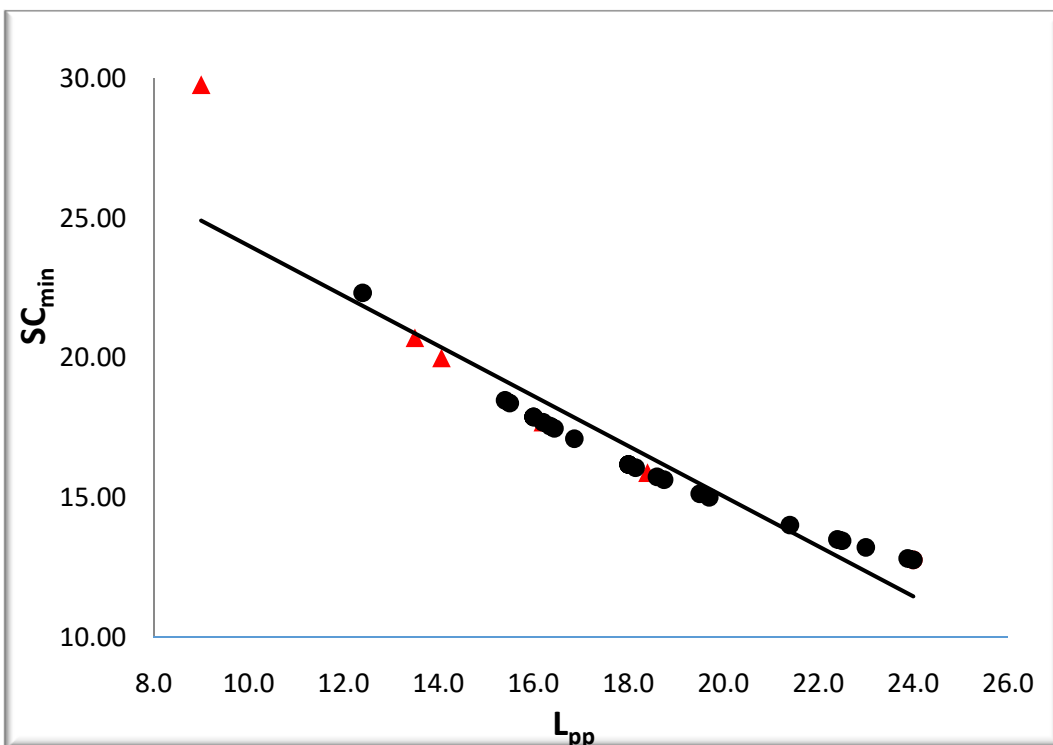


Figura 3.7. Gráfica representativa de los valores obtenidos para SC_{min} .

Buque	C. Carga	L_{pp}	SC	SC_{min}
A	4	18,15	26,834	16,071
1	5	16,20	9,049	17,697
2	5	13,50	8,478	20,720
3	5	14,06	9,469	19,998
4	5	9,00	18,302	29,775
5	5	18,40	3,060	15,887
6	5	24,00	15,801	12,771
191	4	16,44	11,725	17,476
244	4	19,70	18,255	15,007
247	4	16,00	19,859	17,886
250	2	15,50	15,833	18,380
271	2	19,50	22,401	15,135
303	4	24,00	21,169	12,771
318A	4	16,00	19,048	17,886
318B	4	22,40	19,282	13,503
403	4	18,60	11,262	15,744
404	3	15,40	18,957	18,483
408	3	18,00	17,823	16,184
413A	4	23,00	26,571	13,217
413B	4	21,40	26,845	14,016
414	4	23,88	20,332	12,822
416	4	22,50	35,705	13,454
421	2	16,86	20,501	17,105
DX	4	12,40	25,470	22,328
CCN	2	18,00	25,534	16,184
1C	2	16,35	28,461	17,558
3C	2	18,75	14,814	15,638
6C	2	16,20	27,880	17,697
8C	3	16,22	21,956	17,678

Tabla 3.7. Tabla representativa de SC_{min} para la base de datos de buques.

3.1.3. Validación del criterio

Como resultado final del estudio del Factor Técnico, se han representado en la Fig. 3.8 la relación entre SC y SC_{min} , estableciendo las líneas que delimita claramente los buques que cumplen con el criterio propuesto de estabilidad intacta.

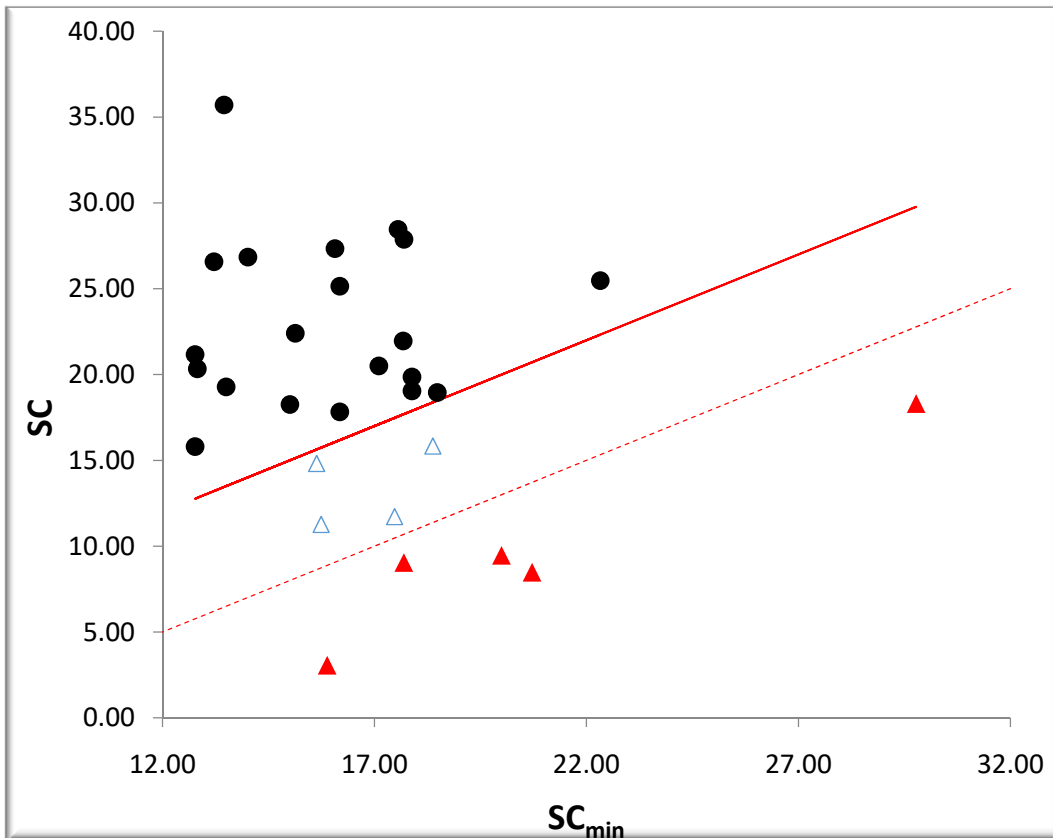


Figura 3.8. Gráfica representativa de SC/SC_{min} y zona de incertidumbre.

Los datos que han generado la Fig. 3.8 se pueden observar con más detalle en la Tabla 3.8. En ella se puede observar que los buques siniestrados, indicados con un sombreado gris oscuro, no cumplen el criterio de estabilidad intacta propuesto, siendo cuatro los que no lo cumplen por un pequeño margen.

Más adelante observaremos como al aplicarle el coeficiente meteorológico y oceanográfico establecido en esta tesis, el número de buques que no cumplen el criterio se reduce sustancialmente.

Buque	C. Carga	L_{pp}	SC	SC_{min}	Criterio	$SC - SC_{min}$
5	5	18,40	3,06	15,89	NO CUMPLE HUNDIDO	-12,83
2	5	13,50	8,48	20,72	NO CUMPLE HUNDIDO	-12,24
4	5	9,00	18,30	29,78	NO CUMPLE HUNDIDO	-11,47
3	5	14,06	9,47	20,00	NO CUMPLE HUNDIDO	-10,53
1	5	16,20	9,05	17,70	NO CUMPLE HUNDIDO	-8,65
191	4	16,44	11,72	17,48	NO CUMPLE	-5,75
403	4	18,60	11,26	15,74	NO CUMPLE	-4,48
250	2	15,50	15,83	18,38	NO CUMPLE	-2,55
3C	2	18,75	14,81	15,64	NO CUMPLE	-0,82
404	3	15,40	18,96	18,48	CUMPLE	0,47
318A	4	16,00	19,05	17,89	CUMPLE	1,16
408	3	18,00	17,82	16,18	CUMPLE	1,64
247	4	16,00	19,86	17,89	CUMPLE	1,97
6	5	24,00	15,80	12,77	CUMPLE	3,03
DX	4	12,40	25,47	22,33	CUMPLE	3,14
244	4	19,70	18,25	15,01	CUMPLE	3,25
421	2	16,86	20,50	17,10	CUMPLE	3,40
8C	3	16,22	21,96	17,68	CUMPLE	4,28
318B	4	22,40	19,28	13,50	CUMPLE	5,78
271	2	19,50	22,40	15,13	CUMPLE	7,27
414	4	23,88	20,33	12,82	CUMPLE	7,51
303	4	24,00	21,17	12,77	CUMPLE	8,40
CCN	2	18,00	25,15	16,18	CUMPLE	8,96
6C	2	16,20	27,88	17,70	CUMPLE	10,18
A	4	18,15	26,834	16,07	CUMPLE	10,764
1C	2	16,35	28,46	17,56	CUMPLE	10,90
413B	4	21,40	26,84	14,02	CUMPLE	12,83
413A	4	23,00	26,57	13,22	CUMPLE	13,35
416	4	22,50	35,70	13,45	CUMPLE	22,25

Tabla 3.8. Tabla representativa de SC para la base de datos de buques.

3.2. Factor humano

3.2.1. Diagrama de flujo

Se han de priorizar los métodos de investigación de siniestros marítimos que tengan como objetivo esclarecer los factores de Organización y Ergonómicos existentes en el momento del siniestro. El que más se aproxima, es el método OIT/IMO por el enfoque sistemático y gradual que, confiere a toda la investigación. Sus etapas están relacionadas según el diagrama de la Fig. 3.9.

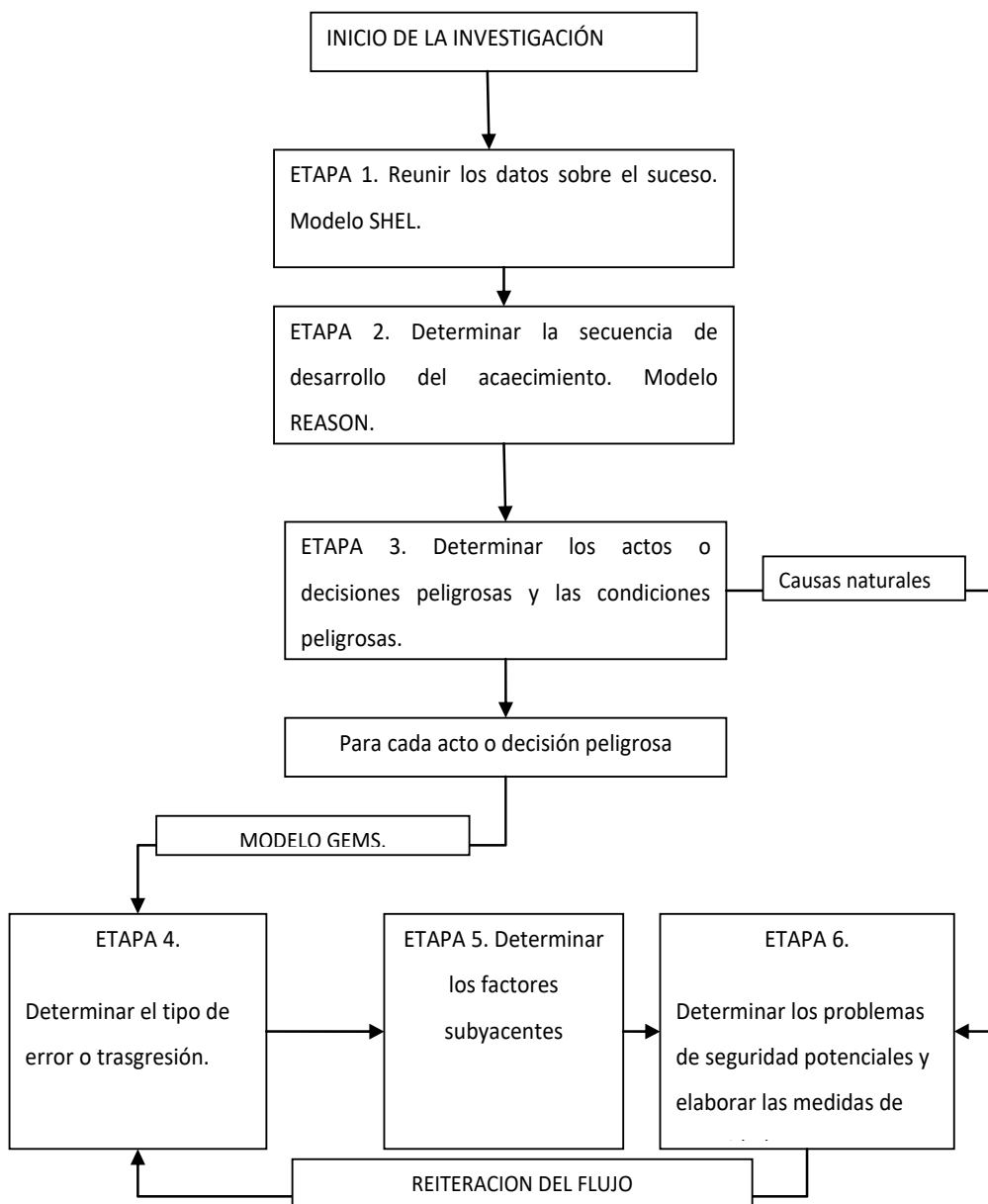


Figura 3.9. Proceso OIT/IMO para la investigación de los factores humanos.

A continuación, se describen detalladamente los resultados obtenidos tras haber adaptado cada Etapa del Método OIT/IMO a las enmiendas del Convenio Internacional sobre Normas de Formación, Titulación y Guardia para la Gente de Mar y el Código de Formación STCW78 (Alvite&Campa, 2011).

Etapa 1 y 2 - Reunión y secuenciación de datos sobre el acaecimiento.

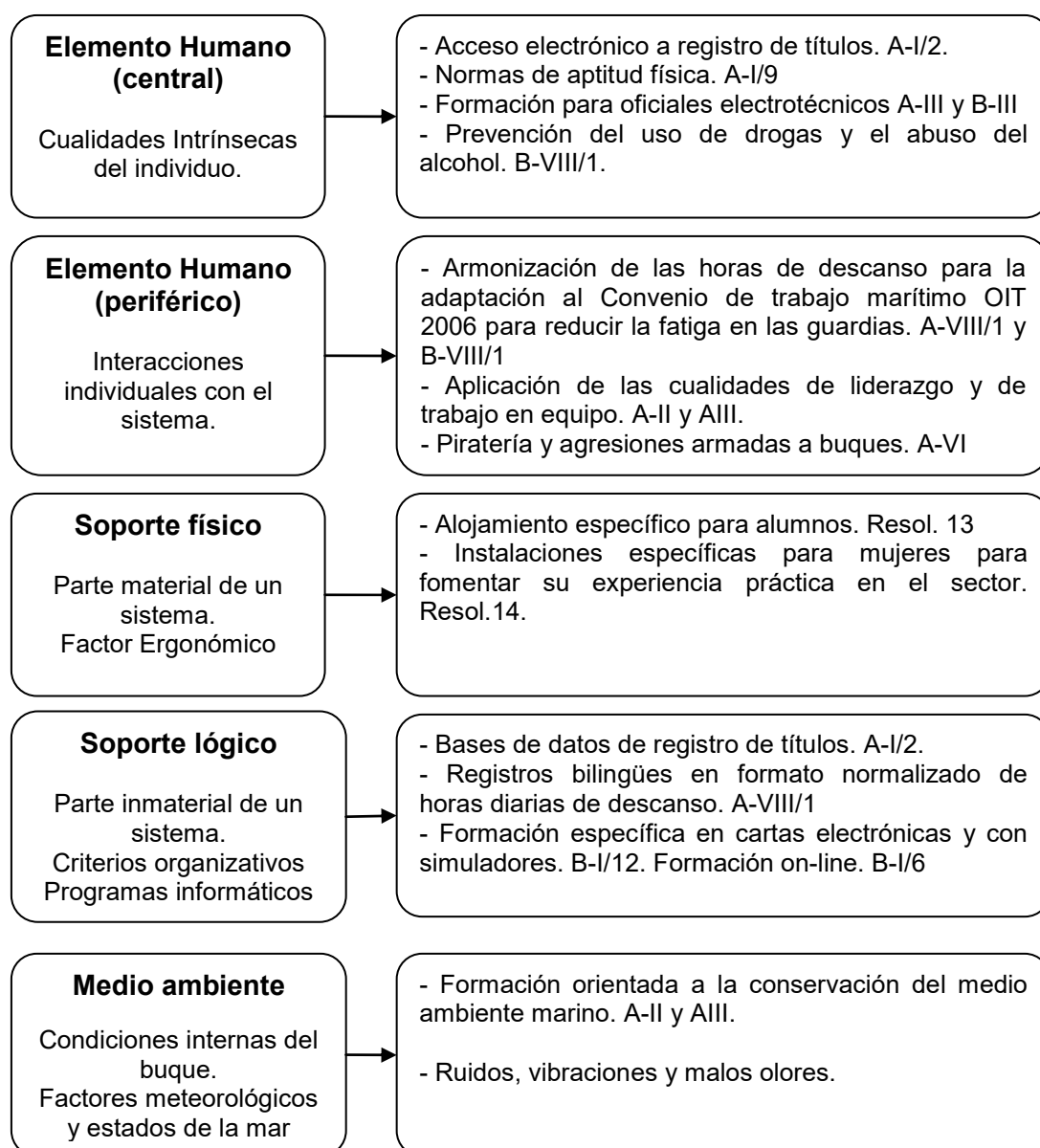


Figura 3.10. Shel-Reason. Metodología para reunir y secuenciar información del accidente.

En las etapas iniciales de la investigación sobre el Factor Humano se reunirá la información necesaria sobre el personal, las tareas, el equipo y el medio ambiente relacionados con el acaecimiento a través del modelo SHEL, Fig.3.10. Se debe crear la figura del “Interlocutor válido” entre el investigador y los testigos implicados para favorecer la transmisión de datos fiables.

Este modelo se puede combinar con el Modelo de (Reason, 1990) de causalidad de accidentes con el que, se elaborará una secuencia de eventos del suceso alrededor de uno de los cinco elementos de producción: toma de decisiones, ejecución, condiciones previas, actividades productivas y defensas, a la vez que, se introduce el concepto de factores activos frente a factores latentes.

Los factores activos son los eventos o circunstancias finales que, originan un acaecimiento. A los habituales se le añadirán los especificados en las enmiendas de Manila 2010 al STCW78 tales como, los relacionados con el uso de drogas y el abuso del alcohol, Normas de aptitud física, etc...

Los factores latentes podrán situarse tanto en el nivel organizativo como en el nivel personal y estar presentes en las condiciones que existen en un sistema de trabajo dado. Ejemplos de factores latentes son: reglas y procedimientos inadecuados, capacitación insuficiente, excesiva carga de trabajo y premuras de tiempo.

Se incorporarán los adoptados por dichas enmiendas tales como, la armonización de las horas de descanso para reducir la fatiga en las guardias, aplicación de las cualidades de liderazgo y de trabajo en equipo, formación específica en cartas electrónicas, etc...

Resultará de especial interés para el investigador, poder acceder al registro electrónico de titulaciones que, se creará según el Cap A-1/2 del STCW78 enmendado.

Etapas 3 - Determinar los actos y condiciones peligrosos.

En esta etapa, se utiliza la información reunida y secuenciada mediante los Modelos SHEL y Reason para comenzar a determinar los factores causales, es decir, los actos y condiciones peligrosos:

Los actos peligrosos se definen como las transgresiones o los errores cometidos en presencia de un riesgo o una condición considerada peligrosa. Las decisiones de las que no se deriven directamente actos, pero que

provoquen un impacto negativo sobre la seguridad, se considerarán actos peligrosos.

Las condiciones peligrosas son los eventos o circunstancias que podrían ocasionar un accidente. Una vez identificada la condición, decisión o acto peligroso se investigará cuál es su origen, analizando las condiciones, decisiones o actos peligrosos que, antecederan al factor causal inicialmente determinado. El último acto peligroso que precipita el acaecimiento suele ser un buen punto de partida para iniciar la investigación del acaecimiento.

Etapa 4 - Determinar el tipo de error o transgresión.

Esta parte del método se aplica a cada decisión/acto peligroso planteándose la simple cuestión de «qué error o equivocación hace que, un acto o decisión sea peligroso» Utilizaremos el Modelo GEMS adaptado al STCW78/95 Manila 2010 que, como se observa en la Fig. 3.11, consta de estas dos subetapas:

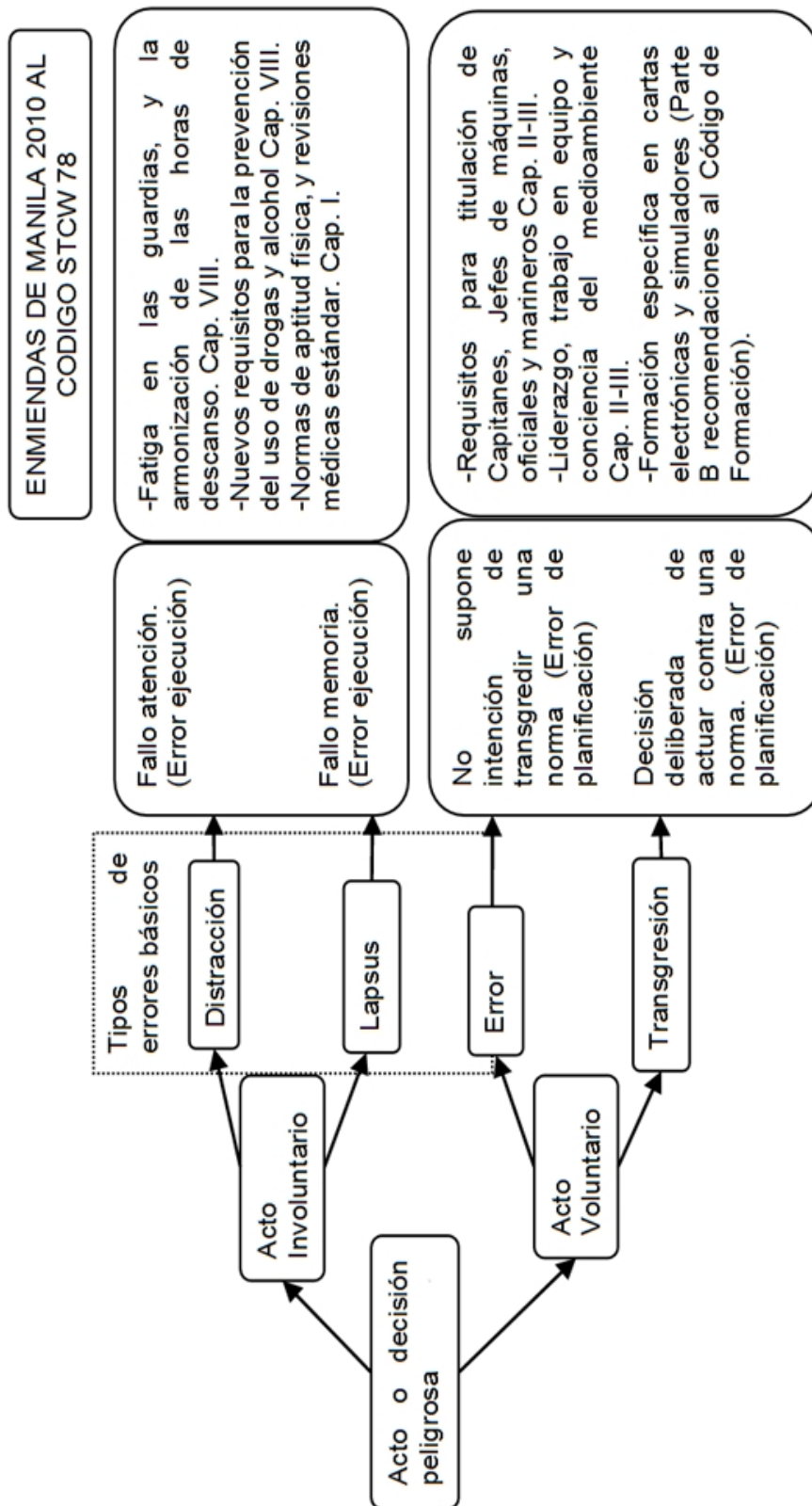


Figura 3.11. GEMS adaptado al STCW 78/95 MANILA 2010

- Subetapa 1. Acto involuntario o voluntario. Se determinará, en primer lugar, si el error o transgresión procede de un acto voluntario o involuntario. Los actos involuntarios son aquellos actos que no se realizan según lo previsto. Son, por tanto, errores de ejecución.

De no ser así, se tratará de un acto voluntario. Si los actos voluntarios se realizan según lo previsto pero no son adecuados, estaremos hablando de errores de planificación.

- Subetapa 2. Tipo de error o transgresión. A continuación, se determinará el tipo de error o transgresión con el que mejor se pueda definir el fallo, considerando la decisión adoptada en lo que respecta a la intencionalidad. Hay cuatro categorías de transgresiones y errores potenciales: la distracción, el Lapsus, el error y la transgresión.

Se considera la distracción como un acto involuntario en el que falla la atención y se considera como un error de ejecución al igual que el lapsus que es un acto de carácter involuntario en el que falla la memoria. El error es un acto voluntario realizado sin intención de transgredir una norma o un plan. Se le define como un error de planificación.

Por último, tendremos la transgresión, considerada como un error de planificación en el que se ha actuado deliberadamente contra una norma o un procedimiento. Se han de tener en cuenta las transgresiones puntuales que suelen cometerse al pasar por alto las normas de seguridad durante el desarrollo de la actividad profesional con objeto de, por ejemplo, concluir una tarea dentro del tiempo establecido.

Etapas 5 - Determinar los factores subyacentes.

Llegados a este punto, se ha de intentar hallar la relación que existe entre los errores y transgresiones registrados en el acaecimiento y el comportamiento que los motivó. Este comportamiento se determina en la Etapa 3 y consiste en adoptar una decisión para posteriormente ejecutarla con un acto o movimiento, demostrándose en la Etapa 4 lo erróneo del acto o la decisión.

Por fin, la Etapa 5 se centra en las causas subyacentes del acto o decisión de un individuo o grupo. Entre éstas se hará especial mención a las causas indicadas en las enmiendas de Manila 2010 al Convenio STCW78/95, especialmente las que faciliten la eliminación de los factores que puedan provocar fallos en los sistemas de trabajo, como la fatiga en las guardias, Cap.

AVIII y BVIII y los ruidos, vibraciones y malos olores. A esos factores se les denomina factores subyacentes y pueden determinarse examinando la información sobre el sistema de trabajo que se haya reunido y secuenciado mediante los Modelos SHEL- Reason en las etapas 1 y 2.

Etapas 6 - Determinar los problemas de seguridad potenciales y elaborar las medidas correspondientes.

Una vez identificados los factores subyacentes y los problemas de seguridad que provocan, se debe elaborar una exhaustiva lista de medidas a implementar en la flota con objeto de reducir o eliminar la posibilidad de que lo sucedido se vuelva a repetir, ya que evitar la reiteración es una de las principales tareas de los legisladores en materia de Prevención de Riesgos Laborales.

Para que esta implementación sea efectiva, es necesario que estas medidas sean viables económicamente, ya sea por el ahorro intrínseco derivado de su uso o por líneas de subvención específicas.

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Factor técnico

Una vez aplicada la formulación del nuevo criterio a nuestra base de datos, se ha obtenido una serie de resultados que a continuación serán discutidos en detalle. En particular, en esta sección se realizará una discusión justificativa de los valores principales que conforman la formulación del nuevo criterio.

En este sentido, es interesante destacar, antes de iniciar el análisis de los resultados obtenidos, que cada buque poseerá para cada condición de carga un valor de SC y un valor fijo y particular de su SC_{\min} , que estará íntimamente relacionado con sus dimensiones principales.

En primer lugar, a partir de los valores de C_{1-1} reflejados en la Fig. 3.1 se ha podido observar que, para que los buques de esloras en el rango de esta tesis cumplan con el criterio propuesto, deberán tener un valor elevado de la relación GM/B en función de su L_{pp} , ya que este tipo de buques pesqueros suelen estar diseñados con un francobordo muy ajustado. Además, esta relación no servirá para representar con bastante fiabilidad, las aceleraciones a las que puede estar sometido el buque durante la navegación.

Por otra parte, en esta misma figura se puede observar que la mayoría de los buques siniestrados se encuentran en una franja de C_{1-1} entre 2,89 y 6,69 y que, a su vez, todos los buques por encima de este valor se han mostrado como seguros hasta la fecha.

Si ahora analizamos los valores de $C_{1\text{ límite}}$, representados en la Fig. 3.2, se puede observar que cuando el valor del coeficiente C_{1-1} está por debajo de $C_{1\text{ límite}}$ el valor mínimo de e_{70° aumenta según la ecuación 2.4.

$$\delta e_{70^\circ} = \frac{C_{1\text{ límite}} - C_{1-1}}{1000} \cdot L_{pp} \quad [2.4]$$

Debemos recordar que la representación de $C_{1\text{ límite}}$ nos indica el valor mínimo de C_1 para cada eslora y que esto evidencia claramente que, a medida que aumenta la eslora entre perpendiculares, esta disminuye exponencialmente. Así también, el GM asociado presentará valores cercanos a periodos de balance que se pueden entender como normales. Es decir, no son

los habituales movimientos bruscos que provocan los GM altos, ni los inconvenientes ya conocidos de los periodos de balances muy lentos que se corresponden con GM excesivamente bajos.

A continuación, en la Fig. 3.3, se representan los valores del coeficiente de estabilidad inicial C_1 . En dicha figura se puede observar que los valores de C_1 de los buques van decreciendo a medida que aumenta la eslora entre perpendiculares, por lo cual se puede considerar que este coeficiente de estabilidad inicial, en el que tiene influencia el GM y la manga de cada buque, adquiere más importancia cuanto menores sean las dimensiones del buque estudiado. Es decir, a medida que los buques disminuyen de eslora necesitarán valores mayores de C_1 para cumplir el criterio o necesitarán valores mayores de C_2 para poder compensar esta escasez de estabilidad inicial.

En este sentido, es importante mencionar que los buques a partir de una eslora suelen tener una cubierta shelter y su francobordo habitualmente suele ser mayor.

El segundo valor adimensional C_2 que conforma la formulación del nuevo criterio está compuesto, entre otros, por el coeficiente C_{2-2} representado en la Fig. 3.4. En dicha Fig. 3.4 se puede observar claramente que casi todos los buques siniestrados de nuestra base de datos están por debajo de la línea de riesgo representada.

Lo que es más, prácticamente todos los buques estudiados con C_{2-2} superior a 11 pueden ser considerados como seguros en materia de estabilidad intacta. Esto es un claro indicativo del gran interés de este coeficiente de Altura de Ola Crítica (C_{WH}) añadido a este criterio original para definir las causalidades durante el proceso de diseño del buque.

La representación de los valores C_2 se muestra en la Fig. 3.5 en la que claramente se observa la línea de tendencia bajo la cual los buques siniestrados presentan valores menores cuanto mayor es su eslora. Esta clara disminución de los valores de C_2 hace pensar que el coeficiente adimensional de estabilidad dinámica podría tener una mayor influencia a medida que se reduce la eslora del buque estudiado, pudiendo ser ponderada en futuros estudios.

Finalmente, en la Fig. 3.6 se representa el coeficiente adimensional de estabilidad intacta SC del criterio propuesto. En dicha figura se puede observar cómo los buques siniestrados, siguiendo la tendencia que hasta ahora se ha observado, presentan valores muy por debajo del resto de los buques no

siniestrados. Así mismo, es interesante destacar que mantienen ligeramente la tendencia a disminuir con el incremento de su la eslora entre perpendiculares.

También es interesante observar que por encima de un valor de SC de 18 no se ha observado ningún buque con problemas de estabilidad intacta, independientemente de cuál sea su eslora dentro del rango de este estudio.

Así mismo, se observa que el resto de la flota de nuestra base de datos se encuentra entre el valor indicado de 18 y 28, estando los considerados como buques más seguros más cerca del valor de 28 ya ponderando la estabilidad inicial del primer factor C_1 y la estabilidad dinámica del segundo factor C_2 en la cual se ha tenido en cuenta la estabilidad e_{70° y la Altura de Ola Crítica (C_{WH}), tal y como se ha explicado anteriormente.

Para completar la representación gráfica de la formulación de los valores del nuevo criterio, se puede observar en la Fig. 3.7 los valores de SC_{min} . Estos valores representan el coeficiente adimensional por debajo del cual el buque estudiado no cumpliría el criterio de estabilidad intacta.

Estos valores, siguiendo una vez más la tendencia descrita anteriormente, presentan una curva descendente en relación al incremento de eslora. Es decir, se ha podido establecer que el valor de SC_{min} presenta una relación lineal descendente inversamente proporcional al aumento de la eslora entre perpendiculares de cada buque.

Por otra parte, el buque control, denominado como buque A, se considera como buque seguro y presenta uno de los valores más elevados de SC (26,834) tal y como se muestra en la Tabla 3.8.

En apariencia, los buques siniestrados no tienen valores extremos que se puedan asociar a un ámbito de esloras a las que se les pueda suponer un mayor riesgo, aparte de los ya referenciados anteriormente, debidos a los efectos escorantes, a los estados de la mar adversos, a los efectos del timón, etc., que serán crecientes con las dimensiones del buque.

Una vez aplicado el criterio propuesto a la base de datos, podemos observar que los buques que cumplen el criterio se encuentran en la zona ubicada por encima de la línea de aprox. 45° que aparece representada en la Fig. 3.8 con una línea continua.

En la Fig. 4.1, realizada a partir de la Tabla 4.1, podemos ver claramente que ninguno de los buques siniestrados, indicados en color rojo, cumpliría con

el nuevo criterio de estabilidad intacta pues se encuentran en valores negativos de la diferencia entre SC y SC_{min} .

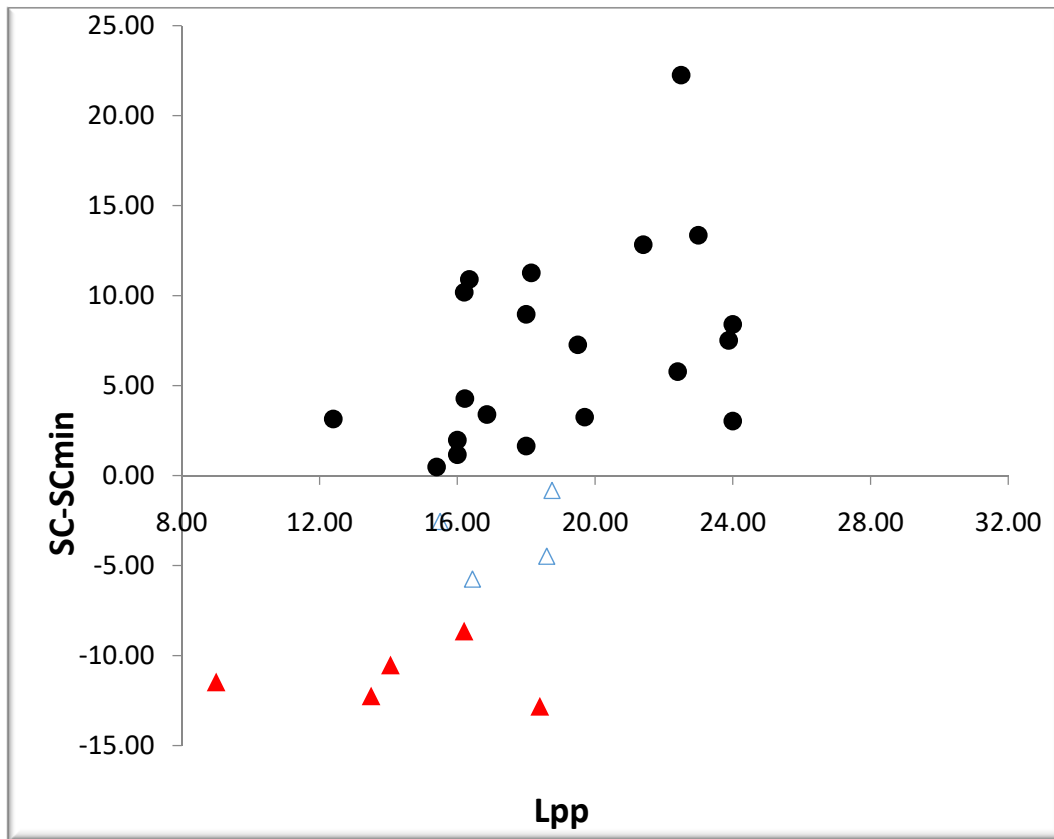


Figura 4.1. Gráfica representativa de SC/SC_{min} y zona de incertidumbre.

En esta misma figura se puede observar que existe una zona de incertidumbre en la cual aparecen los buques (marcador triangular transparente) que, si bien no han sufrido ningún tipo de accidente, no han superado este nuevo criterio. En este sentido, los cuatro buques que no cumplen lo hacen por una diferencia muy ajustada, pudiendo corregirse con la aplicación posterior del parámetro llamado Coeficiente Meteorológico y Oceanográfico (C_{M0}).

Otra conclusión que se puede obtener de esta misma representación es que los buques que se encuentran en esta zona de incertidumbre presentan todas varias características comunes como son; una baja relación GM/B y, por ende, un francobordo muy ajustado y un rango positivo de estabilidad residual ciertamente escaso en relación al resto de los buques no siniestrados y considerados como seguros en materia de estabilidad intacta.

Buque	C. Carga	L_{pp}	SC	SC_{min}	Criterio	$SC - SC_{min}$
5	5	18,40	3,06	15,89	NO CUMPLE HUNDIDO	-12,83
2	5	13,50	8,48	20,72	NO CUMPLE HUNDIDO	-12,24
4	5	9,00	18,30	29,78	NO CUMPLE HUNDIDO	-11,47
3	5	14,06	9,47	20,00	NO CUMPLE HUNDIDO	-10,53
1	5	16,20	9,05	17,70	NO CUMPLE HUNDIDO	-8,65
191	4	16,44	11,72	17,48	NO CUMPLE	-5,75
403	4	18,60	11,26	15,74	NO CUMPLE	-4,48
250	2	15,50	15,83	18,38	NO CUMPLE	-2,55
3C	2	18,75	14,81	15,64	NO CUMPLE	-0,82
404	3	15,40	18,96	18,48	CUMPLE	0,47
318A	4	16,00	19,05	17,89	CUMPLE	1,16
408	3	18,00	17,82	16,18	CUMPLE	1,64
247	4	16,00	19,86	17,89	CUMPLE	1,97
6	5	24,00	15,80	12,77	CUMPLE	3,03
DX	4	12,40	25,47	22,33	CUMPLE	3,14
244	4	19,70	18,25	15,01	CUMPLE	3,25
421	2	16,86	20,50	17,10	CUMPLE	3,40
8C	3	16,22	21,96	17,68	CUMPLE	4,28
318B	4	22,40	19,28	13,50	CUMPLE	5,78
271	2	19,50	22,40	15,13	CUMPLE	7,27
414	4	23,88	20,33	12,82	CUMPLE	7,51
303	4	24,00	21,17	12,77	CUMPLE	8,40
CCN	2	18,00	25,15	16,18	CUMPLE	8,96
6C	2	16,20	27,88	17,70	CUMPLE	10,18
1C	2	16,35	28,46	17,56	CUMPLE	10,90
A	4	18,15	26,834	16,07	CUMPLE	11,26
413B	4	21,40	26,84	14,02	CUMPLE	12,83
413A	4	23,00	26,57	13,22	CUMPLE	13,35
416	4	22,50	35,70	13,45	CUMPLE	22,25

Tabla 4.1. Tabla representativa de la base de datos de buques.

Esta zona de incertidumbre está formada en nuestro caso por un total de cuatro buques que, a su vez, representan los valores más elevados dentro de los buques a los que una vez que se ha aplicado el criterio $SC < SC_{\min}$ como se puede observar a continuación, en la Fig. 4.2.

Se ha podido aseverar que el porcentaje de error del nuevo criterio se encuentra alrededor del 14% aunque es conveniente indicar que, de los 9 buques que no cumplen, únicamente cuatro no han sufrido accidentes por falta de estabilidad representando los valores más bajos en su diferencia entre SC y SC_{\min} como máximo de 5,75, tal y como se puede comprobar en la Tabla 4.2.

Si a los cuatro buques que no cumplen le aplicamos el Coeficiente Oceanográfico y Meteorológico (C_{MO}), limitando sus caladeros de pesca y la navegación hasta ellos, o lo que es lo mismo, si los limitamos a las correspondientes aguas protegidas ($C_{MO} = 0,8$), podemos observar que los buques que no cumplen el criterio propuesto y no han sufrido siniestro se reducen a solo dos unidades, estableciendo un margen de error más que aceptable de un 7%, tal y como se muestra en la Tabla 4.3.

Por otra parte, se ha considerado conveniente analizar para los buques siniestrados el valor de sus periodos de balance correspondientes a su $GM_{\text{límite}}$ definidos por medio de las ecuaciones 2.5 y 2.6.

Buque	C. Carga	L_{pp}	SC	SC_{\min}	Criterio	$SC - SC_{\min}$
5	5	18,40	3,06	15,89	NO CUMPLE HUNDIDO	-12,83
2	5	13,50	8,48	20,72	NO CUMPLE HUNDIDO	-12,24
4	5	9,00	18,30	29,78	NO CUMPLE HUNDIDO	-11,47
3	5	14,06	9,47	20,00	NO CUMPLE HUNDIDO	-10,53
1	5	16,20	9,05	17,70	NO CUMPLE HUNDIDO	-8,65
191	4	16,44	11,72	17,48	NO CUMPLE	-5,75
403	4	18,60	11,26	15,74	NO CUMPLE	-4,48
250	2	15,50	15,83	18,38	NO CUMPLE	-2,55
3C	2	18,75	14,81	15,64	NO CUMPLE	-0,82

Tabla 4.2. Tabla representativa de los buques que no cumplen el criterio.

Buque	C. Carga	L_{pp}	SC	SC_{min}	Criterio	$SC - SC_{min}$
5	5	18,40	3,06	15,89	NO CUMPLE HUNDIDO	-12,83
2	5	13,50	8,48	20,72	NO CUMPLE HUNDIDO	-12,24
4	5	9,00	18,30	29,78	NO CUMPLE HUNDIDO	-11,47
3	5	14,06	9,47	20,00	NO CUMPLE HUNDIDO	-10,53
1	5	16,20	9,05	17,70	NO CUMPLE HUNDIDO	-8,65
191	4	16,44	11,72	17,48	NO CUMPLE	-5,75
403	4	18,60	11,26	15,74	NO CUMPLE	-4,48

Tabla 4.3. Tabla representativa de los buques que no cumplen el criterio con C_{MO} .

$$GM_{límite} = \frac{C_{límite} \cdot B}{50} \quad [2.5]$$

$$TGM_{límite} = f \cdot \frac{B}{\sqrt{GM_{límite}}} \quad [2.6]$$

En esta última ecuación, según la IMO, f se puede estimar por medio de la ecuación 2.7.

$$f = 0,746 + 0,046 \cdot \left(\frac{B}{T_m}\right) - 0,086 \cdot \left(\frac{L}{100}\right) \quad [2.7]$$

De este estudio se ha concluido que, para los buques que cumplen el criterio de estabilidad intacta, el GM asociado al valor del $C_{1 \text{ límite}}$ corresponde a valores del periodo de balance moderados en los cuales no suelen existir movimientos peligrosos tanto en la navegación como en las labores habituales en el ejercicio de su actividad pesquera propiamente dicha.

Dado que el período de balance de un buque es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la altura metacéntrica, un GM pequeño trae como consecuencia un periodo grande con balances lentos y se dice que el barco es blando de estabilidad. Un GM grande producirá balances rápidos y se dice que el barco es duro y, aunque la estabilidad inicial es buena, la arboladura del barco sufre mucho debido a los violentos bandazos muy incómodos y peligrosos durante las maniobras de pesca.

Lo ideal es disponer de un GM aceptable pero no demasiado grande, compensado con un francobordo grande. Por lo general, la estabilidad inicial se considera satisfactoria si el periodo de balance del buque en segundos es menor que la manga del buque en metros.

El valor de $TGM_{límite}$ para la mayoría de los buques que no lo cumplen es excesivamente elevado con el consiguiente peligro que esto supone para su seguridad, tal y como se puede observar en la Tabla 4.4.

Particularmente, si el valor que hemos utilizado para el cálculo de C_2 , por ser el menor este el menor de e_{70° , será de aplicación cuando el GM tenga valores mayores que el $GM_{límite}$. Este valor crece de forma moderada en función directa con la L_{pp} , debido a que las acciones escorantes son generalmente mayores cuantos mayor es la L_{pp} del buque en cuestión.

Por otra parte, para cumplir con el criterio propuesto, será necesario que el buque que posea valores bajos de C_1 deberá poseer valores mayores de e_{70° o C_{WH} que lo pueda compensar, siempre teniendo en cuenta que los buques con poca estabilidad inicial C_1 suelen sufrir mayores ángulos de escora con vientos de través y mayores ángulos de balance.

Una vez definidos los valores de estabilidad inicial y dinámica para cada uno de los buques, se ha procedido a la elaboración de un diagrama de barras que muestra cada una de los coeficientes calculados en función de la eslora del buque, tal y como se aprecia en la Fig. 4.2.

El valor requerido para que el coeficiente adimensional SC cumpla el criterio, implica que debe existir un valor mínimo de e_{70° o C_{WH} en función de la eslora del buque.

Buque	C. C.	GM	L _{pp}	B	Tm	C ₁ límite	GM _{límite}	f	TGM _{límite}	Criterio
A	4	0,391	18,15	6,00	2,4	6,020	0,722	0,8453	9,721	CUMPLE
1	2(5)	0,475	16,20	5,30	2,144	6,213	0,659	0,8457	10,334	NO CUMPLE
2	3(5)	0,589	13,50	5,20	1,622	6,489	0,675	0,8818	10,068	NO CUMPLE
3	4(5)	0,449	14,06	5,00	2,343	6,431	0,643	0,8320	10,058	NO CUMPLE
4	5(5)	0,908	9,00	2,52	0,75	6,969	0,351	0,8928	18,239	NO CUMPLE
5	6(5)	0,786	18,40	5,88	2,5	5,995	0,704	0,8382	9,925	NO CUMPLE
6	7(5)	0,375	24,00	6,50	3,461	5,466	0,711	0,8117	10,451	CUMPLE
191	9(4)	1,133	16,44	5,88	2,197	6,189	0,728	0,8549	9,489	NO CUMPLE
244	10(4)	0,775	19,70	6,00	1,811	5,869	0,704	0,8814	10,663	CUMPLE
247	11(4)	1,45	16,00	5,75	1,58	6,234	0,717	0,8996	10,066	CUMPLE
250	12(2)	0,845	15,50	5,00	1,637	6,284	0,628	0,8731	11,055	NO CUMPLE
271	13(2)	0,882	19,50	6,20	1,918	5,888	0,730	0,8779	10,211	CUMPLE
303	14(4)	0,727	24,00	8,00	2,84	5,466	0,874	0,8549	8,944	CUMPLE
318A	15(4)	0,679	16,00	5,50	1,867	6,234	0,686	0,8677	10,151	CUMPLE
318B	16(4)	0,512	22,40	7,00	2,833	5,613	0,786	0,8403	9,526	CUMPLE
403	17(4)	0,593	18,60	5,90	1,844	5,976	0,705	0,8771	10,409	NO CUMPLE
404	18(3)	1,688	15,40	5,75	1,182	6,294	0,724	0,9565	10,497	CUMPLE
408	19(3)	0,419	18,00	6,20	3,197	6,034	0,748	0,8197	9,077	CUMPLE
413A	21(4)	0,419	23,00	6,50	2,634	5,557	0,722	0,8397	10,457	CUMPLE
413B	22(4)	0,416	21,40	6,50	2,653	5,707	0,742	0,8402	9,924	CUMPLE
414	23(4)	0,531	23,88	7,50	3,868	5,477	0,821	0,8146	9,054	CUMPLE
416	24(4)	0,425	22,50	6,70	3,282	5,604	0,751	0,8205	9,750	CUMPLE
421	25(2)	0,86	16,86	5,84	1,45	6,147	0,718	0,9167	10,385	CUMPLE
DX	28()	0,418	12,40	5,00	2,077	6,604	0,660	0,8460	9,699	CUMPLE
CCN	29()	1,526	18,00	6,30	1,823	6,034	0,760	0,8894	9,693	CUMPLE
1 Coru.	30()	1,243	16,35	5,70	1,862	6,198	0,707	0,8727	9,963	CUMPLE
3 Coru.	31()	0,919	18,75	6,45	1,357	5,961	0,769	0,9485	10,347	NO CUMPLE
6 Coru.	32()	1,22	16,20	5,10	1,724	6,213	0,634	0,8681	11,023	CUMPLE
8 Coru.	34()	0,642	16,22	5,20	1,351	6,211	0,646	0,9091	11,328	CUMPLE

Tabla 4.4. Tabla representativa de los valores de TGM_{límite}.

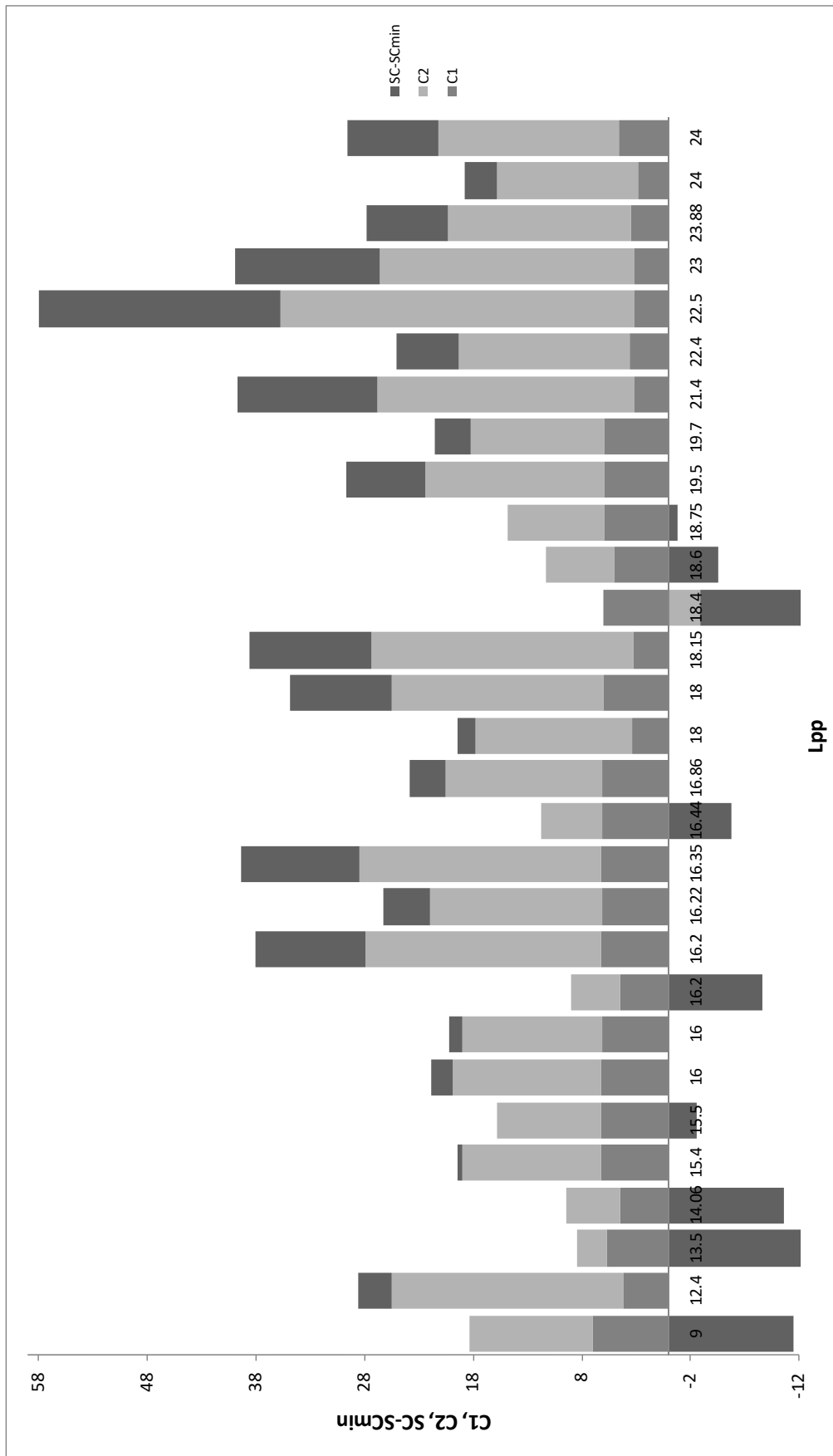


Figura 4.2. Gráfica representativa de SC/SC_{min} y zona de incertidumbre.

A partir de esta figura podemos deducir claramente que es posible compensar una carencia de estabilidad inicial con valores de estabilidad dinámica para que así un buque dado cumpla el criterio propuesto y viceversa.

Por otra parte, tras el análisis de los resultados anteriormente comentados, ha surgido la necesidad de definir un modelo matemático que relacionase los valores de SC y SC_{min} obtenidos de manera similar al definido por O'Dogherty como una función de la eslora de los buques objeto de este estudio.

De esta manera, en la Fig. 4.3 podemos observar la relación de SC/SC_{min} en función de la eslora de cada buque de nuestra base de datos y definir un modelo como el reflejado en la ecuación 4.1 obtenido con un coeficiente de determinación $r^2=0,95$.

$$SC = a + b \cdot L_{pp} + c \cdot SC_{min} \quad [\text{Ec. 4.1}]$$

Donde los valores de las constantes implicadas han sido:

$$a = 33,74279$$

$$b = 0,03510$$

$$c = -0,97699$$

Para finalizar, el rango de validez de cada una de las variables implicadas será el indicado a continuación:

Variable X: L_{pp}

$$X_{min}: 3,0603 \quad X_{max}: 35,705$$

Variable Y: SC_{min}

$$Y_{min}: 12,770 \quad Y_{max}: 29,775$$

Z Variable: SC

$$Z_{min}: 9 \quad Z_{max}: 24$$

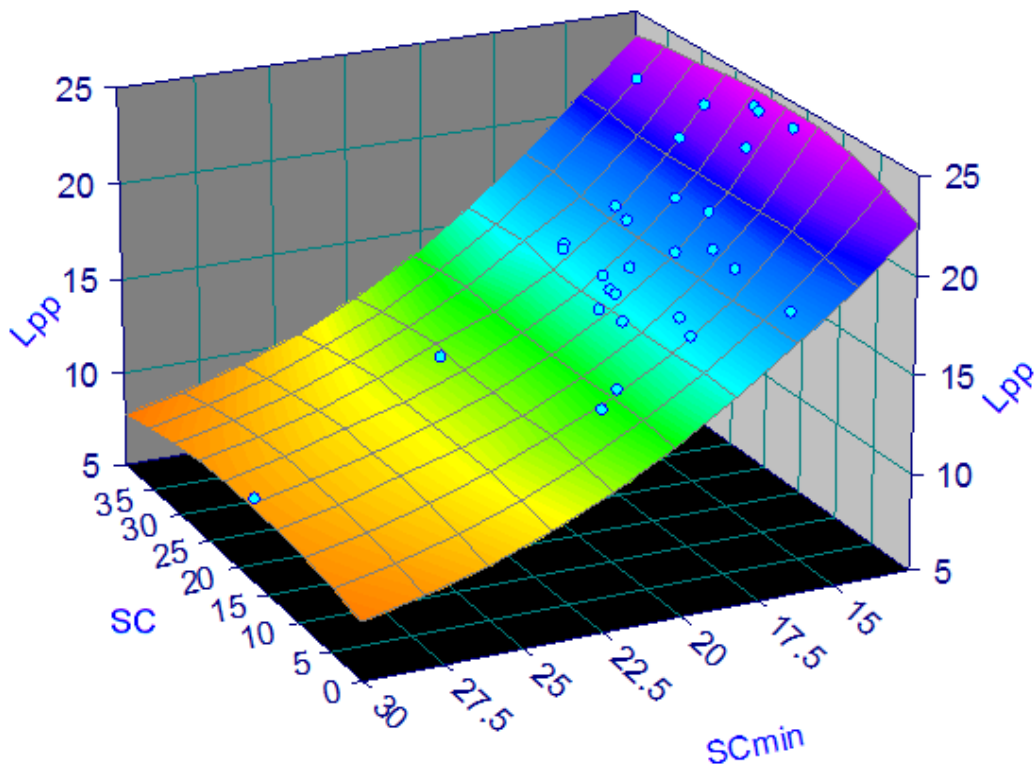


Figura 4.3. Gráfica representativa de SC/SC_{min} en relación a la L_{pp} de cada buque.

Es interesante destacar la posibilidad de definir el caladero para el cual un buque ya existente es adecuado y seguro, empleando este mismo criterio de manera inversa por medio de la ecuación obtenida.

En la Fig. 4.3 se puede observar claramente que, aunque todos los buques de la base de datos utilizada cumplen con los criterios de estabilidad intacta vigente basados principalmente en el establecimiento de mínimos, una vez aplicado el criterio de estabilidad intacta desarrollado en este tesis los buques que han resultado siniestrados muestran valores que se desmarcan de los que se han considerado como buques seguros.

4.2. Factor humano

Durante el estudio del factor humano ha surgido la necesidad de describir cada uno de los diagramas de flujo obtenidos en la propia sección de resultados. De esta manera, se procede a un análisis pormenorizado de la serie sistemática obtenida.

En este sentido, tal y como se ha mostrado en la sección de resultados, se ha obtenido una serie sistemática de identificación del factor humano en la siniestralidad marítima adaptada a las enmiendas de Manila 2010 al Convenio STCW78/95 y a su Código de Formación asociado. Para ello, se han utilizado los modelos que componen el Método OIT/IMO de investigación del factor humano (Alvite & De la Campa, 2011).

Se establece como una herramienta de importancia considerable, la indicada en la Fig. .3.9 como “reiteración del flujo”. Dicha reiteración nos asegura que la adopción y utilización de las medidas de seguridad, indicadas en la Etapa 6, no nos van a suponer la creación de nuevos errores y transgresiones determinados en la Etapa 4. De esta forma, se aclarará si estas medidas de seguridad favorecen la aparición de factores de Ergonomía y Organización susceptibles de derivar en acciones activas que provoquen el accidente.

Durante este mismo proceso de investigación también se ha observado la necesidad de crear la figura del “interlocutor válido”. Este interlocutor sería una persona que haría de nexo de unión entre el investigador y los testigos implicados, favoreciendo la transmisión de datos fidedignos para su posterior incorporación a los métodos empleados en la investigación del factor humano. Para que esta figura sea efectiva en los casos de siniestralidad marítima sería apropiado realizar un sondeo en el sector sobre la conveniencia de tener una persona asignada a tal efecto en cada capitanía marítima o entidad local responsable de la navegación marítima.

A pesar de ello, es interesante que esta persona asignada no pertenezca a dichas entidades de facto que hubiese sido formada a tal efecto y pudiese demostrar una objetividad contrastada al no estar implicada directamente en la actividad. En los casos de buques pertenecientes la flota pesquera esta persona puede pertenecer a las cofradías o entidades similares existentes en el resto de los países pertenecientes a la UE.

La utilización de plantillas estandarizadas se ha demostrado como poco dinámica. Por ello, la propia experiencia del investigador es la principal

herramienta a la hora de identificar las declaraciones intencionadamente subjetivas de los testigos a través del cotejo con documentos gráficos facilitados por los servicios de búsqueda y salvamento o por la información técnica facilitada por armadores y oficinas técnicas, por servicios meteorológicos (Tzamtzis, 2003) y de seguimiento de actividades pesqueras a través del AIS o VDR, etc...

A la hora de determinar los actos y condiciones peligrosas en la Etapa 3 del Método OIT/IMO se tendrán en cuenta especialmente lo indicado en las Enmiendas del capítulo VIII Guardias de Navegación haciendo hincapié en el incumplimiento de los requerimientos indicados anteriormente para reducir la fatiga, según el Convenio de Trabajo Marítimo de la OIT 2006.

Los datos obtenidos después de usar el proceso de la OIT/IMO adaptada, se podrán añadir a la EMCIP (European Marine Casualty Information Platform). Esta base de datos debe estar provista de una herramienta válida, utilizada para distinguir los resultados obligatorios incluidos en la plataforma desde junio de 2011. La posibilidad de agregar los informes de investigación en el campo común de intercambio de información europeo de medio ambiente, también debe ser considerada.

Utilizando el método adaptado para la identificación y clasificación de los errores humanos en los accidentes marítimos, a través del proceso de la OIT/IMO, se ha mejorado la investigación de los mismos. En particular se ha facilitado la posterior toma de las acciones necesarias encaminadas a aumentar la seguridad y reducir al mínimo el número de errores humanos, el fortalecimiento de las medidas preventivas y la fiabilidad humana, actúan sobre el sistema y el desarrollo de detectores tecnológicos en tiempo real.

Sirva esto como modesto tributo a todos los marineros gallegos y del resto del mundo que se han dejado su vida en el ejercicio de una actividad injustamente valorada y a la cual entre todos los implicados deberíamos ayudar a devolverles el orgullo que antaño ha tenido.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

5.1. Factor técnico

En la presente tesis doctoral se ha desarrollado un criterio de estabilidad intacta para buques menores de 24 metros. Para ello, se han tenido en cuenta los valores del GM, de la estabilidad dinámica a e_{70° , la altura de la ola crítica y el coeficiente meteorológico y oceanográfico de los caladeros en donde ejercerá el esfuerzo pesquero y los mares que tendrá que atravesar para llegar a ellos, como hemos dicho anteriormente. Todos han sido definidos en la actual tesis y se ha establecido la relación entre ellos necesaria para llegar a los dos parámetros principales, los coeficientes adimensionales SC y SC_{\min} .

En este sentido, los valores particulares del coeficiente adimensional SC de cada buque se han confrontado con los considerados como valores mínimos particulares para sus dimensiones. Estos valores mínimos, han sido definidos en esta tesis por medio del coeficiente adimensional SC_{\min} . Dicho coeficiente depende, en su mayor parte, de la eslora entre perpendiculares y la manga de cada buque y no de valores mínimos establecidos independientemente de las dimensiones principales de cada buque, como se hace hasta ahora en el marco jurídico actual.

En base a estas consideraciones iniciales, el presente estudio ha obtenido las siguientes conclusiones:

- Los resultados obtenidos permiten establecer como idóneo el hecho de definir nuevos criterios de estabilidad intacta cuyo desarrollo se haya realizado teniendo en cuenta la operatividad del buque, es decir, los movimientos a bordo según la SLF de la IMO para establecer criterios de estabilidad intacta de 2ª generación.
- Los buques pesqueros que hayan cumplido con este criterio y en cuya estabilidad inicial el GM en C_1 sea inferior al $C_{1\text{ límite}}$, han demostrado poseer un alto rango positivo de estabilidad residual (Range) y un máximo momento adrizante residual (RM_{\max}), por encima de los 40° en su gran mayoría. Es decir, se ha observado en ellos que los valores de ola máxima C_{WH} son más elevados, con lo que ello supone de reserva de estabilidad y por ende de seguridad a la hora de negociar mares adversos.

- Se ha observado que en los buques que cumplen el criterio de estabilidad intacta propuesto, el GM asociado al valor del $C_{1 \text{ límite}}$ corresponde a valores del periodo de balance moderados.
- Se ha constatado que todos los buques estudiados y que han sufrido un siniestro debido a carencias en su estabilidad, han zozobrado o quedado con la quilla al sol no cumplían el nuevo criterio de estabilidad intacta específico para buques menores de 24 m de eslora entre perpendiculares. Han sido muy pocos los buques que no cumpliendo el criterio propuesto no hayan sufrido ningún siniestro estando, por lo tanto, en una zona de incertidumbre que nos aconsejaría un estudio más detallado de sus condiciones de carga especialmente las operativas en el desarrollo de su actividad pesquera.
- En relación a los buques que no han cumplido el nuevo criterio y no han sufrido accidentes relacionados con la estabilidad intacta, se puede observar que se reduce su número a la mitad si les aplicamos el Coeficiente Meteorológico y Oceanográfico limitando su actividad y navegación a aguas protegidas, como podrían ser las de las rías de la CCAA de Galicia. Por todo ello, se propone seguir la premisa de limitar el esfuerzo pesquero del buque desde su etapa de proyecto, consiguiendo así adecuar las dimensiones principales del mismo a un ámbito razonable, en el cual las condiciones de estabilidad intacta hayan sido estudiadas teniendo en cuenta la relación de los valores adimensionales de SC y SC_{min} .
- También se ha concluido que estos cálculos pueden presentar problemas en caso de mar de popa, cuando la frecuencia de encuentro se aproxima a cerca de cero. Es por ello que resulta fundamental el realizar un estudio más detallado de los efectos del broaching y la caída de costado con mar de popa, para posteriormente ser implementado en dicho criterio.
- Se ha demostrado la necesidad de adaptar los criterios de estabilidad intacta actuales y sus parámetros fundamentales, así como los mínimos necesarios para cumplir con ellos, todo ello siguiendo las indicaciones de la SLF de la IMO para establecer criterios de estabilidad intacta de 2ª generación.

- Se ha confirmado la posibilidad propuesta de compensar una pequeña carencia de estabilidad inicial, con una mayor estabilidad dinámica a grandes ángulos o viceversa.
- Este trabajo de investigación debería complementarse, en un futuro, con un estudio específico sobre el desarrollo de un criterio específico de estabilidad con averías que, junto con el actual, pueda establecer una plataforma integral homogénea adaptada a las características particulares de la flota objeto de este estudio en condiciones meteorológicas y estados de la mar adversa.

En general, todas estas conclusiones nos permiten confirmar que la utilización del criterio de estabilidad intacta desarrollado en esta tesis doctoral permitirá aumentar la seguridad de las embarcaciones pesqueras menores, devolviendo de esta forma mínimamente a este sector lo mucho que este le ha dado a su autor.

5.2. Factor humano

Las principales conclusiones acerca del estudio del Factor Humano han sido:

- Se ha obtenido una serie sistemática de identificación del factor humano en la siniestralidad marítima, adaptada a las enmiendas de Manila 2010 al Convenio STCW78/95 y a su Código de Formación asociado. Utilizándose para ello los modelos que componen el Método OIT/IMO de investigación del factor humano (Alvite & De la Campa, 2011).
- Se ha identificado el factor Ergonómico y Organizativo como el principal factor causal de la siniestralidad marítima, siendo la Fatiga, el principal factor subyacente que, las provoca, por lo que se considera de vital importancia introducir lo indicado en los capítulos AVIII y BVIII de las enmiendas de Manila al Convenio STCW78, en el método de investigación indicado, según lo indicado en la Figura 3.11.
- El componente esencial en la Investigación de la siniestralidad marítima es la toma de datos y su posterior secuenciación, en nuestro caso esto se realiza en las Etapas 1 y 2 del Método OIT/IMO, para ello, es vital obtenerlos a la mayor brevedad posible y, principalmente, a través de entrevistas directas a los testigos implicados. Ya que a veces esto resulta imposible, sería necesario abrir un debate en el sector, sobre la conveniencia de que, en determinadas situaciones, una persona perteneciente a la tripulación del buque en el que, se ha producido el siniestro inicie la investigación lo que, evitaría la destrucción de pruebas útiles para la resolución del caso.
- Todo esto supondría la inclusión, de forma explícita, de un temario a tal efecto en los grados y másteres de formación en las Escuelas Técnicas Superiores de Náutica y Máquinas y los ciclos formativos Náutico Pesqueros.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

Álvarez-Casado, E; Tello Sandoval, S; Hernández Soto, 1998. Caracterización de la sobrecarga biomecánica en trabajadores de barcos pesqueros de cerco en bajura. Centro de Ergonomía Aplicada S.L. - Barcelona.

Alvite Castro, J; De la Campa Portela, 2011. The Human factor in the investigation of marine casualties, amendments to Manila STCW78/95 2010. International conference "Human actors in ship design & operation. RINA London.

Ayaz, Z., Vassalos, D. & Spyrou, K.J. 2006, "Manoeuvring behaviour of ships in extreme astern seas", *Ocean Engineering*, vol. 33, no. 17-18, pp. 2381-2434. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2005.10.023

Belenky, V., Sevastianov, N.B., Bhattacharyya, R., MacCormic, M.E., 2007. *Stability and safety of ships: risk of capsizing*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers. Editorial: Jersey City, NJ: (SNAME).

Bulian, G., 2012. IMO intact stability rules and nonlinear ship dynamics: an ongoing convergence.

Bulian, G. & Francescutto, A. 2004, "A simplified modular approach for the prediction of the roll motion due to the combined action of wind and waves", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, vol. 218, no. 3, pp. 189-212. DOI: 10.1243/1475090041737958

Bulian, G., Francescutto, A., 2006. Safety and operability of fishing vessels in beam and longitudinal waves. *Int. J. Small Craft Technol.*

Bulian, G., Francescutto, A., 2008. SAFEDOR benchmark on parametric roll - Brief description of the simulation methodology employed in the code SHIXDOF under development at DINMA, Internal Technical Report, Department DINMA, University of Trieste, Trieste, Italy.

Bulian, G. & Francescutto, A. 2011, "Effect of roll modelling in beam waves under multi-frequency excitation", *Ocean Engineering*, vol. 38, no. 13, pp. 1448-1463. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2011.07.004

Bulian, G., Francescutto, A., 2011. Considerations on Parametric Roll and "dead ship" Conditions for the Development of Second Generation Intact

Stability Criteria, Proc. 12th International Ship Stability Workshop, Washington, USA.

Bulian, G., Francescutto, A., Fucile, F., Cafagna, F., Genuzio, D.H., Maccari, A., 2010. Heeling moment in the alternative assessment of the Weather Criterion: direct experiments and numerical simulations, Proc. 4th International Maritime Conference on Design for Safety and 3rd Workshop on Risk-Based Approaches in the Marine Industries - Part I, Trieste, Italy, pp. 107-121.-

Bulian, G., Francescutto, A., Sinibaldi, M., 2012. Roll motion of a ship with low metacentric height in bi-chromatic beam waves, Proc. of the 11th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles (STAB2012), Athens, Greece, pp. 187-200.

Chun, H.H., Chun, S.H. & Kim, S.Y. 2001, "Roll damping characteristics of a small fishing vessel with a central wing", Ocean Engineering, vol. 28, no. 12, pp. 1601-1619. DOI: 10.1016/S0029-8018(00)00066-4

CIAIM, 2004. Informe sobre el hundimiento del pesquero NUEVO PILÍN en aguas del Cantábrico el 19 de Noviembre de 2004. Ministerio de Fomento.

CIAIM, 2006. Informe sobre el hundimiento del pesquero JOSÉ EL FRANCÉS en el litoral de Almería el 10 de Enero de 2006. Ministerio de Fomento.

CIAIM, 2009. Informe anual. Comisión permanente de investigación de accidentes e incidentes marítimos. Ministerio de Fomento. 2009. http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/CIAIM. (Fecha de acceso Enero 2017).

CIAIM, 2010. Informe anual. Comisión permanente de investigación de accidentes e incidentes marítimos. Ministerio de Fomento. 2010. http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/CIAIM. (Fecha de acceso Enero 2017).

CIAIM, 2011. Informe anual. Comisión permanente de investigación de accidentes e incidentes marítimos. Ministerio de Fomento. 2011. http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/CIAIM. (Fecha de acceso Enero 2017).

CIAIM, 2012. Informe anual. Comisión permanente de investigación de accidentes e incidentes marítimos. Ministerio de Fomento. 2012.

http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/CIAIM. (Fecha de acceso Enero 2017).

CIAIM, 2013. Informe anual. Comisión permanente de investigación de accidentes e incidentes marítimos. Ministerio de Fomento. 2013. http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/CIAIM. (Fecha de acceso Enero 2017).

CIAIM, 2014. Informe anual. Comisión permanente de investigación de accidentes e incidentes marítimos. Ministerio de Fomento. 2014. http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/CIAIM. (Fecha de acceso Enero 2017).

CPISM, 2006. Informe sobre el hundimiento del pesquero JOSÉ ALMUIÑA en el Océano Atlántico el 6 de Noviembre de 2008. Ministerio de Fomento.

CPISM, 2010a. Informe sobre el hundimiento, con pérdida de vidas, del buque pesquero O BAHÍA en el litoral de Galicia, cerca de las Islas Sisargas, el día 2 de junio de 2004. Ministerio de Fomento.

CPISM, 2010b. Informe sobre el hundimiento, con pérdida de vidas, del buque pesquero SIEMPRE CASINA en aguas del mar Cantábrico, el día 22 de febrero de 2005. Ministerio de Fomento.

CPISM, 2010c. Informe sobre el hundimiento del pesquero NUEVO PEPITA AURORA en el estrecho de Gibraltar el día 5 de septiembre de 2007. Ministerio de Fomento.

Dekking, F.M., Kraaikamp, C., Lopuhaä, H.P., 2005. A Modern Introduction to Probability and Statistics: Understanding Why and How, 1st ed. 2005. Corr. 2nd printing 2007 edition. ed. Springer, London.102.

EMSA, 2017. The European Maritime Safety Agency (EMSA). <http://www.emsa.europa.eu/>. (Acceso Enero 2017)

EU Comission, 1997. 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.

EU Comission, 1999. Directiva 1999/19/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.

European Commission, 2014. Facts and figures on the Common Fisheries Policy. Basic statistical data, 2012 edition.

FAO, 2001. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fisheries Circular No. 966. Safety at sea as an integral part of fisheries Management. ISBM: 0429-9329.

Francescutto, A., Serra, A., 2002. Experimental tests on ships with large values of B/T, OG/T and roll period, Proc. 6th International Stability Workshop, New York.

Francescutto, A. 2004, "Intact Ship Stability: The Way Ahead", Marine Technology, vol. 41, no. 1, pp. 31-37.

García Puente, N; Carro Martínez, P., 2010. Aspectos de seguridad en la pesca de bajura. INSH Centro Nacional de medios de protección Sevilla.

Gefaell-Chamochín, G., 2005. Algunas consideraciones sobre la estabilidad y seguridad de los buques pesqueros menores de 24 m de eslora (parte 1). Ing. Nav. 56–58.

Gefaell-Chamochín, G., 2005. Algunas consideraciones sobre la estabilidad y seguridad de los buques pesqueros menores de 24 m de eslora (parte 2). Ing. Nav. 45–48.

Gil De Egea, B; Calvo Holgado, P., 2003. Guía de factores humanos para la investigación de accidentes marítimos. Instituto de Investigación en Seguridad y Factores Humanos. (ESM).

Gudmundsson, A, 2009. Safety practices related to small fishing vessel stability. FAO Food and Agriculture Organisation, Rome, Italy, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 517.

Hawkins, 1987. Human factors in flight (2nd Ed.).

IMO, 1968a. 1968 IMO Resolution A.167(ES.IV). Recommendation on intact stability for passenger and cargo ships under 100 meters in length

IMO, 1968b. 1968. IMO Resolution A.168(ES.IV). Recommendation on Intact Stability of Fishing Vessels.

IMO, 1973. IMO Resolution A.268(VIII). Amendments to recommendation on intact stability of fishing vessels Appendix V – Recommended practice on portable Fish-hold Division (Resolution A.168(IV)).

IMO, 1991. IMO Resolutions A.685 (17). Adopted on 6 November 1991 (Agenda item 10). Weather Criterion for fishing vessels of 24 meters in length and over.

IMO, 1997. Resolution A.849(20), Adopted on 27 Nombember 1997 (Agenda item 11). Code for the investigation of marine casualties and incidents

IMO, 1999. Resolución A.884(21) aprobada el 25 de noviembre de 1999. Enmiendas al código para la investigación de los siniestros y sucesos marítimos (Resolución A.849(29)).

IMO, 2007. Circular MSC.1/Circ.1228. Revised guidance to the master for avoiding dangerous situations in adverse weather and sea conditions.

IMO, 2008. International Maritime Organization 2008. MSC.1/Circ.1281. Explanatory notes to the international code on intact stability.

IMO: International Code on Intact Stability, 2008 – 2009. Edition, 2009, ISBN 978-92-801-1506-2

IMO, 2009. Development of second generation intact stability criteria. Information collected by the intersessional Correspondence Group on Intact Stability (No. SLF 52/INF.2), Stability, load lines and fishing vessels Sub-committee. International Maritime Organization, London.

IMO, 2012. Datos sobre siniestros marítimos que deben presentar los Estados Miembros a la Organización (No. FSI 20/5/2), Flag State Implementation sub-committee. International Maritime Organization.

IMO MSC.1/Circ.1200, 2006. Interim Guidelines for Alternative Assessment of the Weather Criterion, London, UK

IMO SDC 1/5/3, 2013, “Development of Second Generation Intact Stability Criteria. Rpt. of the correspondence group on Intact Stability. Submitted by Japan”, London.

IMO SDC 1/Inf.6, 2013, Development of second-generation intact stability criteria. “Vulnerability assessment for dead-ship stability failure mode. Submitted by Italy and Japan”, London. Sub-committee on ship design and construction.

IMO SDC 1/Inf.8, 2013, “Information Collected by the Correspondence Group on Intact Stability. Submitted by Japan, Annex 7, Sample calculation

results of draft vulnerability criteria for parametric rolling, pure loss of stability and excessive accelerations”, London.

IMO SLF 54/INF.12-Annex 3, 2011. On the Consideration of Lateral Accelerations in Ship Design Rules, Submitted by Germany, (SLF54/INF.12 submitted by Japan)

IMO SLF54/WP.3, 2012. Report of the working group (part 1), IMO, London, UK

IMO SLF 55/Inf.15, 2012. “Information Collected by the Correspondence Group on Intact Stability. Submitted by Japan, Annex 22, Sample calculations for vulnerability criteria on pure loss of stability, Level 2”, London.

IMO SLF 55/WP.3, 2013, “Report of the Working Group (Part 1)”, London.

ISSGA, 2017. Instituto Galego de Seguridade e Saúde Laboral. <https://issga.xunta.es/portal/index.html> (Acceso Enero 2017)

ITTC, 2002. Specialist Committee on Prediction of Extreme Ship Motions and Capsizing - Final Report and Recommendations to the 23rd ITTC, Proc. 23rd ITTC, Venice, Volume II, pp. 619-748

ITTC, 2011a. Specialist Committee on Stability in Waves - Final Report and Recommendations to the 26th ITTC, Proc. 26th ITTC, Rio de Janeiro, Volume II, pp. 523-560

ITTC, 2011b. Recommended Procedures - Model Tests on Intact Stability - 7.5-02-07-04.1”, 20086. Shigunov, V., Rathje, H., El Moctar, O., Altmayer, B.: On the Consideration of Lateral Accelerations in Ship Design Rules, Proc. 12th International Ship Stability Workshop, Washington, USA.

Jaremin, B. & Kotulak, E. 2004, "Mortality in the Polish small-scale fishing industry", Occupational Medicine, vol. 54, no. 4, pp. 258-260. DOI: 10.1093/occmed/kqh054

Lincoln, J., Lucas, D., 2010. Commercial fishing deaths—United States, 2000-2009. CDC. <https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5927a2.htm>. (Acceso Enero 2017)

Lloyd, A.R.J.M., 1989. Seakeeping: Ship behavior in rough weather. Ellis Horwood Limited, Market cross House, Cooper Street, Chichester, West Sussex, PO19 1EB, England.

Loughran, C.G., Pillay, A., Wang, J., Wall, A., Ruxton, T., 2002. A preliminary study of fishing vessel safety. *J. Risk Res*, vol. 5, pp. 3–21. DOI: 10.1080/136698702753329135103.

MAIB, 2017. Marine Accident Investigation Branch (MAIB). <https://www.gov.uk/government/organisations/marine-accident-investigation-branch>. (Accessed January 2017).

Mata Alvarez-Santullano, F., 2014. PhD “Fishing effort control regulations influence on stability, safety and operability of small fishing vessels: study of a series of stability related accidents occurred in Spain between 2004 and 2007”.

Mata-Álvarez-Santullano, F. & Souto-Iglesias, A. 2014, "Stability, safety and operability of small fishing vessels", *Ocean Engineering*, vol. 79, pp. 81-91. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2014.01.011

Míguez González, M., 2012. A study of ship parametric roll resonance for the evaluation of preventive strategies. PhD Thesis, Universidade da Coruña.

Míguez González, M., Sobrino, P.C., Álvarez, R.T., Casás, V.D., López, A.M. & Peña, F.L. 2012, "Fishing vessel stability assessment system", *Ocean Engineering*, vol. 41, pp. 67-78. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2011.12.021

Míguez-González, M., Díaz-Casás, V., Pérez-Rojas, L., Junco, F., Pena, D. 2014. Application of Second Generation IMO Intact Stability Criteria to Medium–Sized Fishing Vessels. *Proceedings of the 2014 International Ship Stability Workshop*, Kuala Lumpur.

Míguez González M., Díaz Casás V., Pérez Rojas L., Pena Agras D., Junco Ocampo F.. 2015. Investigation of the Applicability of the IMO Second Generation Intact Stability Criteria to Fishing Vessels. 2015. *Proceedings of the 12th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles*, 14-19 June 2015, Glasgow, Scotland, UK.

Military Agency for Standardization, NATO, 1983. Standardized wave and wind environments and shipboard reporting of sea conditions (No. 4194), STANAG.

MSC.255(84) International Maritime Organization 2008. Resolution MSC.255(84) (adopted on 16 May 2008) Adoption of the Code of the

International standards and recommended practices for a safety investigation into a marine casualty or marine incident (casualty investigation code).

MSC/circ.621 Guidelines for the investigation of accidents where fatigue may have been a contributing factor.

Nechaev, Y. 2011. Evolution of Analysis and Standardization of Ship Stability: Problems and Perspectives. Contemporary Ideas on Ship Stability and Capsizing in Waves. Vol. 97 of the series Fluid Mechanics and Its Applications. pp 79-102.

Neves et al. 2005. Neves, M. A. S., Rodríguez, C. A., Cipriano, W. M., 2005 "ITTC Benchmark. Evaluación de códigos numéricos para estabilidad intacta: Estudio de la zozobra de un pesquero rápido de cerco en mar de popa", Copinaval 2005, Guayaquil, Ecuador.

Núñez Sánchez, M. 2009, "Gestión de la norma de estabilidad de embarcaciones de pesca menores de 24 metros tomando como referencia reconocimientos, siniestros marítimos y estándares internacionales vigentes",

O'Dogherty, 1969. "Informe pericial sobre las causas del hundimiento del moto-pesquero "Cruz II".

O'Dogherty Sanchez, P., 2009, PhD "Seguridad del Buque Pesquero, Estabilidad y Comportamiento en la Mar".

Paroka, D. & Umeda, N. 2006, "Prediction of capsizing probability for a ship with trapped water on deck", Journal of Marine Science and Technology, vol. 11, no. 4, pp. 237-244. DOI: 10.1007/s00773-006-0223-8

Paroka, D. & Umeda, N. 2007, "Effect of freeboard and metacentric height on capsizing probability of purse seiners in irregular beam seas", Journal of Marine Science and Technology, vol. 12, no. 3, pp. 150-159. DOI: 10.1007/s00773-007-0247-8

Perez-Labajos, C. 2008, "Fishing safety policy and research", Marine Policy, vol. 32, no. 1, pp. 40-45. DOI: 10.1016/j.marpol.2007.04.002

Perez-Labajos, C.A. 2012, "Analysis of inequalities between the fishing capacities of the fleets of the european union", Marine Policy, vol. 36, no. 3, pp. 630-635. DOI: 10.1016/j.marpol.2011.10.019

Perez-Labajos, C., Azofra, M., Blanco, B., Achutegui, J. & González, J. 2006, "Analysis of accident inequality of the Spanish fishing fleet", Accident

Analysis and Prevention, vol. 38, no. 6, pp. 1168-1175. DOI: 10.1016/j.aap.2006.05.007

Perez-Labajos, C.A., Blanco, B., Azofra, M., Achutegui, J.J. & Eguía, E. 2009, "Injury and loss concentration by sinkings in fishing fleets", Safety Science, vol. 47, no. 2, pp. 277-284. DOI:10.1016/j.ssci.2008.03.005

Peters, W.S., Belenky, V., Bassler, C., Spyrou, K., 2011. On Vulnerability Criteria for Parametric Roll and Surf-riding, Proc. 12th International Ship Stability Workshop, Washington, USA.

Rahola, J., 1939. The judging of the stability of ships and the determination of the minimum amount of stability especially considering the vessels navigating Finnish waters. Helsinki.

Rasmussen, J., 1987. The definition of human error and a taxonomy for technical system design. Rasmussen, K. Duncan, and J. Leplat (Eds.), Toronto: John Wiley & Sons.

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 (L).

Reason, J., 1990. Human error. New York: Cambridge University Press.

Reed, A.M., 2009. A Naval Perspective on Ship Stability, Proc. 10th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles (STAB2009), St.Petersburg, pp.21-44.

Riveiro Domínguez ,P., 2001. A pesca responsable na baixura. Xunta de Galicia.

SLF52/WP.1-Annex 2, 2010. Preliminary Specifications for the New Generation Intact Stability Criteria, 28, London, UK

SLF54/INF.12, 2011. Information collected by the intersessional Correspondence Group on Intact Stability, Submitted by Japan, London, UK

SLF54/INF.12-Annex 21, 2011. United States view on direct stability assessment procedures, Submitted by the United States.

SLF54/INF.12-Annex 22, 2011. Comments on the United States Submission for Direct Stability Assessment Procedures, Submitted by Japan.

Spanos, D., Papanikolaou, A., 2009. SAFEDOR International Benchmark Study on Numerical Simulation Methods for the Prediction of Parametric Rolling of Ships in Waves, Revision 1.0.

STCW 78/95, 2010. International Convention on Standards of Training Certification and Watchkeeping - Manila amendments 2010.

Tello, M., Ribeiro E Silva, S. & Guedes Soares, C. 2011, "Seakeeping performance of fishing vessels in irregular waves", *Ocean Engineering*, vol. 38, no. 5-6, pp. 763-773. DOI:10.1016/j.oceaneng.2010.12.020.

Torremolinos International Convention for the Safety of Fishing Vessels. <http://www.imo.org/en/About/conventions/listofconventions/pages/the-torremolinos-international-convention-for-the-safety-of-fishing-vessels.aspx>. 2012. (Acceso Enero 2017).

Tzamtzis, S, 2003. Development and testing of a procedure for the alternative assessment of Weather Criterion on experimental basis, Diploma Thesis, University of Trieste and National Technical University of Athens, Academic.

Umeda, N., Izawa, S., Sano, H., Kubo, H., Yamane, K., Matsuda, A. 2011. Validation Attempts on Draft New Generation Intact Stability Criteria, Proc. 12th International Ship Stability Workshop, Washington, USA.

Vickery, B.J., 1968. Load Fluctuations in Turbulent Flow. *J. Eng. Mech. Div., Proc. ASCE* 94, 31–46.

Wagner, B., 2006. Inspection of labour conditions in merchant ships and fishing vessels. Senior Maritime specialist, ILO Geneva.

Wang, J., Pillay, A., Kwon, Y.S., Wall, A.D. & Loughran, C.G. 2005, "An analysis of fishing vessel accidents", *Accident Analysis and Prevention*, vol. 37, no. 6, pp. 1019-1024. DOI:10.1016/j.aap.2005.05.005

Wolfson Unit. Deaking, B., 2004, "Development of simplified stability and loading information for fishermen".

Wolfson Unit. Deaking, B., 2010, "Collating evidence for a universal method of stability assessment or guidance"

Wolfson Unit. Research Project 530, 2004, "Simplified presentation of fishing vessels stability information". Phase 1. Final Report,

Wolfson Unit. Research Project 560, 2006, "Simplified presentation of fishing vessels stability information for vessels 12 m registered length over". Phase II.

Womack, J. 2003, "Small commercial fishing vessel stability analysis: Where are we now? Where are we going?", Marine Technology, vol. 40, no. 4, pp. 296-302.

Womack, J., Johnson, B. 2003, A Guide to fishing vessel stability. SNAME.

**PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA
TESIS**

PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS

A pesar de existir varios textos derivados de esta tesis en proceso de revisión en revistas del más elevado impacto (JCR), en la presente sección se muestra una de las publicaciones ya aceptada y defendida en persona por el autor de esta tesis en la "International Conference Human Factor in ship design and operation" durante el 16-17 de Noviembre de 2011 en Londres (UK).

THE HUMAN FACTOR IN THE INVESTIGATION OF MARINE CASUALTIES, AMENDMENTS TO MANILA STCW78/95 2010

ABSTRACT

Due to the rebound experienced by maritime accidents in 2010, the investigation of marine casualties requires information on the human factor, particularly in the organizational factors and ergonomics. This study was carried out to develop a systematic series of actions to implement the method ILO / IMO, based on amendments to STCW78 Manila 2010. The result serves to facilitate the identification and sequencing of acts or dangerous decisions that have been involved in the development of maritime casualty as well as the underlying factors behind them. The aim is to finally determine the existing safety problems and to develop appropriate corrective measures and their inclusion in the "European Maritime Casualty Information Platform" (EMCIP).

1. INTRODUCTION

Technological advances in maritime sector have been incorporated to the different fleets in a very dynamic way, while human element has remained in a static position as a basic component, with all its virtues and defects. In past times safety was reached by two ways: implementing technological and engineering solutions to improve safety and to minimize the consequences of maritime accidents, and through safety legislation on ships project and equipment requirements. However and despite of the technical innovations, maritime casualties and incidents are still happening.

At first, maritime accidents investigations used to attribute almost the whole accident responsibility to crew and shore personnel. This implies that individual factor was considered be the main causal factor. However when maritime accidents investigations were made in depth, it was reached the conclusion that, in the worst case, 80% of maritime accidents are due to, among other causal factors, work organization and ergonomic problems.

So, work organization and ergonomics seem to be the main causes of human error, defined by International Maritime Organization (IMO) as: "A departure from acceptable or desirable practice on the part of an individual or group of individuals that can result in unacceptable or undesirable results" [1]

On the other hand, in 2010, an in depth revision on 78/95 International Convention on Standards of Training Certification and Watchkeeping (STCW 78/95)[3] was made. The amendments resulted from this revision should be added to the whole of acting elements involved in maritime accidents development and, of course, in their subsequent factual investigation.

In 2010 the rate of fatal accidents in Europe experienced an increase of 17% compared with 2009 one, as it is shown in Figure 1.

Lives Lost by Ship Type	2007	2008	2009	2010
Cargo Ships	20	24	19	17
Tankers	3	9	2	5
Container Ships	0	2	1	0
Passenger Ships	10	6	4	7
Fishing Vessels	31	30	16	20
Other Vessel Types	18	11	10	12
Total	82	82	52	61

Figure 1. EMSA. Maritime Accident Review 2010

This Figure also shows that fishing sector is the subsector with higher fatal accidents rate, accounting 33% over the whole. Spain Northwest region (Galicia) has one of the biggest fishing fleet in Europe [6]. 40% of fatal accidents in fishing sector happened in Galician fleet, so we consider Galician fleet data on maritime accidents as significant in European field.

Injury degree	Slight	Serious	Death
2009	1204	42	8
2010	1256	59	8
2011 (July)	673	25	4

Figure 2.ISSGA. Number of accidents in Galician fishing fleet.

We can see, from data in Figure 2, an increase in the number serious accidents. The long term effects of such accidents prevent the return of workers to their jobs [7]. This breakdown in the downward trend, with an increase of 28% on ships involved in accidents and 17% on deaths in 2010, leads us to conclude that maritime accidents investigation needs a new development on its more important element, human factor, especially on the more frequent incidence factors: work organization and ergonomics [8].

	2007	2008	2009	2010
Sinkings	55	61	28	32
Collision/Contacts	304	308	292	288
Groudings	197	217	177	143
Fires/Explosions	91	89	67	83
Other	115	79	62	98
Total	762	754	626	644

Figure 3.Number of vessels involved in accidents

EMSA. Maritime Accident Review 2010

Figure 3 shows that collisions are the maritime casualties with higher number of ships involved, followed by groundings. This gives us the approximate value of one life lost every 9.5 ship accidents in European Union.

In this article the systematic and gradual ILO/IMO process for human factors investigation and the models used for identification and sequence of events are improved through a systematic series of actions and dispositions mainly based on 2010 Manila amendments to STCW 78/95 Convention. The ILO/IMO process was chosen because it includes the models used by the most important Maritime Accident Investigation Committees, such as British Maritime Accident Investigation Branch, North American Coastguard and the European Maritime Safety Agency.

The resulting models, once optimization is done, are updated following the current legislation and could be added to maritime accidents investigation methodology; so that it is obtained a substantial improvement of aforementioned process and the possibility of extrapolate it to other models used in the future.

2. MATERIALS AND METHODS

We take as a starting point that every maritime accident is due to a series of circumstances and actions. On this multi-causality basis we can classify an accident in accordance with its main causal factor: technical factor or human factor.

The material circumstances or conditions that can lead to an accident are known as technical factors. On the other hand human factors bring together factors, circumstances and conditions that can influence, in a positive or negative way, seafarers behaviour and reliability. These factors are related to individual characteristics, ergonomics and work organization that are the basis of maritime transport.

Human Factors consist of personal factors and social factors [9]. Personal factors in turn consist of individual factors, and work organization and ergonomic factors. The former ones are such as age, physical and mental condition, training and experience, competence to face risk and to team work and, mainly, stress and fatigue [2]. Work organization and ergonomic factors are, among others, ergonomic design of equipment and instruments, working and rest hours, workload, division of tasks and responsibilities, complexity of tasks and maintenance management.

Social or Environment factors are, among others, temperature, noise, visibility, vibration, weather and sea conditions.

Another classification of maritime accidents attending the starting causes could be:

- Root causes:
 - Personal factors: inadequate training and certification, physical or mental impairment, fatigue and stress.
 - Working factors: inadequate regulation and poor maintenance.
- Immediate causes:
 - Unsafe actions: to do task without certification, training and/or adequate protection equipment.
 - Unsafe conditions: the lack of protection equipment, noise and vibration.

In addition, STCW78/95 Convention and Code establishes in detail the required skills to develop several tasks, the level of knowledge and understanding required to perform such tasks, the methods to demonstrate competence and criteria to assess it.

Following the Manila amendments to STCW 78/95 are listed and summarized.

PART A

Chapter I. General provisions

- Increase of safety measures related to training certificates. An electronic register tool to be accessed by Parties in a controlled and safe way could be used to verify seafarers' identification, training and medical data, allowed functions and limitations.
- Training and assessment processes shall be done by qualified personnel. Reports containing measures adopted by Member States to give full effectiveness to the Convention should be prepared.
- Standards related to medical fitness for seafarers.

Chapter II. Master and deck department

- Mandatory minimum requirement for certification of masters, deck officers and ratings forming part of a navigational watch, related to celestial navigation, automatic radar plotting aids and radar requirements.
- Training for maritime environment awareness. Leadership and team work.
- Training related to vessel traffic services.

Chapter III. Engine department

- Requirements for coastal navigation.
- Training requirements for Electro-technical officers.
- Training for maritime environment awareness. Leadership and teamworking skills
- Updating of engineers competence
- Requirements for engineroom ratings certification.

Chapter IV. Radiocommunication and radio operators

- The Radio Operators Services are updated to reflect current regulations. The International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual (IAMSAR) is mentioned.

Chapter V. Special training requirements for personnel on certain types of ships

- Mandatory minimum requirements for the training and qualifications of personnel on oil and chemical tankers, and liquefied gas tankers.
- Mandatory minimum requirements for the training and qualifications of personnel on passenger ships

Chapter VI. Emergency, occupational safety, security, medical care and survival functions.

- New requirements to maintain professional competence in areas where training can not be done on board.
- New requirements for security training and dispositions to guarantee that seafarers are properly trained to face a piracy attack.

Chapter VII. Alternative certification

- Changes done to other Chapters are mentioned, even the additional requirements for ratings certification and specifications for approved deep sea services.
- Training required to certificate candidates to several functions at the support level.

Chapter VIII. Watchkeeping

- Harmonization of rest hours with ILO 2006 Convention on Maritime Work requirements with the aim of reducing fatigue and to assure watchkeeping capability.

- Updated and extended requirements on working and rest hours.
- New requirement for alcohol and drug abuse prevention.

PART B “Recommended guidance regarding provisions of the STCW Convention and its Annex”

This part of the STCW Code contains recommended guidance intended to assist Parties to the STCW Convention and those involved in implementing, applying or enforcing its measures, among others:

- Specific training on Electronic chart display units and simulators.
- Prevention of alcohol and drug abuse on board.
- Implementation of online training methodology.

Within the framework of tacit acceptance procedure, 2010 Manila amendments will enter into force on 1 January 2012. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for fishing vessels personnel (STCW-F 95) will enter into force on 29 September 2012.

As central part of this article, the adjustment of the IMO/ILO process for investigation human factors to 2010 Manila amendments was made. The results of such an adjustment are detailed below.

3. RESULTS

Within the purposes of this study it is necessary to give priority to methods for maritime accidents investigation that allow to clarify if work organization and ergonomic factors were causal factors in the accident. The most advisable method is the ILO/IMO process for investigating human factors due to the step-by-step systematic approach given to the investigation. The process steps are linked to each other as it is shown in Figure 4.

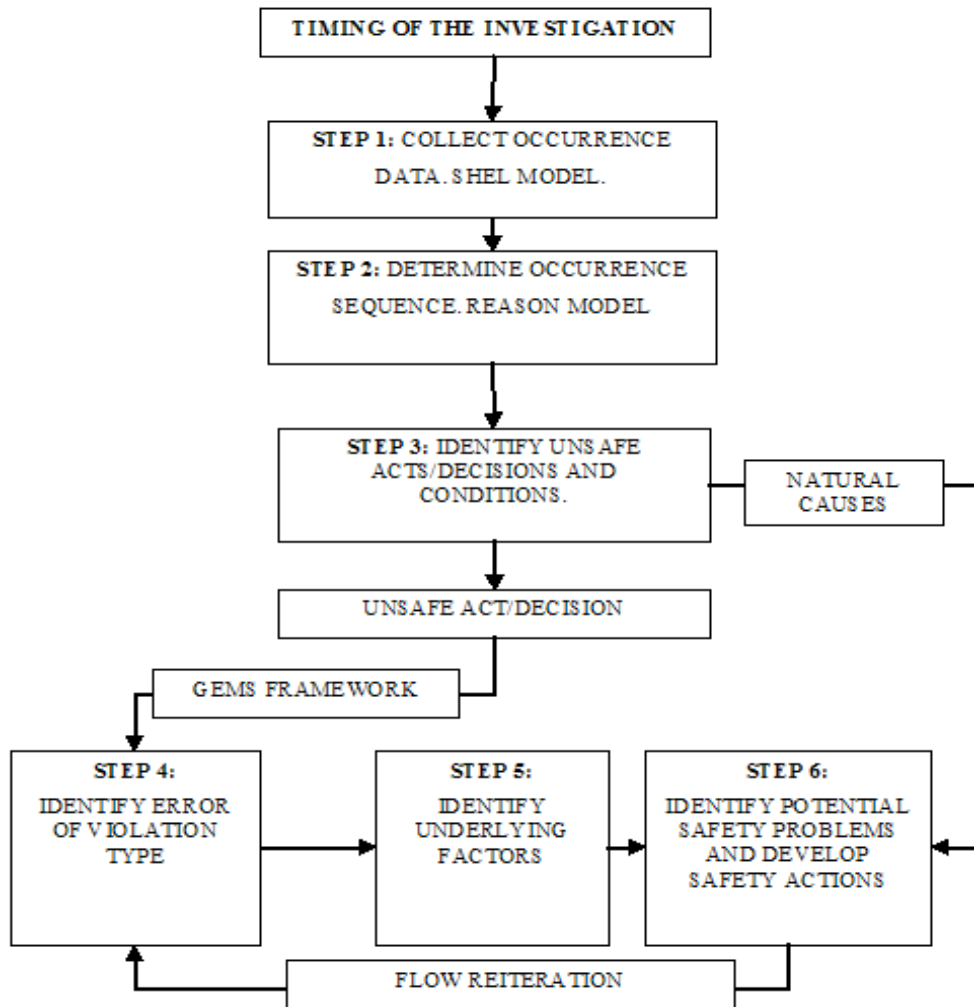


FIGURE 4. THE ILO/IMO PROCESS FOR INVESTIGATING HUMAN FACTORS.

The results obtained from the adaptation of each step of ILO/IMO process to 2010 Manila amendments to STCW 78/95 Convention are following detailed.

Step 1 and 2: Collect occurrence data and determine occurrence sequence.

The first step in the human factors investigation process is the collection of work-related information regarding the personnel, tasks, equipment, and environmental conditions involved in the occurrence using SHEL model (Figure 5).

The figure of “elected delegate” should be established between the investigator and witnesses to help trustworthy data transmission. SHEL model can be combined with REASON model of accident causation to develop and occurrence sequence [4] [5].

**COMPONENTS TO THE
SHEL-REASON MODEL**

STCW 78/95 AMENDMENTS

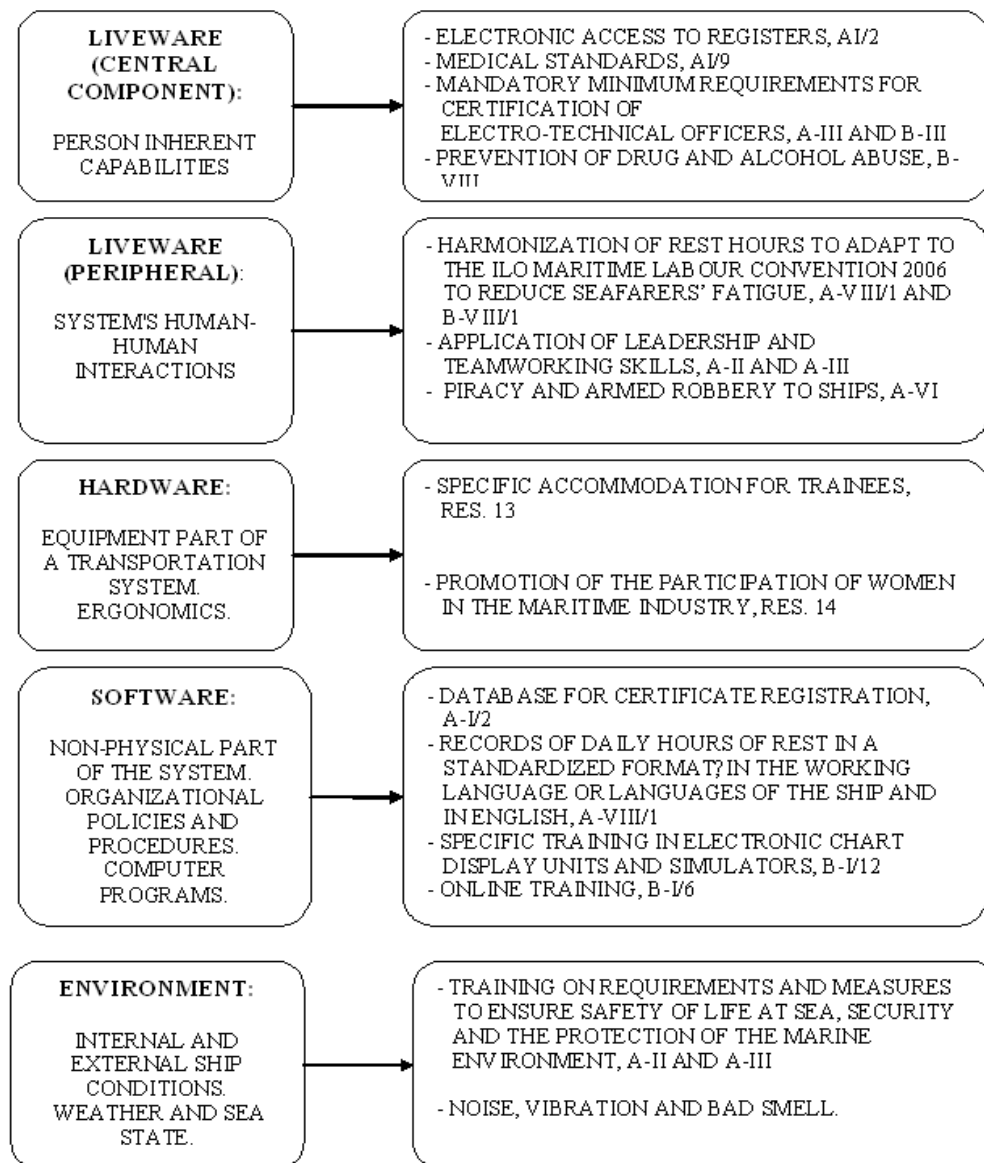


FIGURE 5. SHEL-REASON. OBJECTIVE: TO ASSEMBLE AND SEQUENCE INFORMATION OF THE INCIDENT

The occurrence sequence is developed by arranging the information regarding occurrence events and circumstances around one of five production elements, i.e., decision makers, line management, preconditions, productive activities, and defence. At the same time the concept of active versus latent or underlying factors is introduced.

Active factors are the final events or circumstances which led to and occurrence. Within the objectives of this article, active factors specified in 2010 Manila amendments to STCW 78/95, such as drug and alcohol abuse, medical standards, etc., should be added to usual ones.

Underlying factors may reside at both the personal and the organizational levels; they may be present in the conditions that exist within a given work system. Examples of latent factor are: inadequate rules and procedures, insufficient training, high workload and undue time pressure.

Latent factors came from 2010 Manila amendments should be included: harmonization of rest hours to reduce fatigue, application of leadership and teamworking skills, specific training on electronic chart display units, etc. It would be very interesting to the investigator to have the possibility of accessing to electronic certificate registration, specified in Chapter A-1/2 of amended STCW 78/95, and to EMSA STCW Information System which is nowadays in its second phase of development.

Step 3 – Identify unsafe acts/decisions and conditions

In step 3 of the process, the information gathered and organized using the SHEL and Reason frameworks is used to initiate identification of causal factors, i.e., unsafe acts/decisions and conditions.

An unsafe act is defined as an error or violation that is committed in the presence of a hazard or potential unsafe condition. Decisions where there are no apparent resultant actions but which have a negative impact on safety should also be considered as unsafe acts.

An unsafe condition or hazard, as noted above, is an event or circumstance that has the potential to result in a mishap. Once an unsafe act, decision or condition has been identified, the next stage is to determine the genesis of that particular act or condition.

The last unsafe act precipitating the occurrence often provides a convenient starting point for reconstruction of the occurrence.

Step 4 – Identify error or violation type

This portion of the process is initiated for each unsafe act/decision by posing the simple question "What is erroneous or wrong about the action or decision that eventually made it unsafe?".

Figure 6 shows the GEMS framework adapted to 2010 Manila amendments to STCW 78/95.

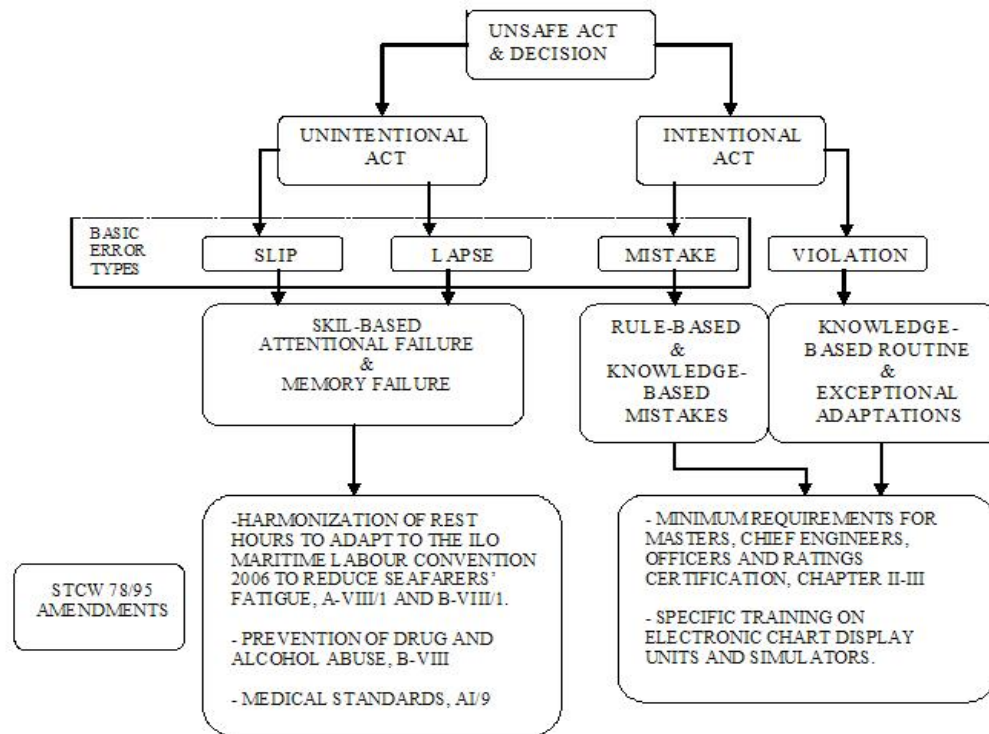


FIGURE 6. GEMS FRAMEWORK ADAPTED TO 2010 MANILA AMENDMENTS TO STCW78/95

Step 4 involves two sub-steps:

- Sub-step 1. Unintentional or intentional action. First it is necessary to determine whether the error or violation was an unintentional or intentional action. Unintentional actions are actions that do not go as planned; these are errors in execution. On the other hand intentional actions are actions that are carried out as planned but the actions are inappropriate; these are errors in planning.

- Sub-step 2. Error type or violation. The second sub-step is the selection of the error type or violation that best describes the failure, keeping in mind the decision regarding intentionality. There are four potential error/violation categories, i.e., slip, lapse, mistake and violation. A slip is an unintentional action where the failure involves attention. These are errors in execution. A lapse is an unintentional action where the failure involves memory.

These are also errors in execution. A mistake is an intentional action, but there is no deliberate decision to act against a rule or plan. These are errors in planning. A violation is a planning failure where a deliberate decision to act against a rule or plan has been made. Routine violations occur everyday as people regularly modify or do not strictly comply with work procedures.

Step 5 – Identify underlying factors

In this step the investigator attempts to reveal the relationship between the occurrence errors/violations and the behaviour that lead to them. Such behaviour consists of a decision and an action or movement. In step 3, the action or decision was identified. In step 4, what was erroneous regarding that action or decision was revealed. In step 5, the focus is on uncovering the underlying causes behind the act or decision of an individual or group. Among the underlying causes special mention should be made to those contained in 2010 Manila amendments to STCW 78/95 Convention. Underlying causes of particular importance are those that could make easier the removal of factors that led to working system failure, such as fatigue, noise, vibration and bad smell. These factors are known as underlying factors. They can be found by examining the work system information collected and organized using the SHELL or Reason frameworks in steps 1 and 2.

Step 6 - Identify potential safety problems and develop safety actions

Once underlying factors and safety problems are identified an exhaustive list of safety actions should be developed. These measures have to be implemented over the fleet with the aim of reducing to a minimum the possibility of recurrence. One of the main tasks of Occupational Risk Prevention legislators is to avoid accident repetition. With the goal of an effective implementation, these safety actions have to be economically feasible whether for the inherent saving derived from their use, or with the help of specific grant actions.

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

A step by step systematic method to the identification of human factors in maritime accidents was obtained. This method is adapted to 2010 Manila amendments to STCW 78/95 Convention and Code. Models from ILO/IMO process for investigating human factors were used.

Ergonomics and work organization factors were identified as the main causal factors in maritime accidents, and fatigue is the main underlying factor that leads to such accidents. So it is of vital importance to introduce Chapters AVIII and BVIII of Manila amendments to STCW 78/95 into the accident investigation method, as it is shown in Figure 5.

The main steps in maritime accident investigation are to collect occurrence data and to determine occurrence sequence, which are Steps 1 and 2 in ILO/IMO process for human factors investigation. Occurrence data should be obtained as soon as possible mainly interviewing witnesses directly. Sometimes this direct interview is not possible, so it seems interesting to consider if it would be advisable to allow a crew member to start the investigation in some particular cases, avoiding the destruction of evidences that could be used to clarify accident causes. At the same time it would be necessary to train some crew members in maritime accident investigation

techniques, including this knowledge in maritime education and training curriculum.

The figure of “elected delegate” should be established between the investigator and witnesses to help trustworthy data transmission. Such data should be later incorporated to methods used in human factors investigation. Regarding this elected delegate and with the aim of being an effective figure in maritime accident investigation it seems interesting to consider if it would be advisable to have an appointed person in each Harbour Master’s Office or local body in charge of maritime navigation. This delegate must be trained in maritime accidents investigation. At the same time this person must be independent so that he could demonstrate full objectivity. In the case of fishing ships this figure could be a member of fishermen associations. EMSA STCW Information System on seafarers certificates issued in European Union should be used to obtain information on crew members involved in maritime accidents in a dynamic and accurate way.

The use of standardized forms has been demonstrated to be not dynamic enough. The investigator experience seems to be the main tool to identify not accurate statements given deliberately by witnesses, through the comparison between such statements and documentary evidence provided by search and rescue services, technical information provided by owners and technical offices, and other information provided by weather information services and fishing activities monitoring services.

Chapter VIII on watchkeeping of 2010 Manila amendments should be taken into account to establish unsafe acts/ decisions and conditions in Step 3 of ILO/IMO process for investigating human factors. The failure to comply with fatigue reduction requirements according to ILO 2006 Convention on Maritime Work should be highlighted.

The “Flow reiteration” mentioned in Figure 4 is considered a very important tool. This flow reiteration guarantees that the adoption and use of safety measures advised in Step 6 will not mean the appearance of new errors and violations determined in Step 4. This process will clarify if such safety measures help the appearance of ergonomics and work organization factors which could result in active actions that lead to an accident.

The use of the systematic method described in this article can be directly applied to investigation of maritime accidents happened on board cargo and passenger ships because in this kind of ships the working and living on board methodology is better developed and introduced than in other kind of ships[11]. However this method should be adapted to every particular occurrence in fishing sector[10] because the specific characteristics of this sector make human factors identification very difficult.

Data obtained after using adapted ILO/IMO process, described in this article, could be added to the European Marine Casualty Information Platform. For that purpose this database should be provided with a valid tool used to distinguish the results compulsory included in the platform since June 2011.

The possibility of adding the investigation reports in the European Common Information Sharing Environment should be considered.

Using the method described in this article the identification and classification of human errors in maritime accidents through ILO/IMO process is improved to subsequently take the necessary actions aimed to increase safety and to minimize the number of human errors, strengthening preventive measures and human reliability, acting on the system and developing technological detectors in real time.

5. REFERENCES

1 OMI resolution A.849(20), OMI 884(21) Resolution Code for the investigation of marine casualties and incidents, and amendments to the code for the investigation of marine casualties and incidents. And MSC.255(84) ADOPTION OF THE CODE OF THE international standards and recommended practices for a safety investigation into a marine casualty or marine incident (casualty investigation code).

2 MSC/circ.621 Guidelines for the investigation of accidents where fatigue may have been a contributing factor.

3 International Convention on Standards of Training Certification and Watchkeeping (STCW 78/95).

4 Reason, J. (1990). Human error. New York: Cambridge University Press.

5 Rasmussen, J. (1987). The definition of human error and a taxonomy for technical system design. Rasmussen, K. Duncan, and J. Leplat (Eds.), Toronto: John Wiley & Sons.

6 Riveiro Domínguez ,P. (2001): A pesca responsable na baixura. Xunta de Galicia.

7 Álvarez-Casado, E; Tello Sandoval, S; Hernández Soto(1998);Caracterización de la sobrecarga biomecánica en trabajadores de barcos pesqueros de cerco en bajura. Centro de Ergonomía Aplicada S.L. - Barcelona.

8 Louro Rodríguez, J. "Trabajo a bordo y siniestralidad laboral: condiciones de seguridad y salud en los buques mercantes. Universidade da Coruña.

9 Gil De Egea, B; Calvo Holgado, P (2003): Guía de factores humanos para la investigación de accidentes marítimos. Instituto de Investigación en Seguridad y Factores Humanos. (ESM)

10 García Puente, N; Carro Martínez, P. (2010): Aspectos de seguridad en la pesca de bajura. INSH Centro Nacional de medios de protección Sevilla.

11 Wagner, B. (2006): Inspection of labour conditions in merchant ships and fishing vessels. Senior Maritime specialist, ILO Geneva.