

1999

Ignacio Sanchidrián Vidal

---

*Consideración de los riesgos accidentales  
en los métodos de dimensiones de las áreas  
de navegación y flotación*



# Consideración de los riesgos accidentales en los métodos de dimensiones de las áreas de navegación y flotación

Ignacio Sanchidrián Vidal

El presente trabajo está dedicado fundamentalmente al estudio de los Riesgos Accidentales derivados de la navegación y estancia de los buques en los canales, Accesos y Áreas de Flotación de los Puertos, estableciendo una metodología que permita el estudio sistemático de los mismos y el establecimiento de medidas correctoras de respuesta que mejoren la seguridad, ya se trate de procedimientos operativos o de modificaciones en el diseño y dimensionamiento de estas Áreas o de una combinación de ambas.

Para la realización de este trabajo se ha partido de un análisis previo de los Métodos de Dimensionamiento que más habitualmente puedan emplearse en España, concretamente la ROM 3.1-99 "Proyecto de la configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación" de Puertos del Estado, cuya publicación ya se ha efectuado y que por mis particulares circunstancias profesionales vengo utilizando desde que está en versiones cuasi definitivas, y las Recomendaciones del PIANC recogidas en varias de sus monografías y muy especialmente en la denominada "Approach channels. A guide for design" que se adjuntaba al Boletín nº 95. Esta primera parte del análisis la he dedicado también a hacer un estudio comparativo de los diferentes procedimientos, resaltando las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos, aunque no es esta la finalidad principal del trabajo como ya quedó anteriormente expuesto.

También he recogido brevemente los resultados obtenidos en un caso concreto en el que se aplicaron los dos métodos de la ROM 3.1, determinístico y semiprobabilístico y se compararon con la metodología del PIANC, presentación que considero interesante en la medida que es una de las primeras aplicaciones prácticas de los métodos estadísticos especificados en el procedimiento semiprobabilístico de la ROM 3.1.



Del análisis de los diferentes sistemas de dimensionamiento se detectó que el estudio de Riesgos Accidentales no estaba tipificado en ninguno de ellos, conteniendo ambos una referencia general a posteriores estudios de detalle orientados fundamentalmente a la implantación de procedimientos operativos. El establecimiento de una sistemática de análisis de estos Riesgos Accidentales que permita la valoración de los mismos y las posibles medidas correctoras, es el contenido fundamental de este trabajo.

Para ello se ha partido de una primera identificación de los supuestos de fallo que pudieran presentarse en las operaciones náuticas y del establecimiento de una Matriz de Evaluación, que permitiese valorar las consecuencias del fallo, así como las de cualquier medida correctora que pudiera establecerse al respecto.

Posteriormente se ha procedido a analizar las posibles maniobras de respuesta que pudieran aplicarse en los diferentes supuestos de fallo, para lo que se ha recurrido al empleo de maniobras habituales de emergencia recomendadas por la Organización Marítima Internacional (OMI), lo que permite trabajar con procedimientos de uso habitual por la tripulación de los buques, lo que haría fácilmente particularizable las conclusiones de los estudios de Riesgo que aquí se recomiendan a las características de navegación de cualquier buque en concreto que operase en las Áreas de Navegación que fueran objeto de análisis.

El trabajo recoge una metodología de aplicación de estas maniobras a los diferentes supuestos de fallo, que puede implementarse fácilmente mediante el empleo de un simulador de maniobras en su modo de operación acelerado.

Finalmente se concluye el proceso estableciendo el modo de valoración de la eficacia de estas maniobras y procedimientos de emergencia recurriendo a la misma Matriz de Evaluación anterior, lo que permitiría concretar las actuaciones, procedimientos o mejoras que fuese conveniente implantar a consecuencia de este análisis. El trabajo finaliza precisamente indicando una relación de las posibles conclusiones que pudiesen derivarse de la realización de un estudio como el que aquí se propone en cualquier caso concreto.

## Introducción

El análisis de los diferentes procedimientos de dimensionamiento de las Áreas de Navegación y Flotación, que se recoge en la primera parte del estudio, permite concluir que, independientemente de las ventajas o inconvenientes de los diferentes métodos analizados, nin-

guno de ellos llega a establecer un procedimiento para la valoración de los Riesgos Accidentales que se pudieran producir durante la operación de los buques. Se entiende a estos efectos como Riesgos Accidentales aquellos supuestos excepcionales (fallos en la máquina o en el timón de un buque, averías en la actuación de remolcadores, roturas de cabos de amarre, etc.) con muy pocas probabilidades de presentación a lo largo de la Vida Útil del proyecto, pero que de producirse, su efecto puede ser significativo para la seguridad.

La finalidad de este trabajo, aparte de realizar un estudio comparativo de los métodos de dimensionamiento recogidos en la ROM 3.1 "Recomendaciones para el Proyecto y Construcción de Accesos y Áreas de Flotación" de Puertos del Estado, y de la metodología recomendada por el PIANC para el diseño de las vías navegables, se dirige fundamentalmente a establecer un procedimiento sistemático de análisis de los Riesgos Accidentales que permita establecer a priori las medidas o maniobras de emergencia que fuera recomendable emplear en cada caso, estableciendo al mismo tiempo un sistema de valoración que cuantifique la incidencia de la aplicación de estas medidas correctoras.

## Definición de los métodos de dimensionamiento

### *Procedimiento determinístico. Rom 3.1*

Con este método la dimensión geométrica de las diferentes áreas de flotación en planta y en alzado se calcula por adición de varios factores que, en la mayor parte de los casos, ya sea mediante tabulaciones o formulaciones matemáticas, conducen a un resultado concreto y cierto. Algunos de estos factores dependen de las condiciones límites de operación establecidas, con lo cual el dimensionamiento se ajusta a las condiciones de explotación deseadas. Esta denominación del método se mantiene aunque las tablas y formulaciones matemáticas sean reflejo de análisis estadísticos y aunque en algunas de las variables se mantenga un tratamiento estadístico de las mismas que permita asociar el dimensionamiento al riesgo que se haya fijado para el diseño.

En este procedimiento determinístico los factores de seguridad son uno más de los sumandos que intervienen en la cuantificación de las dimensiones geométricas y en su valoración, así como en la de otros factores, se toman en consideración aspectos asociados al riesgo, con lo cual el dimensionamiento resultante puede ajustarse a las características específicas de cada caso.

En consecuencia, las dimensiones definidas mediante este procedimiento están asociadas tanto a los límites de operación establecidos, como a los umbrales de riesgo prefijados lo que permite precisar el dimensionamiento.

El método es aplicable a Áreas de Navegación y Flotación de cualquier tipo (accesos, vías de navegación, bocanas, fondeaderos, dársenas, muelles, esclusas etc.)

### *Procedimiento semiprobabilístico. ROM 3.1*

En este procedimiento el dimensionamiento geométrico se basa fundamentalmente en el análisis estadístico de la ocupación de espacios por los buques en las diferentes maniobras que se consideren, lo que permite asociar con mayor precisión matemática el dimensionamiento resultante al riesgo previamente establecido en cada caso.

La aplicación práctica de este método obliga a realizar estudios en simulador, o en su defecto, ensayos a escala reducida o mediciones en tiempo real, que permitan disponer de una base de datos estadísticos suficientemente representativa para la fiabilidad del método.

En este procedimiento los factores de seguridad podrían introducirse en el propio análisis estadístico, sin más que exigir unas probabilidades de excedencia o unos riesgos más reducidos; sin embargo, en homogeneidad con otras Recomendaciones del programa ROM, que utilizan el sistema de coeficientes parciales de seguridad, se ha optado por introducir la seguridad como un resguardo adicional a considerar en las dimensiones correspondientes, valorado con los mismos criterios del método determinista.

Este método también es aplicable a Áreas de Navegación y Flotación de cualquier tipo, si bien es especialmente adecuado para aquellas que operen con buques en movimiento y en las que el factor humano tenga una transcendencia significativa para la maniobra.

### *Metodología propuesta por el PIANC*

El método propuesto por el PIANC se recoge fundamentalmente en la monografía denominada "Approach channels. A guide for design". Con este método, que es del tipo deter-

minístico, la dimensión geométrica de las vías de navegación en planta y en alzado se calcula por adición de varios factores que también conducen a un resultado concreto y cierto, si bien el procedimiento de valorar las dimensiones asociadas a los límites de operación se realiza mediante funciones escalonadas o discontinuas que no permiten un ajuste concreto a las condiciones climáticas que existan en cada caso ni a los criterios específicos de explotación que se deseen establecer..

En esta metodología los factores de seguridad son uno más de los sumandos que intervienen en la cuantificación de las dimensiones geométricas y en su valoración no se toma en consideración, de una manera precisa, el riesgo que se haya prefijado para el diseño, lo que tampoco sucede en los restantes factores que intervienen en el dimensionamiento, con lo cual no se puede conseguir un diseño ajustado a las características específicas de riesgo de cada caso concreto.

El procedimiento propuesto por el PIANC sugiere análisis de carácter estadístico, pero no llega a establecer una metodología de aplicación concreta para su utilización. Por otra parte el método solo es aplicable a vías de navegación sin que cubra otras Áreas de Flotación.

## Bases de partida para el dimensionamiento

Para la realización de los distintos estudios que conducen al dimensionamiento de un Area de Flotación es necesario el conocimiento y análisis previo de todos aquellos factores que en mayor o en menor medida puedan estar relacionados con la operación de los buques. El nivel de detalle en la valoración de estos parámetros dependerá, lógicamente, del método de dimensionamiento empleado en el estudio. Los factores principales objeto de análisis se pueden concretar en:

- Vida útil y riesgos máximos admisibles.
- Características del emplazamiento.
- Características de la flota de buques
- Estimación del número de operaciones de buques.
- Estudio del clima marítimo medio.
- Ayudas a la navegación, entendidas en un amplio sentido, que comprenden los remolcadores, el balizamiento y el practicaje.
- Condiciones límites de operación de los buques.

El método de dimensionamiento del PIANC prácticamente no toma en consideración estas condiciones límites de operación, mientras que en los dos procedimientos de la ROM tienen una incidencia muy significativa en el dimensionamiento.

## Aplicación de los Métodos de Dimensionamiento estudiados al Proyecto de una Vía de Navegación

Para la definición de los espacios requeridos en planta y alzado es necesario, una vez estudiados los diferentes métodos de análisis y establecidos los factores de partida que afectan al dimensionamiento, proceder de acuerdo con las siguientes fases:

- 1º Definir las características de la vía de navegación y de su entorno. El nivel de definición requerido a este respecto ha quedado recogido en el apartado 4 de este trabajo.
- 2º Definición de los buques de diseño o en su caso de la flota que utilizará esta vía y cuantificación desglosada, si se precisa, del número de operaciones que se producirán durante la vida útil del proyecto.
- 3º Definición de los distintos "escenarios" de clima marítimo, que en su conjunto representen el clima global presente en la zona.
- 4º Subdivisión de la vía de navegación en diferentes tramos según las funciones que se realicen en ellos (navegación ordinaria, cambio de rumbo, parada, arrancada, etc.) así como con la variación de las condiciones climáticas a lo largo de su traza.
- 5º Definición de las condiciones límites de operación que se desea tener para la explotación de la vía y de las ayudas a la navegación que se prevea utilizar al respecto.

## Dimensionamiento en alzado

El dimensionamiento en alzado comprende la definición de la profundidad de agua necesaria en las diferentes Áreas de Navegación y Flotación.

El estudio de estas necesidades de agua mediante los tres procedimientos anteriormente definidos es relativamente similar, y está basado en la cuantificación de las variaciones de calado de los buques y de los movimientos verticales que se producen en ellos sometidos a los fenómenos que se desarrollan durante la navegación (trimado, oleaje, vientos, velocidad, etc.). Los métodos de la ROM 3.1 establecen una metodología detallada de evaluación determinando los requerimientos de calado en el plano de crujía del buque y en las



bandas, así como una valoración de los sobrecalados exigidos por oleaje, que está asociado al riesgo admisible de la vía de navegación; asimismo estos métodos establecen criterios para fijar el nivel de agua de referencia en el que se sitúa el barco, en función de la operatividad que se quiera conseguir en la vía. Estos procedimientos de evaluación no figuran en las recomendaciones del PIANC. El procedimiento semiprobabilístico de cálculo no incorpora el análisis estadístico de la posición de la quilla de los distintos buques ya que no existen modelos de simulación económicos que permitan representar el movimiento del buque tridimensional del buque y su repercusión en alzado, aunque el planteamiento general está preparado para incorporar este análisis cuando los modelos estén disponibles.

## Dimensionamiento en planta

El dimensionamiento en planta comprende la definición geométrica de la traza y de su anchura en los diferentes tramos o secciones transversales de la misma.

La evaluación de estos espacios requeridos en planta difiere según el procedimiento de dimensionamiento empleado, los cuales se describen a continuación, ordenados en función del grado de precisión necesario:

**Metodología PIANC:** El procedimiento de análisis consiste en la definición de una anchura básica de la vía de navegación para cada uno de los tramos estudiados. Esta anchura depende de las características de maniobrabilidad de los buques analizados. Las dimensiones finales de la vía de navegación en las distintas secciones estudiadas se obtendrán como incremento, sobre la anchura básica, de los sobreamchos necesarios por los distintos factores que intervienen en la operación, tales como velocidad del buque, corrientes, oleaje, vientos, ayudas a la navegación, relación calado del buque a la profundidad de agua existente, naturaleza de fondo y de la carga del buque y los resguardos a contemplar sobre las márgenes. La evaluación de estos sobreamchos se realiza mediante una cuantificación somera (en porcentaje sobre la manga de los buques de diseño) por escalones, de los diferentes factores citados anteriormente, no permitiendo calcular los espacios requeridos para valores concretos.

**Procedimiento determinístico. ROM 3.1:** La determinación de la configuración y dimensiones en planta necesarias en los diferentes tramos de la vía de Navegación se realiza en cada caso tomando en consideración los factores siguientes:

- El tamaño, dimensiones y características de maniobrabilidad de los buques y los factores relacionados con ellos, incluida la disponibilidad de remolcadores, de los que depende la superficie necesaria para la realización de la navegación o maniobras de los buques en el tramo que se considere. Para ello será necesario calcular la deriva y la senda ocupada por los buques sometidos a los distintos escenarios climáticos en las diferentes secciones analizadas a lo largo de la vía de navegación, cálculo que toma en consideración las características específicas del barco, los vientos, oleajes y corrientes, las velocidades de navegación, la relación calado del buque a la profundidad de agua existente y la eventual asistencia de remolcadores. Este cálculo se realiza mediante formulaciones matemáticas y para cualquier valor concreto, lo cual permite cuantificar estrictamente el dimensionamiento.
- Los sistemas de señalización y balizamiento y los factores que afectan a su exactitud y fiabilidad, que determinarán las líneas o puntos de referencia para emplazar el buque.
- Los tiempos de respuesta de los buques en función de las características y dificultad de la maniobra analizada.
- La existencia de condiciones climáticas variables a lo largo de la traza.
- Los márgenes de seguridad que se establezcan para prevenir un contacto del buque con los contornos de la vía de Navegación, o con otras embarcaciones u objetos fijos o flotantes que puedan existir en el entorno.

Estas superficies horizontales relacionadas con el buque y el balizamiento, para poder quedar garantizadas como espacios disponibles en el emplazamiento, exigen tomar además en consideración un conjunto de factores relacionados con los contornos.

**Método semiprobabilístico. ROM 3.1:** La determinación por este método de las superficies necesarias para la navegación de los buques se basa en el análisis estadístico de varias maniobras realizadas en un mismo escenario de clima marítimo, en las que varía el comportamiento humano del capitán o maniobrista del buque. Para la materialización de este procedimiento de análisis de las vías de navegación es necesario el empleo de simuladores, que sean capaces de reproducir la mayor parte de los efectos que se presentarán en el caso concreto que se analice. La ROM 3.1 establece que los fenómenos que no sea posible reproducir en el simulador y los márgenes de seguridad, se valorarán con los mismos criterios del método determinista para hacer homogéneos ambos procedimientos.

## Valoración comparativa de los métodos de dimensionamiento. Análisis de un caso concreto

Con objeto de poder establecer una comparación entre los distintos métodos de dimensionamiento de las vías de navegación y evaluar su aplicabilidad se adjuntan al final del documento (Figuras 1, 2 y 3) los resultados obtenidos, en un estudio de operación de buques en un puerto tipo, en el que se efectuó el dimensionamiento con los tres métodos analizados; es decir, siguiendo los criterios de la ROM 3.1. "Recomendaciones para el Proyecto y construcción de Accesos y Áreas de Flotación" de Puertos del Estado, realizando el doble análisis por los métodos determinísticos y semiprobabilísticos que se recogen en la citada Recomendación, y siguiendo la Recomendaciones establecidas para Diseños Conceptuales en la publicación "Approach Channels. A Guide for Design" del PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses).

Del análisis de este caso se pueden desprender las siguientes conclusiones:

- El procedimiento semiprobabilístico permite conocer con mayor precisión que el determinístico o el diseño conceptual del PIANC el riesgo asociado a unas dimensiones geométricas y, en consecuencia, se puede afinar más el diseño. Los métodos determinístico y del PIANC no permiten cuantificar el riesgo en los mismos términos numéricos, lo cual no implica que este riesgo no esté considerado en estos métodos ya que adoptan valores del lado de la seguridad basados en experiencias de proyectos similares; en cualquier caso, el método determinístico de la ROM 3.1 ajusta más el procedimiento de dimensionamiento al riesgo preestablecido.
- El análisis efectuado con el procedimiento semiprobabilístico estudia normalmente diferentes trayectorias de buques, recorriendo tramos completos de la vía navegable, en los que podrían presentarse tramos rectos o curvos, así como condiciones climáticas constantes o variables a lo largo de la traza, que podrán así ser estudiados en conjunto, analizando con mayor precisión la interacción entre unas y otras.
- El procedimiento semiprobabilístico permite conocer cual es la parte del riesgo asociada a cada tipo de buque, maniobra y escenario de clima marítimo analizado lo que permite adoptar las medidas más lógicas para rebajar el riesgo global sin penalizar innecesariamente a operaciones que no tienen incidencia en el riesgo
- El diseño conceptual propuesto por el PIANC, no permite asociar el dimensionamiento a valores concretos de las variables, ya que está basado en la valoración de umbrales o escalones de las variables que intervienen en el diseño. Este método no permite por tanto asociar el dimensionamiento resultante a las condiciones límite de operación que



Figura 1. Dimensionamiento en planta por el método determinístico según la ROM 3.1.



Figura 2. Dimensionamiento en planta por el método determinístico. Metodología PIANC.

se establezcan en cada caso, valoración que sin embargo puede realizarse perfectamente con los métodos determinístico y semiprobabilístico de la ROM 3.1.

- Según puede apreciarse comparando las figuras en las que se representan las anchuras resultantes por el método determinístico, del PIANC y el semiprobabilístico, éste último conduce a un dimensionamiento más ajustado, salvo en algunas secciones puntuales en las que las caídas del buque demandan mayores espacios, difícilmente evaluables por otros métodos dada la variabilidad de los parámetros de navegación que se presentan en este caso. El método semiprobabilístico, con el consiguiente recurso al estudio en simuladores o procedimientos similares, es la herramienta necesaria cuando se trate de casos especiales, o cuando en casos normales se quiera optimizar el diseño, en sentido amplio, de los elementos que definen el Área de Navegación.
- El método conceptual de diseño del PIANC es el que tiene una mayor economía de aplicación, lo que le confiere unas grandes cualidades a la hora de realizar predimensionamientos o estudios de alternativas. Por tanto, es un método óptimo para la realización de estudios previos o de viabilidad. El dimensionamiento resultante no puede asociar a las condiciones límites de operación de la vía navegable.
- Con el método de dimensionamiento determinístico se consigue un equilibrio entre la economía de aplicación (ya que permite sucesivos tanteos de una solución) y el grado de precisión de los estudios, lo cual permite su empleo desde estudios previos hasta proyecto constructivos si la vía de navegación no tiene singularidades que deban ser analizadas con el simulador. El dimensionamiento resultante queda asociado a las condiciones límites de operación que se establezcan, lo que permitiría definir las Normas de Explotación de la vía de navegación o Área de Flotación que se estudie.

- El método semiprobabilístico permite cuantificar una serie de parámetros que no pueden ser concretados con el resto de procedimientos, tales como los efectos de la batimetría real existente sobre la navegación, la valoración de los esfuerzos hidrodinámicos generados en la operación y el grado de aprovechamiento y efectividad de los medios de remolque disponibles, lo que permite optimizar las áreas necesarias para el desarrollo de las distintas operaciones. El dimensionamiento resultante queda asociado con mayor precisión a las condiciones límites de operación, lo que permite una mejor concreción de las Normas de Explotación de la vía navegable. Es el procedimiento más costoso de análisis, aunque cabe esperar una mejora futura de los simuladores, con la lógica reducción de costos. Se trata de una herramienta imprescindible para el análisis de casos singulares.



Figura 3. Dimensionamiento en planta por el método semiprobabilístico.

## Consideración de los Riesgos Accidentales

El estudio de los tres métodos de dimensionamiento considerados permite concluir que ninguno de ellos recoge un procedimiento para la valoración de los Riesgos Accidentales.

La Recomendación ROM 3.1. define como Riesgos Accidentales aquellos supuestos de carácter fortuito o anormal que no provienen de las meras dificultades de gobierno del buque en las condiciones Normales de Operación, sino de supuestos excepcionales (fallos en la máquina o en el timón del buque, averías en al actuación de remolcadores, roturas de cabos de amarre, etc.) con muy pocas probabilidades de presentación a lo largo de la Vida Útil del proyecto, pero que, de producirse, su efecto puede ser significativo para la

seguridad. La ROM 3.1 especifica que estos casos accidentales no deben ser la base para el dimensionamiento de las Áreas de Navegación y Flotación, pero si recomienda contemplar su incidencia, tomando en consideración que en estos supuestos podrían reducirse o eliminarse los coeficientes o márgenes de seguridad, según la valoración que en cada caso se haga de las consecuencias del accidente; sin embargo no especifica como debe estudiarse este análisis.

Las recomendaciones del PIANC también indican que, una vez realizado el diseño conceptual con los criterios que en ellos se establecen, deberá efectuarse el diseño definitivo tomando en consideración un Análisis de Riesgos Accidentales pero tampoco indica como debe efectuarse este estudio.

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar una metodología de análisis de Riesgos Accidentales que sirviera de complemento a los procedimientos de dimensionamiento establecidos, tendente a determinar los criterios o procedimientos de operación adecuados para minorar o eliminar las consecuencias de estos riesgos, o revisar el dimensionamiento si fuese necesario.

El enfoque de un análisis de Riesgos Accidentales debe responder a los criterios expuestos en el párrafo anterior, debiéndose estudiar en cada uno de los supuestos de riesgos considerados, las consecuencias que se derivarían de ocurrir el incidente contemplado, para analizar a continuación las maniobras o procedimientos alternativos que eliminasen o minorasen en la mejor medida posible los riesgos derivados de tal supuesto, procediéndose a cualificar cada supuesto, antes y después de la adopción de las medidas correctoras, según una Matriz de Evaluación, que tome en consideración la probabilidad de presentación y la severidad de las consecuencias del fallo, y que permita obtener conclusiones prácticas objetivas.

## Identificación de los supuestos de Riesgo Accidental

Como primer paso para la realización de este tipo de estudios es necesario efectuar una identificación de los supuestos de fallo accidental más significativos que se pudieran presentar en las Áreas de Navegación y Flotación. A continuación se presenta una relación de los modos de fallo más generales en el análisis de la operación de los buques (inventario de riesgos):

a) Fallos producidos en los sistemas de propulsión y gobierno del propio buque:

- Caída completa de la potencia de propulsión avante y atrás.
- Incapacidad de dar máquinas atrás en el proceso de parada.
- Embalamiento de la propulsión en marcha avante.
- Pérdida del timón.
- Bloqueo del timón en una posición fija.

b) Fallos del maniobrista del buque (Capitán - Prácticos):

- Error en la asignación de la ruta.
- Error en el posicionamiento del buque.
- Fallos de comunicaciones con tiempos de reacción muy prolongados frente a los habituales.

(Los dos primeros casos de este bloque cubren también un posible fallo de los sistemas de balizamiento, y el tercero una posible incidencia en el estado de salud del práctico que impidiese su participación normal en una maniobra).

c) Fallos de los remolcadores:

- Pérdida completa de potencia o gobierno de uno de los remolcadores que intervengan en la maniobra.
- Rotura de un cabo de remolque.

(El primer caso cubre también la posible indisponibilidad por cualquier causa de alguno de los remolcadores previstos para la maniobra).

d) Emergencias producidas con el buque amarrado y operando en un terminal:

- Rotura de un cabo de amarre.
- Aproximación a los límites de seguridad de los equipos de carga y descarga.
- Abandono de emergencia del Terminal.

e) Emergencias debidas a fallos ajenos:

- Emergencia en un atraque próximo que obligue a abortar la maniobra de entrada.
- Obstrucción parcial de la vía de navegación producida por una embarcación de pequeña o mediana eslora.
- Errores de navegación en los buques que operen en los atraques próximos al terminal analizado.

f) Empeoramiento repentino de las condiciones climáticas:

Esta relación de supuestos de fallo puede ordenarse del modo siguiente en función de la naturaleza del fallo.

### *Emergencias de los buques en navegación*

Comprende todos los supuestos de los grupos a), b) y c), considerando en este último caso que un fallo de remolcadores afectara a las condiciones de navegación de los buques. Asimismo forma parte de este grupo los supuestos de fallo de las hipótesis e) y f), en la medida en que la emergencia debida a un fallo ajeno o el empeoramiento repentino de las condiciones climáticas se produzcan cuando el buque esté en navegación, dado que este barco es el objeto del estudio.

### *Emergencias de los buques amarrados en una terminal*

Comprende todos los supuestos del grupo d) y aquellos casos de los grupos e) y f), en los que la emergencia debida a un fallo ajeno o el empeoramiento de las condiciones climáticas se presente cuando el buque esté amarrado en una terminal.

Adicionalmente a este inventario de riesgos cabría considerar otros relacionados con la naturaleza de la mercancía transportada que no se consideran en este trabajo por tratarse de enfoques particulares según las características de esta mercancía.

## **Valoración de los Riesgos Accidentales**

Para valorar la incidencia de los diferentes supuestos de fallo definidos en el apartado 8 de este Informe, se propone un procedimiento de valoración análogo al empleado en los Estudios de Impacto Ambiental, mediante una Matriz de Evaluación que se incluye en la Tabla N° 1 adjunta, en la que se toman en consideración dos aspectos: la probabilidad de presentación del fallo analizado y la severidad de las consecuencias del fallo. Establecidos los niveles de estas dos variables correspondientes a cada supuesto de fallo, se establece el Riesgo de dicho supuesto en función de la combinación resultante de los niveles de las dos variables. Se hace notar que el término "Riesgo" utilizado en esta exposición,



comprende la probabilidad de fallo y la severidad de las consecuencias del mismo, mientras que en la ROM 3.1 el término Riesgo se refiere solamente a la probabilidad del fallo. Se ha mantenido esta nomenclatura porque la denominación "Risk Analysis" está acuñada en la terminología internacional. El procedimiento es de naturaleza cualitativa y utiliza los siguientes niveles para valorar las variables, los cuales se podrían adaptar a cada estudio en particular:

- *Probabilidad*

Baja: Muy improbable (casi nunca sucede)

Media: Posible (sucede algunas veces)

Alta: Muy probable (sucede frecuentemente)

- *Severidad de las consecuencias del fallo*

Muy alta: Baremo de valoración entre 16 y 21

Alta: Baremo de valoración entre 12 y 15

Media: Baremo de valoración entre 8 y 11


Baja: Baremo de valoración entre 0 y 7

El citado baremo de valoración se calcula por adición de las puntuaciones que resultan de considerar 4 aspectos (Seguridad, Reputación, Comercial e Impacto Ambiental), para cada uno de los cuales se establece la puntuación siguiente según que la severidad de las consecuencias del fallo tengan una incidencia Muy Alta (MA), Alta (A), Media (M) o Baja (B).

	MA	A	M	B
Seguridad	6	4	3	2
Reputación	5	3	2	1
Comercial	4	3	2	1
Impacto Ambiental	6	5	4	3

El objetivo de esta Matriz de Evaluación es disponer de un procedimiento de valoración que permita comparar el riesgo resultante antes y después de aplicar una maniobra correctora de respuesta, juzgando así la eficacia de estas medidas.

**TABLA N° 1: MATRIZ DE EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS ACCIDENTALES**  
**Riesgo = Consecuencias del fallo Y probabilidad**

		BAJA	MEDIA	ALTA		
Incremento de la Severidad   Severidad de las Consecuencias del fallo	Valoración Muy Alta (MA) de la Severidad	16 - 21	A	A	MA	Muy Alta (MA)
	Valoración Alta (A) de la Severidad	12 - 15	M	A	A	Alta (A)
	Valoración Media (M) de la Severidad	8 - 11	M	M	A	Media (M)
	Valoración Baja (B) de la Severidad	0 - 7	B	M	M	Baja (B)
Valoración de Severidad de las consecuencias del fallo	MA A M B Seguridad 6 4 3 2 Reputación 5 3 2 1 Comercial 4 3 2 1 Impacto Amb. 6 5 4 3	Muy improbable (casi nunca sucede)	Posible (sucede algunas veces)	Muy probable (sucede frecuentemente)		

## Estudio de las Posibles Maniobras

### *Emergencias de los Buques en Navegación*

Para el estudio de todos los supuestos de fallo incluidos en el apartado 8 de este trabajo parece conveniente sistematizar las posibles Maniobras de Respuesta que pudieran ser aplicables en situaciones de emergencia, para lo cual se ha recurrido a los criterios recogidos en la resolución A.601 de la Organización Marítima Internacional (OMI) denominada "Provisión y exposición en lugares visibles a bordo de los buques de información relativa a la maniobra", que se esquematiza en la figura n°4.

De este conjunto de maniobras recomendado por la OMI, las maniobras típicas de aplicación para supuestos de emergencia y que se proponen para el uso sistemático en este tipo de estudios son:



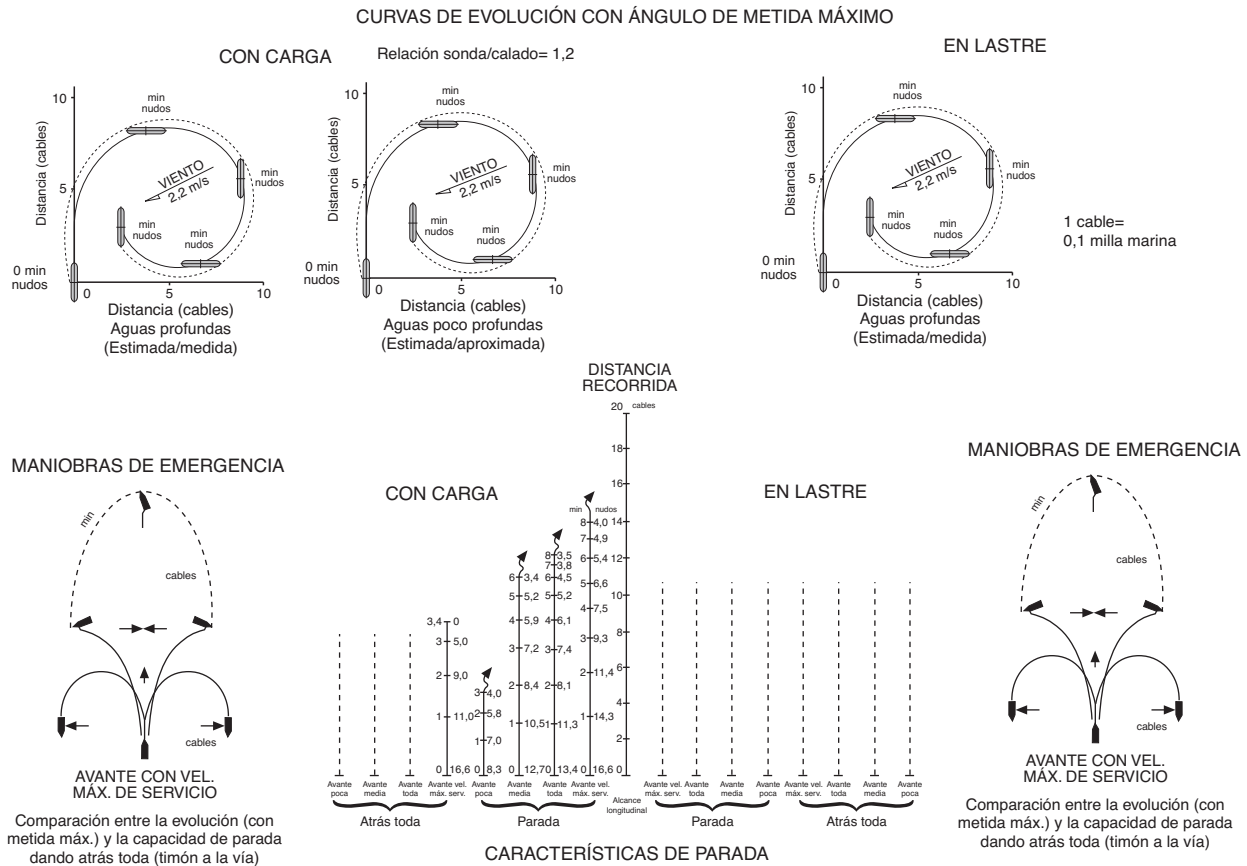


Figura 4. Consideración de los riesgos accidentales en los métodos de dimensionamiento de las áreas de navegación y flotación.

- Maniobras de evasión
- Maniobras de extinción natural de la arrancada
- Maniobras de parada con máquinas todo atrás

Estas maniobras están aceptadas por la legislación española y por la práctica totalidad de los países del mundo.

Según las recomendaciones de la OMI todos los buques deberán mostrar en el tablón de gobierno expuesto en un lugar visible de la caseta de gobierno del buque, pormenores

generales e información detallada acerca de las características de maniobra del buque (comprendiendo estas tres maniobras que aquí se analizan), incluyendo información de cómo varían estas maniobras en función de las características climáticas, de la profundidad de agua disponible o de la carga del buque.

La utilización de estas tres maniobras tipificadas permitirá por tanto trabajar con esquemas de uso habitual por la tripulación de los buques, y de los que sin duda alguna dispondrán todos los barcos que operen en las vías de navegación y Áreas de Flotación, por lo que sería perfectamente factible particularizar las conclusiones de este estudio a las características de navegación de cualquier buque en concreto que operase en estas áreas. En cualquier caso la documentación que se obtenga sobre este tipo de maniobras en los estudios que, a continuación, se recomienda efectuar es de mayor detalle que la que pueda encontrarse en el puesto de mando de cualquier buque, ya que estará determinada para una amplia gama de supuestos que corresponden a las características específicas del emplazamiento considerado.

Las características de estas maniobras y las hipótesis de gobierno de los buques que se proponen considerar en estos estudios se recogen en los párrafos siguientes:

1. *Maniobras de evasión*

Estas maniobras analizan la trayectoria que seguiría un buque en el caso de que éste metiera el timón a su valor máximo ( $35^\circ$ ) a una banda, manteniendo invariable el régimen de máquinas. Se estudiarían dos maniobras según que el buque metiera el timón a la banda de babor o a la de estribor, maniobras que no son simétricas en buques monohélice dada la caída que presentan estos buques según cual sea el sentido de giro de ésta. La maniobra de evasión representa por tanto la trayectoria que seguiría un buque en la hipótesis de que quisiera abandonar la ruta de navegación con la mayor metida del timón posible. En todos los casos se supone que la maniobra se inicia en el punto de la trayectoria en el momento en que se dé la orden al timón, y debe tomar en cuenta por tanto el tiempo de reacción necesario para que el timón alcance su posición definitiva, lo cual suele estar contemplado en los simuladores comerciales existentes en el mercado.

2. *Maniobras de extinción natural de la arrancada*

Estas maniobras analizan la trayectoria que seguiría un buque en el supuesto de que el buque tuviera que realizar una maniobra de parada con ángulo de timón constante y con las máquinas paradas, sin poder dar atrás o adelante. Representa por tanto la trayectoria

que seguiría un buque que se quede sin propulsión y con el timón bloqueado en una posición fija. La maniobra se analizaría suponiendo que el timón quedara bloqueado en distintas posiciones, proponiéndose las siguientes definidas por un ángulo de timón fijo:

$$+35^\circ, +30^\circ, +20^\circ, +10^\circ, 0^\circ, -10^\circ, -20^\circ, -30^\circ, -35^\circ$$

### 3. *Maniobras de parada con máquinas todo atrás*

Estas maniobras analizan la trayectoria que seguiría un buque en el supuesto de que el buque efectuase una parada de emergencia parando las máquinas en régimen de "todo atrás". Para tomar en consideración que esta hipótesis pudiera presentarse con cualquier ángulo de timón, en previsión de un bloqueo del mismo, se analizaría la maniobra en distintas condiciones definidas por un ángulo de timón que permaneciese fijo durante toda la parada y que se propone se correspondan con los establecidos en el apartado precedente, es decir:

$$+35^\circ, +30^\circ, +20^\circ, +10^\circ, 0^\circ, -10^\circ, -20^\circ, -30^\circ, -35^\circ$$

En todos los casos la maniobra se supondría que se inicia en el punto de la trayectoria en el momento en que se da la orden de "todo atrás" y tomaría en cuenta por tanto el tiempo de reacción necesario para esta inversión del empuje del propulsor lo cual también suele estar contemplado en los simuladores comerciales existentes en el mercado.

Adicionalmente a estas 3 maniobras de emergencia se contemplaría la posibilidad de aplicar la maniobra convencional de navegación de entrada, reviro y salida en la zona que se considere, suponiendo que el reviro se efectúa en un punto anticipado de la ruta para hacer frente a los diferentes supuestos de fallo, así como la posibilidad de efectuar una parada de emergencia con auxilio exclusivo de remolcadores que sería aplicable en los casos en que se produjera una caída total de la propulsión atrás del buque. En aquellos de estos casos en los que la maniobra se efectuase con ayuda de remolcadores se supondría, adicionalmente, que al menos uno de ellos fallase durante la maniobra.

Dadas las características de este estudio se considera que solamente sería posible llevarle a cabo mediante la utilización de simuladores, ya que ningún método determinista permite evaluar los espacios ocupados por el buque en los supuestos tan desfavorables que aquí se consideran.

### *Emergencia de los Buques Amarrados en una Terminal*

Finalmente quedarían por definir los estudios que permitiesen valorar la respuesta frente a los supuestos de fallo debidos a las emergencias que se podrían presentar con los buques emplazados en los terminales, tal y como se describió en el apartado 8 de este trabajo, con objeto de disponer de una metodología de análisis global, aunque algunos de los supuestos que aquí se consideran no afectan directamente a la navegación de los buques.

Para el estudio de los principales supuestos de fallo incluidos en este bloque se deberá efectuar un análisis de detalle correspondiente a la situación del buque amarrado, con un doble objetivo:

- Determinar los movimientos que se pudieran presentar en el buque en las condiciones climáticas más desfavorables.
- Determinar la incidencia que pudiera tener en este compartimento la eventual rotura de un amarre, evaluando un doble riesgo: que los movimientos del buque que se produjeran en esa situación fueran incompatibles con los de los equipos de tierra (lo cual podría provocar una rotura de estos), o que a consecuencia de esa rotura se pudiese ocasionar una sobrecarga de otras líneas de amarre, produciéndose un fallo progresivo del sistema de amarre que no garantizase la estancia controlada del buque en el terminal.

La determinación de esfuerzos sobre el buque se realizará para buque en lastre y a plena carga en previsión de que la situación de riesgo pudiera presentarse en cualquier momento de la operación, y suponiendo que las condiciones climáticas pudieran actuar tanto longitudinal como transversalmente al atraque, tal y como recoge en la ROM 0.2-90. La formulación propuesta para el cálculo de estos esfuerzos es la recogida en la citada recomendación, siendo igualmente válida cualquiera de las recogidas en las principales publicaciones de carácter internacional al respecto.

Para el análisis del comportamiento del buque amarrado será necesario la definición de un modelo tridimensional que tome en consideración todos los elementos que afectan al sistema (defensas, líneas de amarre, condiciones de flotabilidad del buque, etc.), sistema que se puede por tanto analizar con la mayoría de los programas de cálculo comerciales, siguiendo los criterios establecidos en la ROM 0.2-90. El estudio se podría optimizar mediante el empleo de aplicaciones que permitieran efectuar cálculos dinámicos del sistema Buque-amarras-defensas.

Dado que el comportamiento de este conjunto buque-amarre depende en gran medida de la configuración de líneas de amarre que se adopte se estudiarán en principio configuraciones base del sistema de amarre que contemplen líneas simples o múltiples de amarre (dobles, triples) bajo las solicitaciones correspondientes a las condiciones límites de carga y descarga y de permanencia de los buques. Posteriormente y en función del proceso de optimización seguido a la vista de los resultados obtenidos se estudiará la configuración de líneas definitiva.

Para la realización del estudio, se propone desarrollar en cada una de las configuraciones analizadas, un primer análisis con ordenador correspondiente a la configuración base probada y una serie de análisis posteriores sobre esta configuración, efectuados también con ordenador, en los que en cada uno de ellos se iría eliminando una línea de amarre de cada uno de los grupos que configuran el sistema, lo que permitiría evaluar las redistribución de tensiones y desplazamientos sobre la configuración base en estos supuestos de rotura.

Mediante el procedimiento anteriormente expuesto se podrá, por tanto, establecer una configuración de amarras aplicable para las condiciones climáticas límites establecidas para la carga y descarga de buques y la de permanencia que den una respuesta satisfactoria a los supuestos de riesgo d.1.) "Rotura de un cabo de amarre" y d.2.) "Aproximación a los límites de seguridad de los equipos de carga y descarga", establecidos en el punto 8 de este estudio.

Por lo que se refiere al supuesto d.3.) "Abandono de emergencia del terminal", se analizará las necesidades de potencia de remolque que permitan sacar al buque del terminal en las condiciones climáticas límites de operación establecidas para las maniobras de desatraque, evaluando lo que sucedería si la emergencia se produjese en un momento en el que no existiesen remolcadores suficientes para efectuar la maniobra de salida. De este estudio podrá determinarse hasta que condiciones climáticas podrá efectuarse una salida de emergencia con los propios recursos del buque y del terminal y los remolcadores que permanecieran en espera mientras estuviese el buque en el terminal, y a partir de que valores de las condiciones climáticas es necesario disponer de mayor número de remolcadores en espera para hacer frente a una posible emergencia.

Finalmente y por lo que se refiere al apartado f) del punto 8 de este estudio, "empeoramiento repentino de las condiciones climáticas" se deberá analizar el empeoramiento previsible de las condiciones climáticas en la zona que se considere, durante el tiempo que

dure la maniobra, estableciéndose unas condiciones límites de operación más restrictivas que tomen en cuenta este posible empeoramiento o la necesidad de adoptar otras medidas (por ejemplo, mayor dotación de remolcadores) que permitiesen hacer frente a estas solicitudes adicionales sin necesidad de modificar las condiciones de operación previamente definidas.

## Aplicación de las diferentes maniobras de Respuesta a los distintos supuestos de Riesgo

Con objeto de analizar la utilidad de las diferentes maniobras en los diferentes supuestos de riesgo descritos en el apartado 8, se procede seguidamente a estudiar de un modo genérico las posibilidades de aplicación de cada una de dichas maniobras en los diferentes casos considerados.

### *Aplicación de las maniobras de evasión*

#### *a) En aguas exteriores*

Por lo que se refiere a la navegación en el exterior de puertos, se definirá, en base a los estudios en simulador, la posición más avanzada en la que podrían desarrollarse las operaciones sin colisionar con los diques de abrigo del puerto considerado, o con cualquier otro obstáculo físico que limita de una forma más directa la posibilidad de realización de las maniobras (por ejemplo, buques fondeados). Este punto se determinará sobreponiendo la envolvente de todas las maniobras de evasión simuladas en el exterior del emplazamiento (ver figuras 5 y 6), en la situación más desfavorable que pudiera ocupar un buque en el área de navegación (definida mediante los procedimientos de dimensionamiento descritos en el apartado 2), tomando el margen de seguridad adicional que se requiera con respecto a un posible contacto con la estructura de los diques u otros obstáculos existentes en la zona. Se hace notar que mediante el uso de la envolvente de todas las maniobras de evasión, este análisis es ya independiente de cualquier Escenario de Clima Marítimo en el que pudiera efectuarse la maniobra (aunque podría efectuarse el estudio desglosado por Escenarios si interesase). Conviene señalar también que las maniobras de evasión se han determinan con un ángulo de timón constante de  $+35^\circ$  y  $-35^\circ$ , y que este ángulo podría ser modificado en cualquier momento de la maniobra, lo que significa que el buque tendría capacidad para evadir





el acceso al puerto, abandonándole ya sea por la misma ruta de navegación por la que entraba o por cualquier otra compatible con la capacidad de orientación del timón, y el uso que se haga de los espacios exteriores.

b) En aguas abrigadas

La implantación de las maniobras de evasión en el interior de los puertos, es generalmente incompatible con los espacios disponibles y no debe en ningún caso condicionar el dimensionamiento, ya que conduciría a soluciones desproporcionadamente holgadas, con el consiguiente sobrecoste asociado. En cualquier caso el análisis, de ser factible, se realizaría con la misma metodología descrita en el apartado precedente.

Conviene advertir de que el hecho de que una maniobra se descarte como inviable significa que hay que buscar otra alternativa que sea posible para hacer frente al supuesto de riesgo que sea objeto de estudio.

A título ilustrativo se representa en las figuras 7,8 y 9 la envolvente de maniobras de evasión, aplicadas a tres rutas alternativas de escape en el interior del puerto.

A la vista de la conclusión anterior y con independencia que otras de las maniobras de emergencia analizadas (extinción natural de la arrancada o parada con máquinas todo atrás) pudieran ser utilizadas para hacer frente a las situaciones de riesgo que pudieran presentarse, conviene señalar que tratándose de maniobras en el interior de los puertos, la navegación posiblemente se efectúe con auxilio de remolcadores y por tanto el modo más lógico de evitar las emergencias es el reviro del buque para tomar a continuación la ruta de salida establecida y abandonar inmediatamente el puerto. Los espacios requeridos para estas maniobras serían por tanto los definidos con los métodos clásicos de dimensio-



Figura 5. Situación más avanzada de las maniobras de evasión sin colisión con el dique.



Figura 6. Situación más avanzada de las maniobras de evasión sin invadir las zonas restringidas.



Figura 7. Situación de las maniobras de evasión navegando en la ruta interior 1.



Figura 8. Situación de las maniobras de evasión navegando en la ruta interior 2.

namiento definidos en el apartado 2 de este estudio, contemplando el caso de que fallase alguno de los remolcadores implicados en la maniobra según los arboles de fallo que se hubieran establecido.

### *Aplicación de las maniobras de extinción natural de la arrancada*

Antes de analizar la utilidad de esta maniobra, es preciso señalar que esta es la trayectoria que describiría un buque en el supuesto de que tuviese las máquinas paradas, sin poder dar atrás o adelante, con lo cual se trata de una maniobra exclusivamente aplicable en los supuestos de riesgo a.1.), "caída completa de la propulsión adelante y atrás" y a.2.) "incapacidad de dar máquinas atrás en el proceso de parada" y ello además en el caso de que no pudiera disponerse de remolcadores que ayudasen a la maniobra. Tampoco se considera, ya que es difícil cuantificación, el efecto de frenado que se conseguirá con el ancla como hipótesis más desfavorable. Debe considerarse por tanto una maniobra aplicable en supuestos muy excepcionales ya que de disponerse de máquinas, remolcadores o de las propias anclas del buque se recurriría a ellos conllevando unos requerimientos de espacios muy inferiores.

Por otra parte, la posición del ángulo del timón en esta maniobra puede considerarse con un triple enfoque:

- Si el timón continúa operativo porque no tiene ningún fallo, podría seleccionarse el ángulo de timón más adecuado para controlar, de alguna manera, la forma de la trayectoria.
- Si se ha producido la pérdida del timón (fallo a.4. en combinación con los anteriores) el buque desarrollaría una trayectoria fija determinada por las Condiciones Climáticas existentes sin posibilidad de hacerle intervenir en un

cambio de rumbo, trayectoria que sería muy similar a la que siguiese el barco con el timón a la vía.

- Si se ha producido el bloqueo del timón en una posición fija (fallo a.5. en combinación con los anteriores), el buque desarrollaría otras trayectorias fijas de diferente curvatura dependiendo de la posición en que se hubiere quedado bloqueado el timón y de las condiciones climáticas existentes en el momento.

Es decir, se trata de maniobras que se presentan en casos de fallos globales de los sistemas de propulsión y gobierno del buque (incluido el ancla) y en los que tampoco puede contarse con el auxilio de remolcadores, por lo que en general no son aplicables a supuestos que se presentan en los puertos o en sus proximidades, tal y como puede apreciarse viendo una envolvente típica de maniobras de este tipo simulada para todos los escenarios de clima marítimo en el exterior de un puerto (ver figura 10). Idéntico comentario cabría hacer en el supuesto del desarrollo de la maniobra en el interior del puerto, tal y como se recoge en la figura 11. En cualquier caso se mantiene su análisis por tratarse de una de las maniobras de emergencia contempladas por la OMI.

En principio, puede concluirse que esta maniobra no permite eliminar de una forma sistemática los riesgos de los supuestos de fallo a.4.) y a.5.) en los que podría ser aplicable, por lo que, normalmente, se evitará su utilización a reservas de que pudiera emplearse en algún caso concreto.

### *Aplicación de las maniobras de parada con máquinas todo atrás*

#### *a) En aguas exteriores*

La realización de estas maniobras es en general perfectamente factible debido a las escasas necesidades de es-



Figura 9. Situación de las maniobras de evasión navegando en la ruta interior 3.

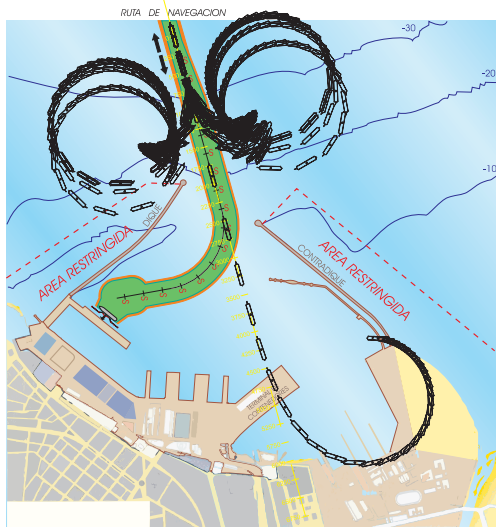


Figura 10. Situación de las maniobras de extinción natural de la arrancada.



Figura 11. Situación de las maniobras de extinción natural navegando en la ruta interior 3.

pacio requeridas y a las pequeñas derivas producidas en esta operación, como puede apreciarse en la envolvente típica de maniobras de este tipo simulada para todos los escenarios de clima marítimo en el exterior de un puerto (ver figura 12). No obstante variará según la tipología de cada buque analizado y precisará un estudio específico para cada caso. La sobreposición de este gráfico en la situación más desfavorable que pudiera ocupar un buque en el área de navegación que se considere, permitirá valorar las consecuencias de su aplicación.

Una vez que el buque efectuase la maniobra de parada, que es el objetivo de esta maniobra, será preciso decidir cual es el movimiento posterior del buque en función de la emergencia presentada, operación que podría realizar con sus medios propios de propulsión y gobierno y con la ayuda de los remolcadores disponibles según el punto de la trayectoria en que se encontrase.

b) En el interior del puerto

Cuando se analiza la posibilidad de desarrollar esta maniobra en el interior de los puertos, en que las dimensiones en general son más reducidas, los sobreespacios ocasionados deben ser compatibles con las dimensiones existentes o proyectadas en el emplazamiento. La sobreposición del gráfico de envolventes en las posiciones más desfavorables que pudiera ocupar el buque en el área de flotación considerada, permitirá determinar si esta compatibilidad es factible y cuales son las consecuencias de su aplicación (ver figuras 13 y 14). En todos los casos viables y una vez que el barco hubiera parado en espacios controlados, el buque contando con la dotación prevista de remolcadores en estas áreas (o la que se prevea disponer en función de las hipótesis de fallos concatenados y del estudio de riesgos), podría acometer fácilmente cualquier maniobra que se proyectara en función de la emergencia planteada.

## Aplicación de las maniobras convencionales de navegación, entrada, reviro y salida

La posibilidad de efectuar estas maniobras como respuesta a supuestos de emergencia vendrá en general condicionada por la disponibilidad de espacios en los que pueda efectuarse un reviro de 180° que invierta el sentido de la navegación, disponibilidad que en general no será posible a no ser que se hayan efectuado previsiones al respecto, estableciendo un área de reviro de emergencia que operaría como "punto de no retorno" para esta maniobra, como es habitual en la vías de navegación de una longitud apreciable. De no ser así, sería necesario evaluar si la emergencia que se presentase permitiría que el buque continuase la navegación hasta el primer área de reviro ordinaria que existiese, efectuando allí la inversión de la marcha para salir de la zona, siempre que ello fuese la maniobra más idónea para hacer frente al supuesto de riesgo que se considere. Esta valoración deberá hacerse con las dotaciones de remolcadores resultantes en el supuesto del fallo de, al menos, uno de ellos.

## Aplicación de una parada de emergencia con auxilio exclusivo de remolcadores

Este supuesto que sería aplicable en los casos en los que se produjera un fallo del sistema de propulsión atrás, es decir los casos "a1" y "a2" definidos en el apartado 8 de este trabajo, precisería de un análisis en el que se determinase la distancia de parada y anchura de la senda ocupada por el buque para el caso en que la fuerza principal que se opusiera al movimiento, aparte de la resistencia del agua al avance, fuese la proporcionada por los remolcadores. Esta valoración exigirá tomar en consideración las características de los remolcadores disponibles, su eficacia para este tipo de operación y el modo en que se deberían haber incorporado a la maniobra para poder ser



Figura 12. Maniobras de parada con máquina todo atrás en ruta interior 3.



Figura 13. Maniobras de parada con máquina todo atrás en aguas abrigadas.



Figura 14. Maniobras de parada con máquina todo atrás en el acceso al área de viro.

efectivos en el momento en que se produjera la situación de emergencia. Asimismo se valorará la incidencia del fallo de uno de los remolcadores que interviniese en esta maniobra.

La aplicación particular de estas maniobras para el caso concreto que se fuera a analizar pasaría por considerar cada uno de los supuestos de Riesgo Accidentales definidos en el apartado 8, determinando que maniobras de respuesta podrían efectuarse en cada caso en los diferentes puntos de la vía de navegación o área de flotación que se estudiase y las consecuencias de la aplicación de estas maniobras. Disponiendo de unas vías de navegación dimensionadas con algunas de los procedimientos descritos en el apartado 3 de este informe, que se plasmarían en figuras similares a las 1, 2 y 3 adjuntas, y de las envolventes de las diferentes maniobras de emergencia, tales como las que se recogen en las figuras 5 a 14 de este trabajo, es muy simple valorar la viabilidad de cada maniobra y las consecuencias de su aplicación. El sistema permite asimismo valorar accidentes aislados y árboles de fallo y, en la medida en que se disponga de estadísticas de probabilidad de fallos en buques y el estudio de dimensionamiento de la vía de navegación esté efectuado por métodos estadísticos, tal como el semiprobabilístico de la ROM 3.1 en el que se conoce la probabilidad de ocupar cualquier espacio en la vía de navegación, podría disponerse de una valoración cuantitativa de la probabilidad de fallo, al margen de la cualitativa que siempre existiera aunque no se dispusiera de estudios estadísticos.

## Valoración De Las Medidas Correctoras

Para finalizar el proceso del análisis de riesgos es necesario realizar una valoración de los distintos supuestos de fallo una vez que las medidas correctoras definidas conforme a los criterios especificados en el apartado precedente, se hubieran incorporado a los procedimientos de operación del área analizada.

Para ello se elaborará, según los principios expuestos en el punto 9 de este trabajo, una segunda aplicación de la Matriz de Evaluación de riesgos accidentales, que valorase la incidencia de aplicar la maniobra o medida correctora correspondiente que, en general, tendrá alguno o ambos de los siguientes efectos:

- Reducir la posibilidad de presentación del fallo
- Reducir la severidad de las consecuencias del fallo.

En todos los casos la valoración del supuesto de fallo, antes y después de aplicar la medida correctora, significará un desplazamiento en la Matriz de Evaluación hacia posiciones situadas en su ángulo inferior izquierdo, es decir a minimizar o reducir la incidencia del fallo.

En el caso, de que efectuado este análisis aún se identificaran supuestos de fallo que comprometiesen las operaciones se procedería nuevamente según lo dispuesto en los apartados 10 a 12 (en un proceso iterativo) hasta conseguir finalmente el objetivo deseado, ya sea mediante una revisión del dimensionamiento de la vía navegable, el establecimiento de procedimientos operativos más seguros o una combinación de ambos.

## Conclusiones del Estudio de Riesgos Accidentales

Aunque las conclusiones de un estudio de Riesgos Accidentales no pueden establecerse si no es para el caso concreto que fuera objeto de análisis, si cabe recoger con carácter general las aportaciones y mejoras que se derivarían de haber efectuado un estudio de este tipo, que en general todas ellas conducirían a una mejora de la seguridad en las operaciones que se realizan en la Vía de Navegación o Área de Flotación que se estudie:

- a) Identificar los supuestos de fallo y sus consecuencias.
- b) Conocer las posibles maniobras de emergencia frente a estos supuestos y la capacidad de respuesta que cabe esperar de cada uno de ellos.
- c) Tramificar la Vía de Navegación y asignar las diferentes maniobras de emergencia compatibles con cada zona. Esta asignación puede hacerse dependiendo del tipo de barco, del clima marítimo y de las ayudas a la navegación (especialmente remolcadores) que pudieran disponerse en cada caso.
- d) Establecer "puntos de no retorno" para diferentes tipos de maniobras de emergencia, por ejemplo evasión con medios propios del buque o implementación de Áreas de Re-viro con o sin remolcadores para cambiar el sentido de la navegación.

- e) Definición de rutas de escape exentas de limitaciones, ya sea dirigidas hacia rutas exteriores o interiores del puerto alternativas a las que se analicen o hacia zonas de varada de emergencia.
- f) Establecimiento de las necesidades de remolque para dar una respuesta eficaz a las maniobras ordinarias y de emergencia, estableciendo la dotación y tipología de los remolcadores necesarios según las características de los buques implicados y del clima marítimo que pudiera presentarse en la zona. Definición de las necesidades de remolque en espera mientras los buques permanezcan en los terminales.
- g) Definición de las dotaciones de prácticos a intervenir en las maniobras ordinarias, según las características de los buques y el clima marítimo, para hacer frente a las diferentes emergencias que pudieran presentarse.
- h) Definición de las maniobras que fuera posible realizar con otros buques en simultaneidad con la presentación de una emergencia, y establecimiento de los criterios de actuación para minimizar el riesgo de otras embarcaciones que navegaran o estuvieran en la zona.
- i) Establecimiento de prioridades de actuación en el supuesto de que la emergencia afectara a dos o más buques.
- j) Establecimiento de configuraciones de amarre adecuadas al clima marítimo que eliminasen los riesgos derivados de un fallo del sistema de amarre.
- k) Definición de las prioridades del sistema de control de la navegación en supuestos de emergencia.
- l) Establecimiento de programas de formación de operación para actuación en situaciones de emergencia.
- m) Definición entre la Autoridad Portuaria responsable de la zona de navegación que se analice y los usuarios de los distintos terminales existentes en ella, de un Plan General de Seguridad que recogiese y diese respuesta a todos los supuestos que se hubieran contemplado.

De una manera resumida puede concluirse que la realización de un Estudio de Riesgos Accidentales en la forma que se recomienda en el presente trabajo, permitiría abordar de una forma sistemática y coordinada con los procedimientos de dimensionamiento existente en la ROM 3.1 y en la metodología del PIANC, el análisis de las situaciones de emergencia, contribuyendo a reducir el Riesgo, perfeccionar el dimensionamiento de las Áreas de Navegación y Flotación, mejorar los criterios de operación y, en definitiva, a establecer un Plan General de Seguridad que recogiese y diese respuesta a todas las emergencias que pudieran provenir de la operación de los buques.