



GUÍA DE LA IALA

1078

SOBRE EL USO DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN EN EL DISEÑO DE CANALES DE NAVEGACIÓN

Edición 1.0

Junio de 2011



Puertos del Estado





REVISIÓN DEL DOCUMENTO

Las revisiones realizadas a este documento de la IALA se anotarán en el siguiente cuadro antes de la puesta en circulación de un documento revisado.

Fecha	Página / Apartado revisado	Motivo de revisión

La revisión de la traducción de este documento ha sido realizada por el grupo de trabajo de Puertos del Estado en el que han participado:

*Luis Martínez (Autoridad Portuaria de Vigo);
Enrique Abati (Autoridad Portuaria de Marín);
Juan Manuel Vidal (Autoridad Portuaria de Gijón);
Carlos Calvo (Autoridad Portuaria de Santander);
Cristina García-Capelo (Autoridad Portuaria de Bilbao);
José Luis Núñez (Autoridad Portuaria de Pasajes);
Juan Antonio Torres (Autoridad Portuaria de Huelva);*

*Septimio Andrés (Autoridad Portuaria de Sevilla);
Germán Gamarro (Autoridad Portuaria de Algeciras);
Santiago Tortosa (Autoridad Portuaria de Ceuta);
Jaime Arenas (Autoridad Portuaria de Baleares);
Antonio Cebrián y Guillermo Segador (Autoridad Portuaria de Barcelona);
José Carlos Díez (Puertos del Estado).*

Coordinación de la edición en español y edición final:

José Carlos Díez (Puertos del Estado)

NOTA: Puertos del Estado no se responsabiliza de los errores de interpretación que puedan producirse por terceros en el uso del contenido de este documento, que corresponde a una traducción del documento original de la Asociación Internacional de Ayudas a la Navegación Marítima y Autoridades de Faros (IALA) denominado según aparece en la carátula.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Antecedentes.....	6
1.2. Desarrollo futuro	7
2. NECESIDADES DEL USUARIO	7
2.1. General	7
2.2. Precisión.....	7
2.3. Fiabilidad.....	8
2.4. Necesidades especiales de diferentes grupos de usuarios	8
3. Parámetros del funcionamiento de sistemas de ayuda a la navegación	9
3.1. Precisión del posicionamiento.....	9
3.1.1. Sistemas de radionavegación	9
3.1.2. Ayudas visuales a la navegación	9
3.1.3. Detección de la desviación	9
3.2. Redundancia	9
3.3. Percepción	9
3.3.1. General	9
3.3.2. Luces.....	10
3.3.3. Marcas diurnas	10
3.3.4. Radar	10
3.3.5. Sistema de Identificación Automática (AIS).....	10
4. Disposición de ayudas a la navegación para la señalización de un canal de navegación	11
4.1. General	11
4.2. Ayudas a la navegación que señalizan los límites del canal de navegación	11
4.3. Otras marcas de ayuda a la navegación en el canal de navegación	12
4.4. Ayudas a la navegación visuales fijas fuera del canal de navegación	12
4.4.1. Enfilaciones.....	12
4.4.2. Luces de sectores.....	13
5. METODOLOGÍA/PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	13
5.1. Un procedimiento sencillo para el establecimiento de un canal de navegación balizado.....	13
5.2. Diseño y mantenimiento de canales	14
5.3. Evaluación de riesgos.....	14
5.4. Simulación.....	14
6. EJEMPLOS DE SEÑALIZACIÓN DE CANALES DE NAVEGACIÓN	14
7. CONCLUSIÓN	14
8. ACRÓNIMOS Y DEFINICIONES	14
8.1. Acrónimos	14



ÍNDICE DE CONTENIDOS

8.2.	Definiciones	15
ANEXO A	DOCUMENTACIÓN RELEVANTE DE LA IALA	¡Error! Marcador no definido.8
ANEXO B	DETECCIÓN DE LA DESVIACIÓN – MÉTODO JAPONÉS	¡Error! Marcador no definido.9
ANEXO C	DISEÑO DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN - EL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO DE LA PLATA¡Error!	Marcador no definido.4
ANEXO D	DISEÑO DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN - FINLANDIA	¡Error! Marcador no definido.7
ANEXO E	DISEÑO DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN - LE HAVRE Y PORT 2000, FRANCIA.¡Error! Marcador no	definido.4
ANEXO F	DISEÑO DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN - EL “SEEKANAL ROSTOCK”¡Error! Marcador no definido.7	
ANEXO G	DISEÑO DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN - APROXIMACIÓN A MALMÖ, SUECIA.....	41

Índice de tablas

<i>Tabla 1</i>	<i>Definiciones</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 2</i>	<i>Sincronización de ayudas a la navegación</i>	<i>40</i>

Índice de figuras

<i>Figura 1</i>	<i>Zona indetectable</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2</i>	<i>Carril de maniobra detectable mediante boyas iluminadas a ambos lados del canal de navegación</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3</i>	<i>Diseño de ayudas a navegación en el Río de la Plata</i>	<i>26</i>
<i>Figura 4</i>	<i>Canal de Mussalo</i>	<i>28</i>
<i>Figura 5</i>	<i>Puertos interiores de Kotka</i>	<i>29</i>
<i>Figura 6</i>	<i>Puerto de Mussalo</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7</i>	<i>Canal de Rauma.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 8</i>	<i>Puerto de Rauma</i>	<i>33</i>
<i>Figura 9</i>	<i>Puerto de Le Havre</i>	<i>36</i>
<i>Figura 10</i>	<i>Seekanal Rostock – Sección del canal.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 11</i>	<i>Ejemplo de ayudas a la navegación sincronizadas: Parte interior del “Seekanal Rostock’</i>	<i>39</i>
<i>Figura 12</i>	<i>Carta náutica de parte del canal exterior e interior del “Seekanal Rostock”</i>	<i>40</i>
<i>Figura 13</i>	<i>Parte exterior del canal - Malmö.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 14</i>	<i>Parte interior del canal - Malmö</i>	<i>42</i>
<i>Figura 15</i>	<i>Acceso al puerto de Malmö</i>	<i>43</i>
<i>Figura 16</i>	<i>Puerto de Malmö.....</i>	<i>43</i>



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de ecuaciones

<i>Ecuación 1</i>	<i>Ancho del carril básico de maniobra:</i>	<i>19</i>
<i>Ecuación 2</i>	<i>Ancho de canal necesario para la detección de la desviación a simple vista o utilizando radar</i>	<i>20</i>
<i>Ecuación 3</i>	<i>El ancho de canal necesario para la detección de la desviación a simple vista</i>	<i>21</i>
<i>Ecuación 4</i>	<i>Definición de α_{max}.....</i>	<i>22</i>
<i>Ecuación 5</i>	<i>El ancho de canal necesario para la detección de la desviación por radar</i>	<i>22</i>
<i>Ecuación 6</i>	<i>Ancho de canal necesario con un error de dirección de 2 grados</i>	<i>22</i>
<i>Ecuación 7</i>	<i>Ancho de canal necesario con un error de dirección de 1 grado</i>	<i>22</i>
<i>Ecuación 8</i>	<i>Ancho de canal necesario con detección de la desviación por GPS.....</i>	<i>22</i>
<i>Ecuación 9</i>	<i>Ancho de canal necesario con detección de la desviación por DGPS</i>	<i>23</i>

1. INTRODUCCIÓN

El objeto de esta Guía es el de aportar orientación a prestadores de AtoN y a las autoridades competentes sobre:

- La utilización de AtoN en el diseño de canales de navegación, incluidos los canales dragados y los canales interiores;
- La revisión de las AtoN existentes para canales de navegación, incluidos los canales dragados y los canales interiores.

El objetivo consiste en definir una combinación adecuada de AtoN que permita el paso seguro y eficiente de buques de la forma más económica para los prestadores de servicios de AtoN.

Esta Guía se empleará como un esquema general. Para una planificación más detallada de AtoN, este documento debe utilizarse junto con otra documentación de la IALA, especialmente el Sistema de Balizamiento Marítimo (MBS, del inglés, *Maritime Bouyage System*).

1.1. ANTECEDENTES

A lo largo de los siglos, tanto el arte de la navegación como el diseño de los buques han ido evolucionado. Por ejemplo, los buques de hoy en día son mayores y más rápidos, y su equipamiento se ha vuelto mucho más complejo.

En principio, la navegación consiste en:

- La planificación de un paso seguro para un buque mediante el uso de cartas náuticas y publicaciones relevantes;
- El seguimiento o establecimiento de la posición o movimiento de un buque a lo largo del paso planificado;
- Gobernar un buque para garantizar que sigue el paso planificado.

El piloto del buque suele realizar el proceso de navegación y suele combinar la información de las cartas náuticas y la información de navegación mientras lo gobierna, al mismo tiempo. En algunos buques, a veces este proceso está totalmente automatizado, mediante el uso de herramientas electrónicas, lo que impone grandes exigencias en cuanto a la precisión de la carta, el sistema de navegación y los sistemas de control del buque. Con la tecnología existente en la actualidad, no se puede lograr la automatización completa en todas las circunstancias. En términos generales, se considera que la señalización adecuada de las vías navegables, canales de navegación, canales dragados y canales interiores mediante el uso de AtoN visuales y de radar siguen siendo importantes para reducir los riesgos.

Hasta hace poco, los navegantes empleaban los sistemas de radionavegación (también conocidos como AtoN electrónicos) y los sistemas visuales de corto alcance, de dos formas distintas. Las AtoN visuales de corto alcance se utilizaban sobre todo cerca de la costa y en vías navegables restringidas. Con el uso de sistemas de radionavegación, los buques podían navegar en alta mar con seguridad, empleando sistemas de radionavegación menos precisos. Sin embargo, teniendo en cuenta la disponibilidad, fiabilidad y los relativamente bajos costes de los sistemas electrónicos de posicionamiento de alta precisión (p. ej. GPS/DGPS y programas de carta electrónica) disponibles en la actualidad, se han ido reduciendo las diferencias entre estas dos áreas de la navegación, particularmente en aquellas zonas de transición donde las necesidades de los navegantes pasan de los requisitos de baja precisión de la navegación oceánica a los de alta precisión del pilotaje costero y de interior. A medida que vayan mejorando las ayudas electrónicas, se incrementará su utilización en las zonas donde antes se empleaban las ayudas de corto alcance. Este cambio evolutivo debe contemplarse al realizar un análisis de vías navegables y en el diseño de los sistemas de AtoN para canales de navegación.



1.2. DESARROLLO FUTURO

En el futuro, la e-navegación tendrá un impacto considerable en la combinación de AtoN de un canal de navegación, existente o planificado, y ayudará a mejorar la eficiencia de la señalización con ayudas a la navegación en canales de navegación mediante la integración de los elementos de información. Más adelante, dará lugar a:

- Seguridad mejorada a través de normas sobre la navegación segura;
- Mejor protección del medio marino;
- El potencial para conseguir mayor eficiencia y costes más bajos;
- La posibilidad de reducir la burocracia, p. ej. requisitos normalizados de información.

Los elementos de la e-navegación que, en la actualidad, se encuentran limitados por la disponibilidad de los equipos y la formación del personal estarán disponibles en el futuro. Aún tienen que resolverse las cuestiones relacionadas con la presentación de la información.

2. NECESIDADES DEL USUARIO

2.1. GENERAL

Según la Regla 13 del Capítulo V de SOLAS, cada uno de los Gobiernos Contratantes se compromete a establecer, según estime factible y necesario, las ayudas a la navegación que justifique el volumen de tráfico y exija el grado de riesgo. Por su parte, los Estados miembros de la OMI se comprometen a tener en cuenta las recomendaciones y guías internacionales al establecer tales ayudas.

2.2. PRECISIÓN

La precisión de navegación necesaria de un buque depende de su manga y calado, la sonda bajo quilla y la batimetría, así como de otros muchos factores de la vía navegable. La precisión de posición del buque debe cumplir con la precisión de navegación necesaria. No obstante, como hay muchas propiedades de los buques y de las vías navegables que interactúan, habrá situaciones en las que será imposible conseguir una mayor precisión de navegación mediante la mejora de la precisión de posición.

El navegante tiene que ser capaz de determinar con exactitud la distancia entre el buque y ciertos puntos o líneas; por ejemplo, un peligro crítico o los límites del canal de navegación. Entonces, se podrá calcular dicha distancia como la diferencia entre dos posiciones absolutas. Por consiguiente, esta distancia depende tanto de la precisión absoluta de la posición del buque como de la del objeto en cuestión.

Si existe una ayuda visual, un blanco de radar o cualquier otro dispositivo indicando el punto o la línea en cuestión, también se puede deducir la distancia de manera directa, lo que se describe como la precisión relativa. El principio de la precisión relativa suele emplearse para la disposición de sistemas visuales de la AtoN.

A efectos de la navegación general, se exige una precisión de posición de 10 m para la mayoría de los diferentes tipos de vías navegables¹. Las precisiones de posición de los sistemas de radionavegación se consideran absolutas.

Para que un buque pueda establecer su posición con suficiente exactitud y seguir una ruta en el canal de navegación por medios visuales o de radionavegación, la posición de la AtoN tiene que ser precisa y de acuerdo con las normas de la OHI.

¹ Resoluciones A.915(22) "Revisión de la seguridad marítima en relación con los requerimientos del Sistema Satelital (GNSS) para la Futura Navegación Internacional", adoptada el 29 de noviembre 2001, y A.953(23) "Sistema Mundial de Radionavegación", adoptada el 5 de diciembre de 2003, de la OMI.



La AtoN tiene que levantarse topográficamente y colocarse con, al menos, la misma precisión que la de la carta náutica. Esto se determina en la Normas para levantamientos hidrográficos (S-44) de la OHI, 5ª Edición, de febrero 2008, con precisiones de:

- 2 m para ayudas fijas (5 m cuando la profundidad del agua es superior a 100 m);
- 10 m para ayudas flotantes (20 m cuando la profundidad del agua es superior a 100 m).

En muchos casos, estos requisitos mínimos no tendrán la suficiente precisión debido a la disposición específica del sistema y sus componentes.

2.3. FIABILIDAD

A la hora de determinar la fiabilidad de las ayudas a la navegación, debe tenerse en cuenta cuestiones tales como la integridad, la disponibilidad, la continuidad y el tiempo medio de reparación (MTTR, del inglés, *Mean Time to Repair*).

Se determina el nivel exigido de la fiabilidad de las ayudas a la navegación por el nivel de los riesgos que afectan al navegante, el buque y el medio marino, que se ven mitigados por una AtoN concreta. En aquellas zonas donde se estima que el nivel de riesgo es alto, el uso de ciertos tipos de AtoN podría aportar un mayor grado de reducción del riesgo.

El diseñador tiene que considerar los objetivos de disponibilidad. Para información adicional relacionada con la categorización de AtoN individuales, el cálculo de objetivos de disponibilidad y los objetivos recomendados de disponibilidad, los prestadores de AtoN deben consultar la Recomendación O-130 de la IALA sobre la categorización y objetivos de disponibilidad para AtoN de corto alcance.

Si se emplea la continuidad para definir los requisitos de un sistema en concreto, ésta se calculará durante el tiempo que tarda un buque en pasar por la zona o el canal de navegación.

2.4. NECESIDADES ESPECIALES DE DIFERENTES GRUPOS DE USUARIOS

El nivel de los equipos de navegación de a bordo puede variar de manera significativa en los diferentes tipos de embarcaciones. Los buques que cumplen con SOLAS están provistos de equipos de navegación de a bordo homologados, que son adecuados para dar apoyo a la navegación de largo alcance y/o de baja visibilidad. Dichos buques son gobernados por personal profesionalmente capacitado y certificado. En cuanto a estos buques, se emplean las AtoN visuales como un sistema de respaldo en el caso de que fallen los sistemas de radionavegación de a bordo. Por otra parte, las AtoN visuales son de mayor importancia para los buques que no están equipados² de acuerdo con SOLAS.

Con respecto a las embarcaciones de alta velocidad y otras embarcaciones rápidas en zonas costeras que usan AtoN visuales para un paso seguro, la velocidad de tales embarcaciones puede ser el factor determinante para el sistema de AtoN³. El tiempo de reacción en estas situaciones puede ser breve y, por lo tanto, la información proporcionada por la AtoN tiene que ser rápida y sin ambigüedad alguna.

² A modo de ejemplo, embarcaciones de pesca y de ocio.

³ La Guía de la IALA n.º 1033 de la IALA sobre la prestación de AtoN para diferentes clases de embarcaciones, incluidas embarcaciones de alta velocidad, se ocupa de los requisitos de AtoN para las embarcaciones de alta velocidad.

3. PARÁMETROS DEL FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN

3.1. PRECISIÓN DEL POSICIONAMIENTO

3.1.1. SISTEMAS DE RADIONAVEGACIÓN

Se puede suponer que la precisión de posición (95%) de un buque que utiliza sistemas de radionavegación, aumentados por sistemas diferenciales⁴, según proceda, es de 10 m. Estos sistemas proporcionan información sobre la precisión y posición absolutas, que deben utilizarse junto con la información de la carta. Cuando se utilizan sistemas de radionavegación, se tendrá en cuenta la precisión de la carta.

3.1.2. AYUDAS VISUALES A LA NAVEGACIÓN

En general, las AtoN visuales no proporcionan precisiones absolutas de 10 m o menos, tal y como se presentan al usuario. Sin embargo y es de importancia, sí que ofrecen una buena precisión relativa. Son, por lo tanto, una buena herramienta para determinar la posición del buque con relación a objetos relevantes, como son los límites de un canal de navegación y los peligros.

Debido a las diferentes disposiciones de sus amarres, a veces es difícil definir la precisión posicional de las AtoN flotantes de corto alcance. Las posiciones de las AtoN flotantes se ven sujetas a variaciones a causa de la profundidad del agua, las mareas, los tipos de tren de fondeo y las capacidades de los buques de mantenimiento para el posicionamiento del dispositivo de fondeo.

3.1.3. DETECCIÓN DE LA DESVIACIÓN

No existe un método acordado a escala internacional para calcular la precisión del posicionamiento de buques en un canal de navegación que emplea boyas y otras AtoN. En la actualidad, se están realizando investigaciones sobre el cálculo y la presentación de la detección de la desviación. Por ejemplo, en Japón se ha desarrollado un nuevo método para detectar la desviación en un canal. Los pormenores de dicho método se pueden consultar en el 0.

3.2. REDUNDANCIA

Depender de una única AtoN puede llevar a una mayor necesidad de disponibilidad, que puede resultar difícil de conseguir por un prestador de servicio. Se debe considerar, por consiguiente, la implantación de múltiples AtoN para proporcionar redundancia.

La duplicación de las funciones de navegación de una única AtoN podría estar indicada para proporcionar un grado de redundancia, a fin de evitar el coste excesivo de las reparaciones de emergencia. Además, se podría prestar una duplicación temporal cuando se introducen tipos de ayudas nuevas o alternativas, permitiendo así un periodo seguro de transición.

3.3. PERCEPCIÓN

3.3.1. GENERAL

Cuando se diseña un canal de navegación, la distancia a la que el navegante puede detectar, reconocer e identificar una AtoN es una cuestión crítica. En cuanto a la percepción visual, esto se conoce como el alcance útil.

El alcance útil no depende tan sólo de las propiedades de la AtoN en sí. La atmósfera y el ojo humano también son factores determinantes. Consecuentemente, el alcance útil puede calcularse empleando las características de la AtoN, la atmósfera y el ojo humano (que se determina, además, por la experiencia del observador). También es relevante la conspicuidad de un objeto. Un objeto es conspicuo si destaca en una escena visual compleja. La orientación de la IALA sobre esta cuestión se incluye en ciertos documentos sobre la misma.

Para identificar una AtoN, es importante que se verifique la información visual proporcionada. El navegante realiza esta tarea comparando las características de la AtoN (p. ej. la forma, el color, la marca diurna y el carácter de la luz).

⁴ Resoluciones A.915(22) y A.953(23) de la OMI

Este proceso puede durar algún tiempo debido a la influencia de fenómenos intermitentes, tales como el movimiento del oleaje y la visibilidad.

3.3.2. LUCES

Se puede definir la luz de una ayuda a la navegación por su intensidad, su color y su divergencia. Cuando se mide dicha luz en una aplicación práctica, se deriva un parámetro adicional: el alcance luminoso. Bajo unas condiciones definidas, el alcance luminoso es la distancia a la que el usuario puede identificar la luz. Para identificarla, el navegante debe ser capaz de confirmar su color y carácter (*apariencia*)⁵.

Las condiciones imperantes de visibilidad varían según los diferentes emplazamientos geográficos. Por tanto, a la hora de elegir una luz para una AtoN, deben considerarse estas condiciones. Se promulgará el alcance nominal en las cartas náuticas y publicaciones para navegantes, el libro de faros, etc.

La serie E-200 de Recomendaciones de la IALA aporta información adicional sobre la determinación y medición de las señales luminosas marítimas.

3.3.3. MARCAS DIURNAS

La distancia en que una marca diurna es identificable depende de su tamaño, su forma, su color, el contraste con el fondo, las condiciones ambientales, el fondo y el alcance geográfico. Generalmente, se puede identificar el objeto cuando la amplitud angular en el ojo es superior a 3^º (tres minutos de arco).

El contraste entre el fondo y la AtoN depende de:

- La cromaticidad de la pintura de la AtoN;
- La visibilidad meteorológica concreta en la zona;
- El color y la iluminación del fondo;
- La conspicuidad.

De noche, se pueden emplear láminas reflejantes / material retrorreflectante en la ayuda para mejorar la marca diurna en condiciones de baja visibilidad.

3.3.4. RADAR

Se determina la percepción de una AtoN mediante un radar de abordaje por:

- La altura del radar del buque;
- La altura de la AtoN sobre el nivel real del mar;
- La sección equivalente de radar RCS (Radar Cross-Section) de la AtoN (incluido cualquier reflector de radar);
- Las condiciones ambientales:
 - Las interferencias de radar debido al estado del mar y las condiciones meteorológicas;
 - El movimiento de la AtoN debido a las condiciones ambientales;
- Los dispositivos activos de radar en la AtoN.

3.3.5. SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA (AIS)

Se puede mejorar la percepción mediante la instalación de un Sistema de Identificación Automática (AIS), siempre y cuando los equipos de a bordo del buque permitan la presentación de dicha información.

Algunos de los beneficios del AIS son:

- La identificación sin ambigüedad de la identidad de la AtoN;

⁵ Nota del Traductor

- El funcionamiento diurno/nocturno y en todas las condiciones meteorológicas;
- Mayor alcance que la mayoría de las señales visuales;
- Una mejor percepción, mostrando la posición en la carta electrónica del buque;
- La verificación de la integridad de la ayuda, incluidas indicaciones sobre la posición de apagado y el estado operativo / avisos de mal funcionamiento, tanto al navegante como al prestador de AtoN;
- La difusión adicional en tiempo real de datos meteorológicos e hidrográficos, así como de información sobre la seguridad, si se han instalado equipos adecuados en la AtoN.

Se pueden encontrar más detalles sobre el AIS y su implantación como AtoN en la Recomendación A-126 de la IALA sobre el uso del Sistema de Identificación Automática (AIS) en servicios de ayuda a la navegación marítima.

4. DISPOSICIÓN DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN PARA LA SEÑALIZACIÓN DE UN CANAL DE NAVEGACIÓN

4.1. GENERAL

Cuando se diseña un sistema de AtoN, debe cumplirse el Marítimo MBS de la IALA. Sin embargo, en cuanto a vías navegables interiores, las autoridades pueden haber establecido diferentes legislaciones, reglamentos y sistemas de señalización, como, por ejemplo, SIGNI (*Signs and Signals on Inland Waterways*).

El prestador de AtoN es el responsable de garantizar que se identifiquen y marquen las AtoN en las cartas náuticas (tanto en las cartas náuticas electrónicas como en las de papel).

En pasos estrechos, sinuosos o serpenteantes, puede llegar a ser difícil que el navegante correlacione, de forma oportuna, la posición del buque con la información de la carta. En tales circunstancias, las AtoN visuales serán el principal medio de navegación.

4.2. AYUDAS A LA NAVEGACIÓN QUE SEÑALIZAN LOS LÍMITES DEL CANAL DE NAVEGACIÓN

Los siguientes principios generales son aplicables al diseño de canales de navegación:

- 1 En principio, se debe señalar un canal de navegación con marcas laterales.
- 2 Habrá AtoN al menos en las curvas y confluencias del canal de navegación.
- 3 En general, las AtoN luminosas deben utilizarse para:
 - a El comienzo y el final del canal de navegación;
 - b Los cambios de dirección.
- 4 Cuando sea factible, las AtoN se colocarán a intervalos regulares a lo largo del canal de navegación.
- 5 En general, el alcance útil de las boyas durante el día y de noche debería ser mayor que la distancia entre las boyas. También debe considerarse el aspecto de la AtoN en la pantalla de radar del buque.
- 6 Las distancias entre las ayudas a la AtoN se basarán en su tamaño y visibilidad diurna.
- 7 Generalmente, las AtoN se deben situar en uno o ambos lados del canal de navegación a una distancia equivalente del eje central del mismo.
- 8 Si se necesita una alta precisión de navegación o un canal de navegación claro y nítido con balizamiento continuo, se debe establecer la señalización de AtoN en parejas (puertas). Sin embargo, si no es necesario tal grado de precisión, podría plantearse una disposición escalonada o alterna de AtoN. Por otra parte, las AtoN pueden colocarse a un solo lado del canal de navegación.
- 9 Si se requiere una distancia fija de separación entre AtoN fijas, se tendrán que establecer la marca y el tamaño adecuados. Si se prefiere un cierto tipo/tamaño de AtoN para un fin en particular, se tiene que determinar

la distancia de separación entre ayudas, que suele ser un proceso iterativo. Desde las perspectivas de la navegación, económica, técnica y operativa, se debe examinar y evaluar más de una opción en función del nivel de riesgo.

- 10 En general, un canal de navegación con una alta densidad de AtoN garantiza una navegación más fácil y precisa. No obstante, existe un punto de saturación, a partir del cual añadir más AtoN no proporciona más ayuda al posicionamiento. Para determinar la densidad idónea de AtoN, serán necesarias tanto la simulación como la evaluación de riesgos, o al menos serán muy útiles en el diseño del canal de navegación.
- 11 Para abaratar los costes de la prestación del servicio de AtoN, los prestadores de los servicios deben prever la posibilidad de definir un número limitado de los distintos tipos y clases de AtoN (por tamaño y forma) con ciertas distancias de reconocimiento y alcances útiles de las luces. De esta forma, se podrán elegir las AtoN más adecuadas de esta “caja de herramientas”, en vez de tener que diseñar una nueva para cada caso.

4.3. OTRAS MARCAS DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN EN EL CANAL DE NAVEGACIÓN

Además de balizar los límites del canal de navegación, las AtoN de corto alcance y las electrónicas se pueden emplear, en una combinación adecuada, para señalar:

- Puntos críticos;
- El centro del canal de navegación;
- Cambios de dirección;
- Peligros aislados;
- Zonas diferentes.

Se pueden emplear las siguientes marcas:

- Marcas laterales, cardinales o de aguas navegables, que se instalan directamente en el canal de navegación o en el punto que señalizan (o tan cerca a tal punto como sea posible), que podrán ser ayudas flotantes (boyas) o fijas (balizas).

4.4. AYUDAS A LA NAVEGACIÓN VISUALES FIJAS FUERA DEL CANAL DE NAVEGACIÓN

4.4.1. ENFILACIONES

En general, las enfilaciones (iluminadas o ciegas) proporcionan una alta precisión al centro del canal de navegación. Se pueden establecer ahí donde haya un tramo recto en el canal de navegación. Se deben establecer enfilaciones si:

- Es necesario señalar el centro del canal de navegación;
- Otras AtoN pueden verse afectadas por el hielo, las condiciones meteorológicas severas o las mareas;
- Cuando hay un canal dentro del canal de navegación, que debe ser empleado por los buques con un calado mayor;
- Cuando se producen fuertes corrientes cruzadas (como, por ejemplo, en los accesos a puertos);
- También pueden utilizarse para señalar los límites del canal de navegación, siempre y cuando esta función se indique con claridad en las cartas náuticas (véase el ejemplo en el 0).

La primera decisión que hay que tomar al diseñar una enfilación es definir la longitud y el ancho del tramo del canal de navegación que será definida por la misma. En general, es caro construir una enfilación para dar servicio a un canal largo, ya que la luz de enfilación del fondo debe tener la altura suficiente para que sea claramente visible sobre la estructura frontal. Las marcas de enfilación también tienen que ser lo suficientemente grandes para que sean visibles desde el otro extremo del tramo del canal de navegación señalado. Estas dos condiciones dan lugar a incrementos en la altura necesaria de la estructura de fondo que señala un canal largo.

Se pueden encontrar más detalles sobre este asunto en la Guía n.º 1023 sobre el Diseño de enfilaciones y en la NAVGUIDE de la IALA.

4.4.2. LUCES DE SECTORES

Una luz de sectores es una AtoN que exhibe diferentes colores y/o ritmos a lo largo de unos arcos designados. El color de la luz proporciona información al navegante sobre su dirección y su posición.

Un sector, o un límite entre dos sectores, puede señalar un canal de navegación, un punto de reviro, una confluencia con otros canales de navegación, un peligro o cualquier otro elemento de importancia para el navegante.

Cuando un canal de navegación está cubierto por una luz de sectores, los colores señalizan el paso seguro y las zonas peligrosas se definirán de acuerdo con el MBS.

Una luz de sectores podrá indicar uno o más de los siguientes límites y aspectos de un canal de navegación; por ejemplo:

- La posición en que se debe realizar un cambio de rumbo;
- La ubicación de bajíos, bancos, etc.;
- Una zona o posición (p. ej. un fondeadero);
- La parte más profunda de un canal de navegación.

Se pueden encontrar más detalles en la Guía n.º 1041 de la IALA sobre Luces de sectores.

Últimamente, se han producido nuevos desarrollos para optimizar las luces de sectores. Por ejemplo, las luces de sectores con límites oscilantes son una herramienta poderosa para el posicionamiento lateral en el canal de navegación y se pueden encontrar algunas consideraciones sobre su uso en la NAVGUIDE de la IALA.

5. METODOLOGÍA/PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

5.1. UN PROCEDIMIENTO SENCILLO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN CANAL DE NAVEGACIÓN BALIZADO

El diseño del balizamiento con AtoN de un canal de navegación formado por líneas rectas y curvas puede llevarse a cabo en tres pasos:

- 1 Establecer una AtoN conspicua, o bien una pareja de AtoN, en el inicio del canal de navegación.
- 2 Colocar AtoN en puntos donde:
 - a Los buques tienen que cambiar su rumbo;
 - b Hay una curva o recodo en la línea del límite o central del canal de navegación;
 - c Bajos y rocas críticas u otros peligros en el límite del canal de navegación;
 - d Se cruzan canales de navegación.
- 3 Distribuir las boyas entre estos puntos, teniendo en cuenta la distancia a la que pueden detectarse e identificarse (véase el apartado sobre la percepción de AtoN de esta Guía [apartado 3.3] y otros documentos relevantes de la IALA).

En otros casos, la distancia a la que las marcas deben detectarse e identificarse podría variar en relación con la longitud del canal de navegación, según lo siguiente:

- a Tras la realización del supuesto inicial de necesidades según el apartado 3.3, la distancia de separación entre boyas ahora se debe elegir, según lo siguiente:



- b Cuando el navegante se acerca a la boya más cercana, debe poder ver, al menos, la boya siguiente en el canal de navegación (o las próximas dos en aplicaciones de mayor precisión).

5.2. DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE CANALES

Los diseñadores de canales de navegación de las autoridades competentes deben contemplar soluciones de AtoN que minimicen los trabajos de dragado y levantamiento en la construcción y mantenimiento del canal de navegación. Se pueden encontrar más detalles sobre estas cuestiones en la Guía de la PIANC “*Access Channels*” (Canales de acceso).

5.3. EVALUACIÓN DE RIESGOS

Se pueden encontrar consejos sobre la evaluación y gestión de riesgos en la Guía 1018 de la IALA sobre la Gestión de riesgos y en la Recomendación O-134 de la IALA sobre las Herramientas de gestión de riesgos de la IALA para puertos y vías navegables confinadas.

5.4. SIMULACIÓN

Puede emplearse la simulación como una herramienta en el diseño y planificación de canales de navegación. Para consideraciones sobre el uso de la simulación en el diseño de vías navegables y la colocación de AtoN, véase la Recomendación O-138 de la IALA relativa a la Utilización de los SIG y la simulación por las autoridades de AtoN y la Guía 1058 sobre el uso de la Simulación como una herramienta del diseño de vías navegables y la planificación de AtoN.

6. EJEMPLOS DE SEÑALIZACIÓN DE CANALES DE NAVEGACIÓN

Se presentan algunos ejemplos de la señalización de canales de navegación en los 0 a 0.

7. CONCLUSIÓN

Es posible que haya que tener en cuenta muchos aspectos diferentes cuando se diseña un sistema de AtoN para un canal de navegación existente o recientemente diseñado. Los requisitos se pueden definir mediante parámetros como la precisión, la fiabilidad y la percepción. Los parámetros varían en función del tipo de canal de navegación, el tráfico de buques y otros factores. El diseño debe incluir las consideraciones y requisitos de organismos internacionales, tales como la OMI, la OHI, la PIANC y la IALA.

La e-navegación integrará la información sobre las AtoN visuales en el canal de navegación con toda la información disponible en el puente del buque y, así, contribuirá al uso óptimo del canal de navegación. Esto está sujeto a un mayor desarrollo, porque muchos buques no están equipados para hacer uso de las aplicaciones de la e-navegación. Un enfoque sistemático al diseño de sistemas de AtoN y a los canales de navegación constituye un paso inicial hacia la integración de AtoN en la e-navegación.

La mejora continua de los principios del balizamiento y el posicionamiento de AtoN optimizará el diseño de los canales de navegación, impulsará eficiencias y protegerá el medio marino.

8. ACRÓNIMOS Y DEFINICIONES

8.1. ACRÓNIMOS

AIS (Automatic Identification System) Sistema de Identificación Automática



AtoN	(<i>Aid(s) to Navigation</i>) Ayuda/s a la navegación
DGPS	(<i>Differential Global Positioning System</i>) Sistema Diferencial de Posicionamiento Global
TPM	Toneladas de peso muerto
ENC	(<i>Electronic Navigation Chart</i>) Carta náutica electrónica
AEC	Ancho efectivo del canal de navegación
GPS	(<i>Global Positioning System</i>) Sistema de Posicionamiento Global
HSC	(<i>High Speed Craft</i>) Embarcaciones de alta velocidad
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
OHI	Organización Hidrográfica Internacional
OMI	Organización Marítima Internacional
m	Metro
MARCOM	Un grupo técnico de trabajo de la PIANC
MBS	(<i>IALA Maritime Buoyage System</i>) Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA
MTTR	(<i>Mean Time to Repair</i>) Tiempo medio de reparación
NM	millas náuticas
PEL	(<i>Port Entry Light</i>) Luz de entrada a puerto
PIANC	(<i>World Association for Waterborne Transport Infrastructure</i>) Asociación Internacional de Infraestructuras del Transporte Acuático
Racon	(<i>Radar Beacon</i>) Baliza de radar
RB	Radio de borneo
SIGNI	(<i>Signs and Signals on Inland Waterways</i>) Señales y signos en vías navegables interiores, ONU, ECE, Resolución N.º22
SOLAS	Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar
S-44	Normas para levantamientos hidrográficos (OHI)
TEU	(<i>Twenty-Foot Equivalent Units</i>) Unidades equivalentes a veinte pies
STM	Servicio/s de Tráfico Marítimo
WIG	(<i>Wing-in-Ground</i>) Efecto suelo (embarcación de)

8.2. DEFINICIONES

Tabla 1 Definiciones

Término / Acrónimo	Definición / Ampliación
Precisión absoluta	La precisión de una estimación de posición con respecto a las coordenadas geográficas o geodésicas de la Tierra
Posición absoluta	Una estimación de posición con respecto a las coordenadas geográficas o geodésicas de la Tierra
Prestador de ayudas a la navegación	Cualquier organismo, sea público o privado, que esté obligado a desplegar AtoN como parte de sus funciones
Disponibilidad	El porcentaje del tiempo en que una ayuda, o sistema de ayudas, realiza la función exigida bajo las condiciones establecidas. La indisponibilidad puede ser a causa de interrupciones programadas o no programadas
Canal interior	Un tramo estrecho de vía navegable interior creada artificialmente para facilitar la navegación
Canal	Parte de unas aguas (por lo general someras) con profundidad suficiente para buques, que haya sido designada para buques o empleada habitualmente por ellos. Los límites del canal pueden definirse mediante riberas artificiales o naturales, o por AtoN
Conspicuidad	La capacidad de un objeto de destacarse de su entorno
Continuidad	Suponiendo un receptor sin defectos, la probabilidad de que un usuario sea capaz de determinar la posición con la precisión especificada y de hacer un seguimiento de la integridad de la posición así determinada durante el intervalo (corto) de tiempo aplicable para una operación en particular dentro de una parte limitada de la zona de cobertura
e-Navegación	La recopilación, integración, intercambio, presentación y análisis armonizados de información marítima, tanto a bordo como en tierra, por medios electrónicos para mejorar la navegación por atraque y los servicios relacionados para garantizar la seguridad en el mar y la protección del medio marino
Canal de navegación	Una vía navegable en carta y balizada, que ha sido recomendada por una autoridad competente
Embarcaciones de alta velocidad (HSC, del inglés, <i>High Speed Craft</i>)	Embarcaciones capaces de alcanzar una velocidad máxima equivalente o superior a $3,7^{\nabla} 0,1667 \text{ ms}^{-1}$ Donde: ∇ = volumen de desplazamiento correspondiente a la línea de flotación de diseño (m^3) Esto excluye ekranoplanos (WIG)
Integridad	La capacidad de proporcionar avisos a usuarios, dentro de un tiempo especificado, cuando no debe utilizarse un sistema para la navegación
Alcance luminoso	Bajo unas condiciones definidas, la distancia a la que el usuario puede identificar una luz
Alcance nominal	El alcance luminoso en una atmósfera homogénea en que la visibilidad meteorológica es de 10 millas náuticas
Radionavegación	Radiodeterminación utilizada a efectos de la navegación, incluidos los avisos de obstrucción
Sistema de radionavegación	Un sistema de navegación que utiliza radiofrecuencias para determinar una posición



Término / Acrónimo	Definición / Ampliación
Precisión relativa	La precisión con la que un usuario puede determinar la posición relativa de otro usuario del mismo sistema de navegación al mismo tiempo
Fiabilidad	La capacidad de un dispositivo o sistema para cumplir los requisitos de su uso previsto dentro de unos límites definidos y durante un periodo de tiempo establecido
Alcance útil	El alcance práctico y conveniente para que un navegante identifique una AtoN
Vías navegables	Vías de navegación
Ekranoplano (WIG, del inglés, <i>Wing in Ground</i>)	Embarcaciones cuyo casco se alza por completo sobre la superficie del agua mediante fuerzas aerodinámicas generadas por el efecto suelo y sin desplazamiento alguno



ANEXO A DOCUMENTACIÓN RELEVANTE DE LA IALA

A 1. GUÍA DE LA IALA SOBRE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN (“NAVGUIDE”)

Dicho documento aporta orientación general, en particular los capítulos sobre AtoN y la gestión de riesgos.

A 2. RECOMENDACIONES DE LA IALA

- 4 R-101 sobre Balizas de radar marítimas
- 5 E-105 sobre la Necesidad de cumplir normas nacionales e internacionales
- 6 E-110 sobre los Caracteres rítmicos de luces en ayudas a la navegación
- 7 E-111 sobre Señales de tráfico portuario
- 8 E-112 sobre Luces de enfilación
- 9 Recomendación O-113 sobre la Señalización de puentes fijos sobre aguas navegables
- 10 A-126 sobre la Utilización del AIS en servicios de ayuda a la navegación marítima
- 11 O-130 sobre la Categorización y objetivos de disponibilidad para ayudas a la navegación de corto alcance
- 12 O-138 sobre la Utilización de los SIG y la simulación por autoridades de ayuda a la navegación
- 13 E-200-0 sobre a las Señales luminosas marítimas - Resumen
- 14 E-200-1 sobre a las Señales luminosas marítimas - Colores
- 15 E-200-2 sobre las Señales luminosas marítimas - Cálculo, definición y notación del alcance luminoso
- 16 E-200-4 sobre las Señales luminosas marítimas - Determinación y cálculo de la intensidad eficaz
- 17 E-200-5 sobre las Señales luminosas marítimas – Estimación del funcionamiento de aparatos ópticos

A 3. GUÍAS DE LA IALA

- 1 1010 sobre el Funcionamiento de balizas de radar de largo alcance
- 2 1018 sobre la Gestión de riesgos
- 3 1023 sobre el Diseño de enfilaciones
- 4 1033 sobre la Prestación de AtoN para diferentes clases de embarcaciones, incluidas las de alta velocidad
- 5 1041 sobre Luces de sectores
- 6 1046 sobre un Plan de respuesta para la señalización de nuevos naufragios
- 7 1051 sobre la Prestación de AtoN en zonas urbanas
- 8 1058 sobre la Utilización de la simulación como una herramienta para el diseño de vías navegables y la planificación de AtoN
- 9 1061 sobre la Aplicación de la luz – Iluminación de estructuras

También se tendrán en cuenta otras Recomendaciones y Guías de la IALA sobre STM, AIS, balizas de radar y DGPS.

ANEXO B DETECCIÓN DE LA DESVIACIÓN – MÉTODO JAPONÉS

Extracto del método japonés (contribución al Apartado 5 “Disposición de canales de navegación y el ancho de canales” del borrador del informe del Grupo de Trabajo 49 de la PIANC MARCOM “Las dimensiones horizontales y verticales de canales”).

B 1. CLASIFICACIÓN DE CANALES Y ELEMENTOS DEL ANCHO DE CANALES

En general, se puede suponer que el ancho de los canales consiste en los elementos fundamentales que figuran a continuación:

$$W_{mi} = (W_m(\beta) + W_{my} + W_m(S))$$

Ecuación 1 Ancho del carril básico de maniobra:

donde

$W_m(\beta)$ es el ancho necesario para contrarrestar las fuerzas del viento y la corriente

W_{my} es el ancho necesario para contrarrestar el movimiento de guiñada

$W_m(S)$ es el ancho necesario para detectar la desviación.

El sobreaancho necesario para contrarrestar las fuerzas del efecto banco: W_{bi} ;

El sobreaancho necesario para contrarrestar las fuerzas de interacción de dos buques en condiciones de paso W_c ;

El sobreaancho necesario para contrarrestar las fuerzas de interacción de dos buques en condiciones de adelantamiento: W_{ov} .

Se señala que el ancho total de canal se obtiene sumando los elementos necesarios mencionados arriba, pero no necesariamente todos, en función de los fines del diseño y las condiciones detalladas del canal bajo estudio.

B 2. EQUIPAMIENTO Y SISTEMAS DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN

Un buque que navega por un canal suele sufrir una cierta desviación de su línea de rumbo debido a varias causas, junto con fuerzas externas, aun cuando el que lo gobierna cree que el buque sigue su rumbo. La detección de la desviación puede resultar imposible cuando ésta es muy reducida, pero el que gobierna el buque podrá detectar una desviación cuando se desvía lateralmente de su línea de rumbo de forma considerable, tal y como se muestra en Figura 1. El grado de desviación que puede detectar la persona que gobierna el buque depende del tipo de equipamiento y los sistemas de ayuda a la navegación, así como de la forma en que se utilizan. Se debe tomar nota de que el grado de desviación a detectar juega un papel importante en el diseño del ancho del canal. En general, se podrá adoptar un ancho más estrecho para un canal dotado de equipos y sistemas más avanzados, que puedan detectar la desviación con mayor facilidad. Por otra parte, se puede permitir que un buque mayor navegue, incluso en un canal existente que no se puede ampliar a causa de limitaciones topográficas, dotándolo de equipos y sistemas más avanzados.

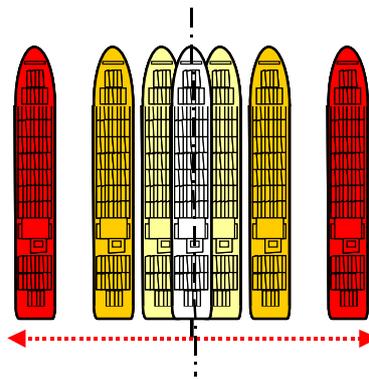


Figura 1 *Zona indetectable*

En general, hay tres tipos de equipos y sistemas disponibles para la detección de la desviación, que son los siguientes:

La detección de la desviación mediante la observación a simple vista de las boyas iluminadas ubicadas más adelante a ambos lados del canal.

La detección de la desviación mediante la observación por radar de las boyas iluminadas ubicadas más adelante a ambos lados del canal.

La detección de la desviación mediante GPS o DGPS.

En cada canal a diseñar, el ancho de canal necesario para la detección de la desviación puede estimarse mediante una desviación de una línea de rumbo, detectable con los equipos y sistemas mencionados arriba.

B 3. ANCHO NECESARIO PARA DETECTAR LA DESVIACIÓN

En cuanto a la detección de la desviación mediante la observación a simple vista o por radar de las boyas iluminadas ubicadas más adelante a ambos lados del canal, el ancho de canal necesario para la detección de la desviación puede estimarse en función de un ángulo θ , formado por dos líneas desde un buque a dos boyas ubicadas más adelante a ambos lados, tal y como se muestra en la Figura 2, que se define como:

$$\theta = 2 \arctan \left(\frac{W_{\text{boya}}}{2L_F} \right)$$

Ecuación 2 *Ancho de canal necesario para la detección de la desviación a simple vista o utilizando radar*

donde

W_{boya} es la distancia entre dos boyas

L_F es la distancia a lo largo de la línea central del canal a las boyas iluminadas ubicadas más adelante.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los valores de W_{boya} y L_F se dan de la manera que se expone a continuación, de acuerdo con el canal bajo estudio de un canal recién diseñado, o bien de uno existente.

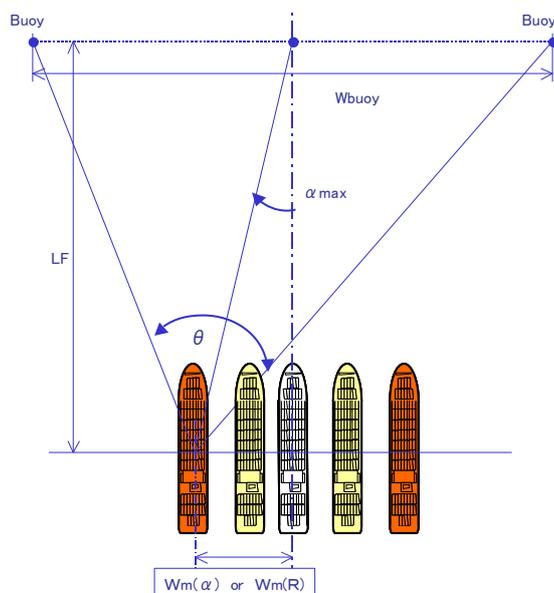


Figura 2 Carril de maniobra detectable mediante boyas iluminadas a ambos lados del canal de navegación

B 3.1. CANAL RECIÉN DISEÑADO

En este caso, W_{buoya} es el ancho de canal determinado en último lugar, que se desconoce al iniciar el diseño del ancho del canal. Se emplea, por tanto, una técnica de iteración, tal y como se describe en el apartado 5.1, donde se asume que habrá cierto número de iteraciones hasta que el valor computado en última instancia sea idéntico al que se suponía. Los valores de L_F pueden fijarse de manera empírica $7L_{OA}$ para un canal unidireccional $(3.5 - 7)L_{OA}$ y para un canal bidireccional. Además, L_F puede fijarse con un valor $(0,5 - 1,0)$ multiplicado por la distancia entre dos boyas sucesivas en un canal.

B 3.2. CANAL EXISTENTE

W_{buoya} se fija como una distancia entre dos boyas a ambos lados del canal y L_F se fija como una distancia entre dos boyas sucesivas en el canal. Sin embargo, cuando se cree que la distancia entre dos boyas sucesivas es algo larga, se podrá fijar, de manera similar al caso de un canal recién diseñado, $7L_{OA}$ para un canal unidireccional y $(3.5 - 7)L_{OA}$ para un canal bidireccional.

B 3.3. DETECCIÓN DE LA DESVIACIÓN MEDIANTE LA OBSERVACIÓN A SIMPLE VISTA DE BOYAS ILUMINADAS

Tal y como se muestra en la Figura 2, un ángulo formado por dos líneas de una línea central de un canal y una línea desde un buque hasta un punto medio entre dos boyas se denota por α . Se introduce el concepto de la desviación máxima, que se define como que casi todos los que gobiernan un buque son capaces de detectar una desviación de su línea de rumbo. Correspondiente a esta máxima desviación, el ángulo de α se denota por α_{max} , tal y como se muestra en la Figura 2. Haciendo uso del concepto enunciado arriba de α_{max} , el ancho de canal necesario para la detección de la desviación mediante la observación a simple vista de boyas iluminadas se puede calcular con:

$$W_m(\alpha) = L_F \tan(\alpha_{max})$$

Ecuación 3 El ancho de canal necesario para la detección de la desviación a simple vista

Donde α_{max} se podrá calcular de forma práctica con una fórmula empírica desarrollada en función de los datos estadísticos elaborados a partir de experimentos a escala real, que viene dado por:

$$\alpha_{max} = 0,00176\theta^2 + 0,008\theta + 2,21372$$

Ecuación 4 Definición de α_{max}

B 3.4. DETECCIÓN DE LA DESVIACIÓN MEDIANTE LA OBSERVACIÓN POR RADAR DE BOYAS ILUMINADAS

El ancho de canal necesario para la detección de la desviación mediante la observación por radar de boyas iluminadas se puede calcular con:

$$W_m(R) = \left(\frac{W_{buoy}}{\sin \theta} \right) \sin \gamma$$

Ecuación 5 El ancho de canal necesario para la detección de la desviación por radar

Donde:

γ es el error de la observación de dirección por el radar

Las siguientes expresiones se derivan con facilidad a partir de la Ecuación 5 para dos casos de $\gamma = 2$ grados y 1 grado, respectivamente.

$$W_m(R) = 0.0349 \left(\frac{W_{buoy}}{\sin \theta} \right)$$

Ecuación 6 Ancho de canal necesario con un error de dirección de 2 grados

$$W_m(R) = 0.0175 \left(\frac{W_{buoy}}{\sin \theta} \right)$$

Ecuación 7 Ancho de canal necesario con un error de dirección de 1 grado

B 3.5. DETECCIÓN DE LA DESVIACIÓN MEDIANTE GPS

En operaciones de maniobra de buques que utilizan GPS, el que lo gobierna podrá juzgar y detectar la posición del buque mediante una imagen de la información GPS presentada en una carta electrónica. Aunque la imagen de la información en la carta electrónica sea lo suficientemente exacta, únicamente se realiza la detección de la desviación percibiendo a simple vista un movimiento del buque en la pantalla y, por consiguiente, hay que tener en cuenta algún grado de error de percepción. En cuanto a la detección de la desviación mediante GPS, se supone que el error de percepción mencionado arriba es equivalente a la mitad de la manga del buque. Además, se supone que el margen de error de la información GPS es de 30 metros para un GPS estándar y cero para un DGPS. Por lo tanto, se puede calcular el ancho de canal necesario para detectar la desviación con GPS y DGPS, respectivamente, con las siguientes ecuaciones:

$$W_m(GPS) = 0.5B + 30 \text{ (unit: metre)}$$

Ecuación 8 Ancho de canal necesario con detección de la desviación por GPS



$$W_m(DGPS) = 0.5B \text{ (unit: metre)}$$

Ecuación 9 Ancho de canal necesario con detección de la desviación por DGPS

Por otra parte, se señala que debe calcularse el ancho de canal necesario para detectar la desviación mediante GPS, considerando detenidamente los riesgos asociados a la utilización de GPS y de los equipos relacionados con el GPS.

B 4. REFERENCIAS

- [1] Ohtsu, K., Yoshimura, Y., Hirano, M., Tsugane, M. y Takahashi, H.: Design standard for fairway in next generation. Asia Navigation Conference 2006, n.º 26, 2006.
- [2] Asociación Japonesa de Puertos: Normas técnicas y comentarios de instalaciones portuarias en el Japón, 2007 (en japonés)



ANEXO C DISEÑO DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN - EL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO DE LA PLATA

El canal de navegación del Río de la Plata es un canal parcialmente recto y parcialmente curvado desde una posición a 129,1 millas en dirección al mar del acceso al Puerto de Buenos Aires.

Se pueden ver más datos en el siguiente cuadro.

C 1 ALGUNOS DATOS BÁSICOS

Vía navegable bajo análisis

Longitud:	63,8 millas náuticas
Ancho:	100 m (canal unidireccional) (existe un sector bidireccional de 160 m)
Profundidad de diseño:	34 pies
Carrera de marea	0,60 m

C 2 TRÁFICO DE BUQUES

Tráfico total en la zona en 2006:	7,760 buques
incluyendo	
Portacontenedores:	1,726
Graneleros:	3,134
Carga general:	962
Petroleros:	1,386
Otros:	552

C 3 MÁXIMO TAMAÑO DE LAS DIMENSIONES DE BUQUE

	Eslora entre perpendiculares	Manga	Calado de diseño
Portacontenedores	261 m	40 m	41 pies
Granelero	260 m	42 m	42 pies
Petrolero	241 m	32,2 m	49 pies

C 4 AYUDAS A LA NAVEGACIÓN

El sistema de balizamiento se ha diseñado con “parejas de boyas” con los siguientes parámetros:

Distancia de separación entre boyas	Promedio 3.000 m (máx. 5.000 m, mín. 1.100 m)
Tipos de boya	Boyas flotantes y boyas de espeque
Tamaño por encima del nivel del agua de boyas flotantes:	4 m
Tamaño por encima del nivel del agua de boyas de espeque:	8 m

Además, cuenta con las siguientes AtoN:



- 1 Cobertura de DGPS (bajo demanda - servicio privado)
- 2 Control de STM y AIS por la Prefectura Naval Argentina (Guardia Costera Nacional)
- 3 Servicios obligatorios de practicaaje

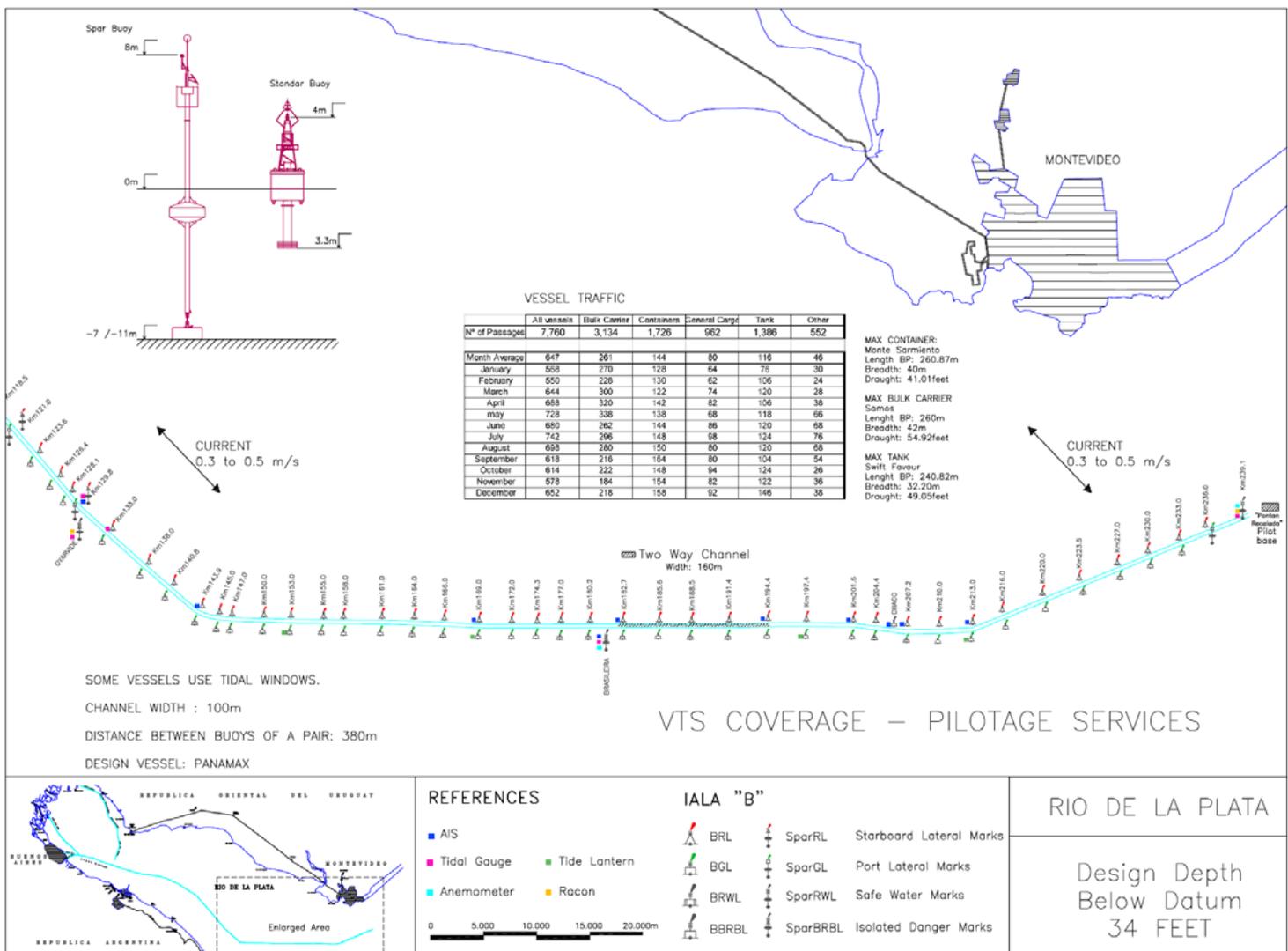


Figura 3 Diseño de ayudas a navegación en el Río de la Plata

ANEXO D DISEÑO DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN – FINLANDIA

D 1 MUSSALO

DATOS DEL CANAL DE NAVEGACIÓN Alineación y balizamiento: El canal comienza al SO del faro de Kotka y sigue en dirección NE. Al E de la marca de límite de Kaakkoniemi, gira hacia al norte en dirección al puerto de aguas profundas de Kotka. Longitud 51 km/28 millas náuticas. 5 líneas de navegación, marcadas por paneles y luces de sectores. Marcas cardinales en el canal, marcas laterales en el puerto. Iluminadas. Dimensiones: Embarcación de diseño: Granelero de 125.000 TPM, e = 300 m, m = 48 m, t = 15,3 m. Calado autorizado 15,3 m, profundidad con margen de seguridad mínimo (MW 90) 18,4 m, en la línea de navegación en el puerto 17,5 m. Anchura mínima 200 m. Fondeaderos, etc.: Fondeadero al NE de Kaunissaari, cerca de la confluencia. Profundidad con margen de seguridad mínimo 18,4 m.

NAVEGABILIDAD Condiciones de navegación: La aproximación hasta la isla de Viikarinsaari se hace en mar abierto, sin abrigo contra vientos del E-S-SO. La navegación puede verse obstaculizada por vientos fuertes y el estado del mar. El tramo más estrecho del canal está a la altura de la marca de límite Elo-2, donde sólo tiene un ancho de 510 m. En la línea de navegación en el puerto el ancho es de 200 m. RECOMENDACIONES (canal) Velocidad: Los buques que navegan con su máximo calado deben tener en cuenta el efecto *squat*; velocidad de diseño de 16,5 nudos (prof. seg. 18,4) en la aproximación, 13 nudos (prof. seg. 17,5 m) en el puerto.

SERVICIO DE TRÁFICO Practicaje: Pedir práctico, Tel. +358 204 48 5604. Posición de embarque del práctico 60°07,49\, 26°29,65\. Distancia de practicaje 25 millas náuticas. STM: Kotka STM, Canal 67 VHF. Remolcadores: Prestados por Alfons Håkans Ltd. Pedidos por el práctico, si fuera necesario.

PUERTO Muelles: Muelle A: longitud 609 m, profundidad con margen de seguridad mínimo 15,0 - 17,5 m; Muelle B: longitud 500 m, profundidad con margen de seguridad mínimo 11,7 m; Muelle C: longitud 936 m, profundidad con margen de seguridad mínimo 11,7 m; Terminal de Graneles Líquidos, atraque N 1: longitud 69 m, profundidad con margen de seguridad mínimo 15,0 m; Terminal de Graneles Líquidos, atraque N 2: longitud 60 m, profundidad con margen de seguridad mínimo 11,5 m. Manipulación de carga: Muelle A: – cuatro grúas (40 t), Muelle B: – dos grúas (40 t) y una grúa móvil, Muelle C: – cuatro grúas (50 t). Cuenca del puerto: Se regulará la velocidad de los buques para garantizar que no se causen daños o perjuicios.

CONTACTOS STM: Kotka STM Tel. +358 204 48 5604 fax +358 204 48 5600 Puerto: Puerto de Kotka tel. +358 5 2344 280 fax +358 5 2181 375

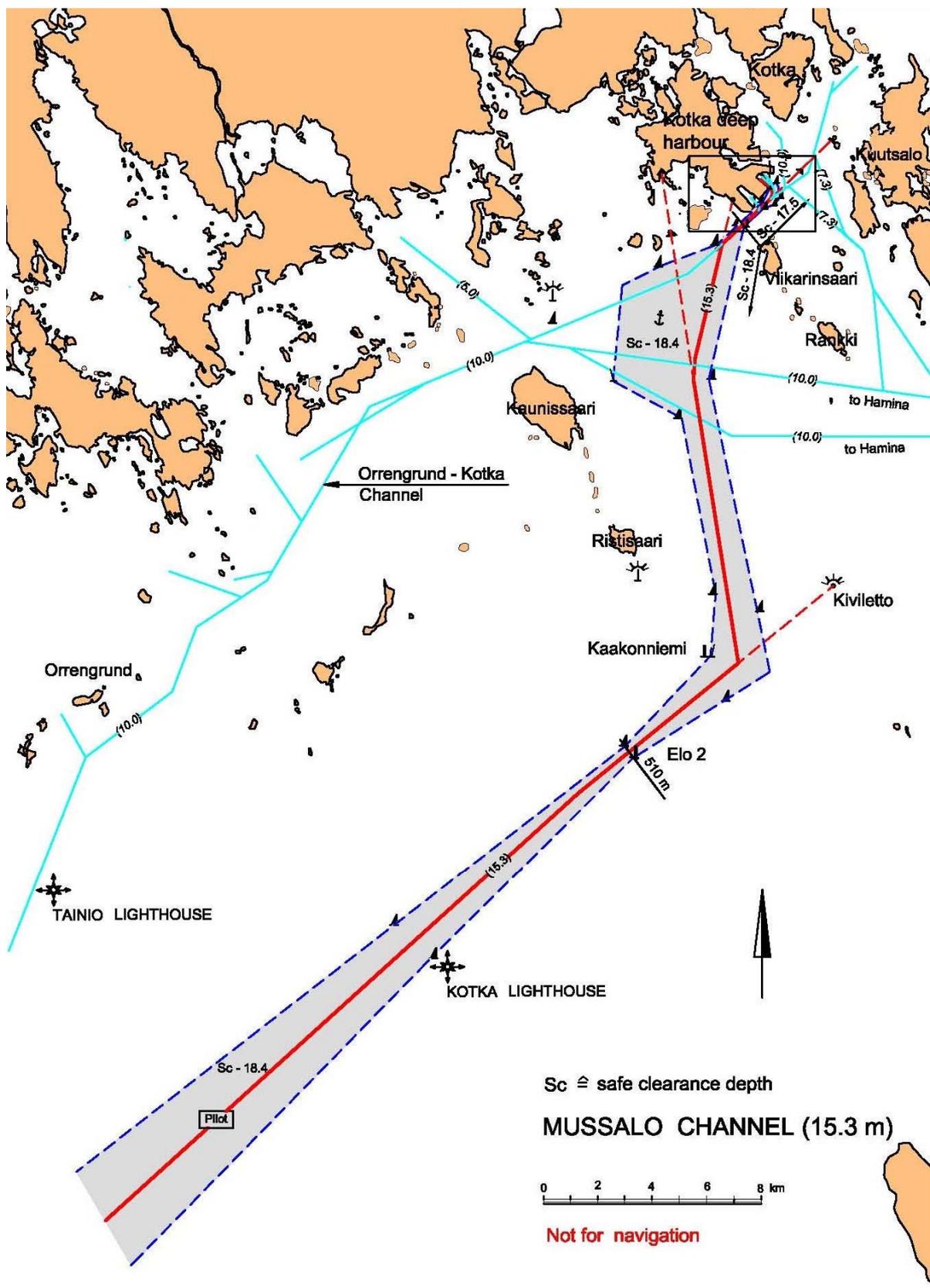


Figura 4 Canal de Mussalo



D 2 RAUMA

D 2.1. Canal de Rauma

DATOS DEL CANAL

Alineación y balizamiento: Faro V de Rauma – a babor. Cuatro líneas. Longitud aprox. 26 km/14 millas náuticas. Marcas laterales luminosas.

Dimensiones: Embarcación de diseño: Embarcación Ro-Ro, E = 210 m, M= 30 m, T = 10,0 m. Calado máximo autorizado 10,0 m, profundidad con margen de seguridad mínimo (MW95) en el canal exterior-12,0 m, en el canal interior -11,5 m. Ancho mínimo 120 m, en el paso de Kovankivet 160 m; radio de curvatura mínimo 1000 m; velocidad de diseño en pasos dragados 12 nudos.

Fondeadero y otras zonas especiales: En el canal exterior, fondeadero al O del faro de Rauma; atención al cable al S del faro. En el canal interior, fondeadero y paso en la zona ampliada al N de Rihtniemi o al SO de Iso Järviluoto, aprox. 1,5 km antes de llegar al puerto.

NAVEGABILIDAD

Condiciones de navegación: El canal exterior de Rihtniemi está sin abrigo y abierto a los vientos del S-O-N. A partir de Rihtniemi, el canal continúa como uno estrecho y densamente balizado, al abrigo de isletas, islas y el continente. Pueden darse corrientes cruzadas, que dificultan las maniobras de grandes buques, cuando se navega por la línea de Urmluoto en el paso de Kovankivet. Fuertes vientos también agravan la desviación lateral.

Condiciones de hielo: En el invierno, suelen moverse en el canal, más allá de Hylkikarta, campos de hielo. El movimiento del hielo puede dar lugar a que las boyas se hundan bajo la superficie y que sus dispositivos de iluminación se dañen.

RECOMENDACIONES OPERATIVAS (canal y puerto)

Viento: Velocidad máx. de ráfagas de viento cruzado de 18 m/s durante el día y de 15 m/s de noche. Límites menores para buques Ro-Ro y embarcaciones lastradas. Ráfagas de viento máx. de 11 m/s para embarcaciones lastradas, que son mayores que el buque de diseño. “Viento cruzado” significa un viento que difiere de la línea de Urmluoto por más de 30°. Se corta el practicaaje cuando la velocidad del viento supera los 20 m/s.

Visibilidad: Las líneas de Urmluoto deben ser visibles de noche.

Recomendaciones específicas según el buque: Sólo se ejerce de día el practicaaje en buques mayores al buque de diseño.

Nueva práctica de calado autorizado en el canal aplicado a partir del 15 de julio 2005 (Aviso a navegantes 17/2005, 20/6/2005).

SERVICIO DE TRÁFICO

Practicaaje: Pedir práctico, Tel. +358 204 48 6645. Posición de embarque del práctico 61°07,5', 21°10,4'. Distancia de practicaaje 10 millas náuticas.

STM: STM Costa Oeste, Canal 67

BABOR

Muelles: Petäjäs: longitud 445 m, profundidad con margen de seguridad mínimo 11,0; Iso-Hakuni: 6 amarres juntos/amarres Ro-Ro, profundidad con margen de seguridad mínimo -11,0 m; Puerto petrolero: profundidad con margen de seguridad mínimo -9,15 m; Puerto central: longitud 665 m, amarre Ro-Ro, profundidad con margen de seguridad mínimo -6,70.- 7,30 m; Laitsaari: longitud 246 m, profundidad con margen de seguridad mínimo 9,05; Puerto interior: 2 muelles para sustancias químicas, profundidad con margen de seguridad mínimo -5,10.- 7,05 m.

Manipulación de carga: Petäjäs: grúas de 40 t, 45 t y 16 t, dispositivo de succión de grano; Iso-Hakuni: grúas y apiladores de contenedores; Puerto petrolero: conductos, potencia de bombeo 1.000 t; Puerto central: grúa de 6 t. Grúas montadas en vehículos (50t y 100 t) utilizadas en todas las partes del puerto.

INFORMACIÓN DE CONTACTO

STM: STM Costa Oeste, Pori Tel. +358 204 48 6645 Fax +358 204 48 6646

Babor: Puerto de Rauma, Rauma Tel. +358 2 83 44 710 Fax +358 2 822 63 69

Capitán del Puerto Hannu Asumalahti

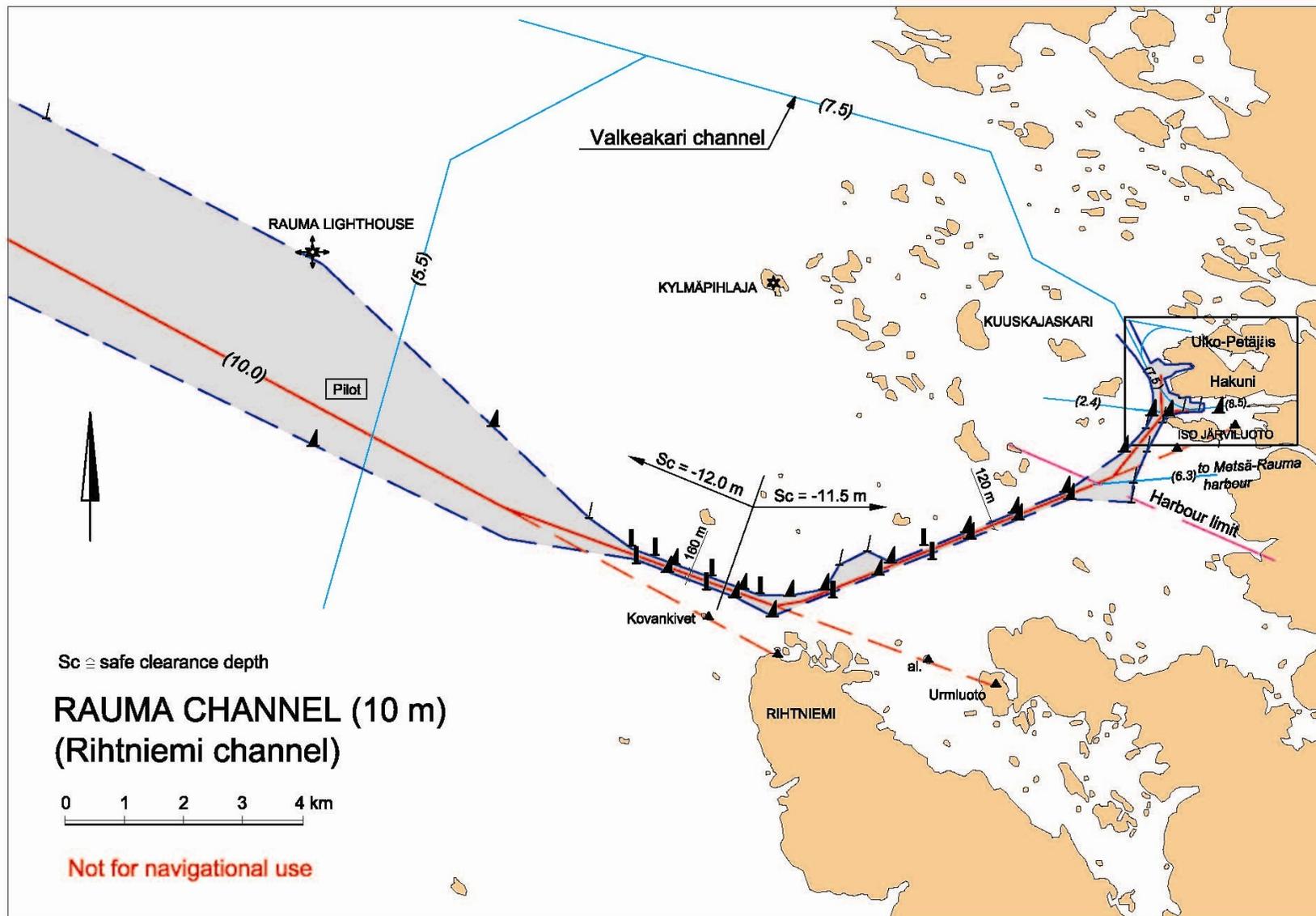


Figura 7 Canal de Rauma



ANEXO E DISEÑO DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN - LE HAVRE Y PORT 2000, FRANCIA

Le Havre (el primer puerto de Francia) es un puerto de aguas profundas con acceso diurno y nocturno para los portacontenedores más grandes (de 10.000 TEU y más).

Ubicadas al sur del puerto, las instalaciones del puerto petrolífero de Le Havre consisten en 8 muelles especializados, incluidos dos para recibir petroleros de 230.000 a 280.000 TPM.

Recientemente, se ha creado un puerto exterior (terminales de Port 2000), que es capaz de albergar y manipular con rapidez los portacontenedores más grandes del mundo en condiciones logísticas y náuticas óptimas.

La zona también está cerca de uno de los lugares de mayor importancia para embarcaciones de ocio y de pesca.

E 1 TRÁFICO DE BUQUES (AL AÑO)

Flujo total del tráfico:	80 millones de toneladas
Flujo del tráfico de contenedores:	2,5 millones TEU
Petróleo:	40 millones de toneladas
Servicios roll-on/roll-off:	472,000 vehículos
Pasajeros:	355,000

Aproximadamente 7.500 escalas de buques

E 2 ANÁLISIS DE LA VÍA NAVEGABLE PRINCIPAL

Longitud:	12 millas náuticas desde la boya de recalada al acceso principal
Ancho:	450 metros (canal bidireccional)

E 3 VÍA NAVEGABLE DE PORT 2000

Longitud:	3 millas náuticas
Ancho:	350 metros (canal bidireccional para buques de hasta 55 m de manga)
Profundidad de diseño:	15 metros + la marea
Carrera de marea:	8,00 metros

E 4 AYUDAS A LA NAVEGACIÓN

El sistema de balizamiento se ha diseñado con “parejas de boyas” con los siguientes parámetros:

- Distancia de separación media entre boyas 1.400 m (máximo de 2.000 m en el acceso, mínimo de 1.000 m en Port 2000);
- Tipos de boya: 18 boyas flotantes y 3 balizas fijas (LH 17, 18 y 21) para balizar el ancho efectivo del canal de navegación (AEC);
- Tamaño de las boyas flotantes por encima del nivel del agua: 3,5 m con un alcance luminoso de 3 millas de noche;
- Tamaño de las balizas por encima del nivel más alto del agua: 5 m.

Todas las luces se han sincronizado mediante parejas de boyas y secuenciales (método GPS de sincronismo)

Además, cuenta con las siguientes AtoN:



Operan de día y de noche las enfilaciones que cubren el canal principal hasta la boya de recalada (altura de la luz anterior de 36 metros con un alcance de 25 millas de noche; altura de la luz posterior de 78 metros con un alcance de 25 millas de noche);

- Una luz de sectores de precisión tipo PEL , con límites oscilantes para el canal de Port 2000 (5 sectores en 5º), que se opera de día y de noche;
- Varias luces de sectores en el puerto;
- Cobertura DGPS;
- Control STM y AIS por la Autoridad Portuaria de Le Havre;
- AIS-AtoN en la boya de recalada;
- Servicios obligatorios de practicaaje.

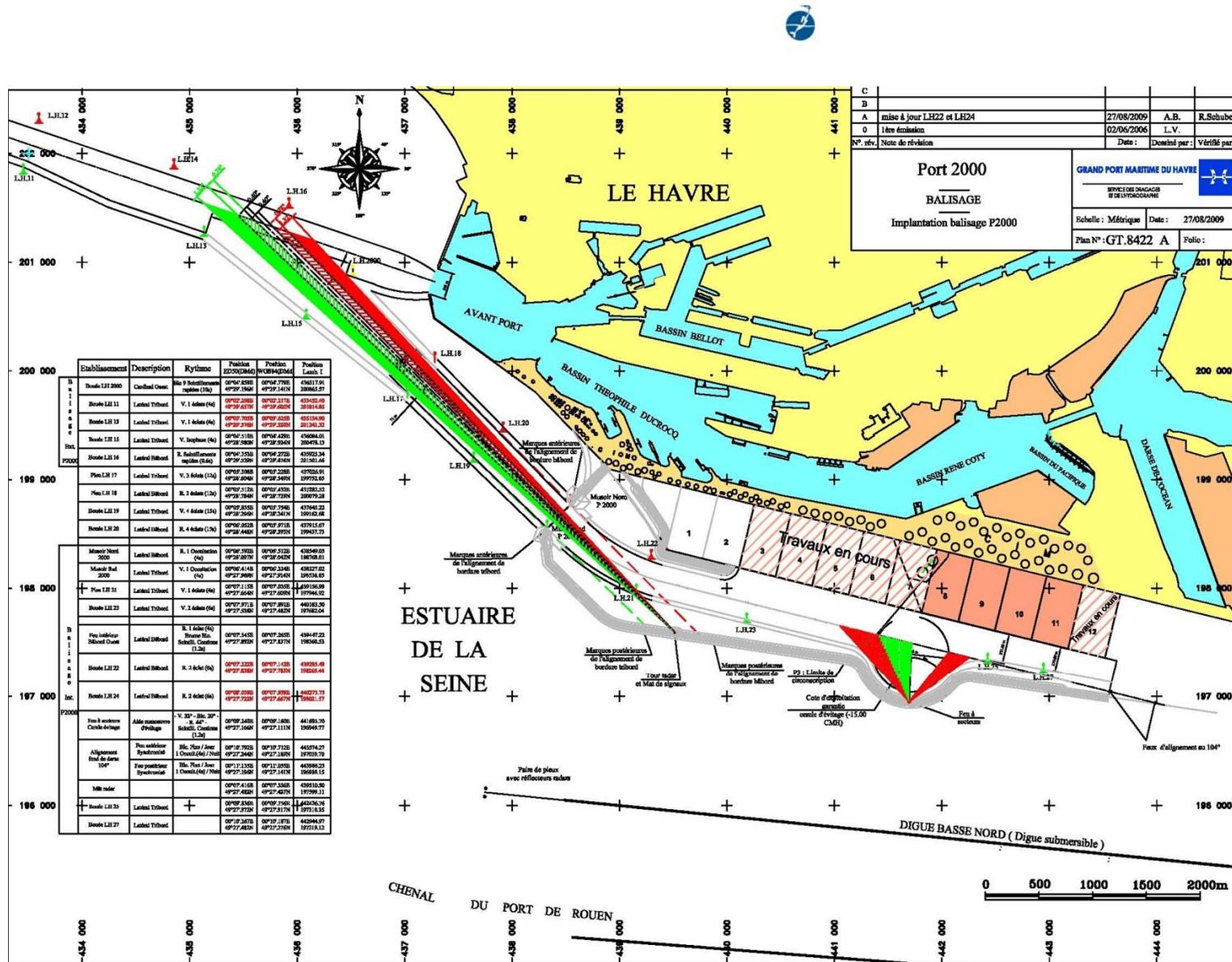


Figura 9 Puerto de Le Havre



ANEXO F DISEÑO DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN- EL "SEEKANAL ROSTOCK"

El Seekanal Rostock es un canal recto con boyas a partir de una posición situada a 6 millas mar adentro del acceso de Rostock/ Warnemünde, que conduce a la desembocadura del río Warnow y tiene los siguientes datos de diseño:

F 1 VÍA NAVEGABLE

Parte exterior:

Longitud: 5,7 millas náuticas

Ancho: 225 m

Profundidad: $\geq 14,5$ m

Parte interior:

Longitud: 1,5 millas náuticas

Ancho: 120 m

Profundidad: $\geq 14,5$ m

F 2 Tráfico de buques

Tráfico total en la zona en 2006: 25,200 buques incluyendo:

Trasbordadores de pasajeros y Ro/Ro: 13.000

Buques de carga: 4.500

Petroleros: 1.800

La zona también está cerca de uno de los lugares de mayor importancia para buques de ocio y de pesca.

F 3 Dimensiones de los buques

Condiciones para el tráfico en dos sentidos de paso por la zona con un ancho de 120 m:

1 Manga < 40 m – suma de ambos buques que pasan y

Calado $< 8,5$ m

2 Si el viento $<$ fuerza 6 en la escala Beaufort y ambos capitanes aceptan un paso de dos sentidos y

Manga < 60 m – suma de las mangas de ambos buques que pasan y

Calado $< 8,5$ m

3 Embarcación con calado $> 8,5$ m y empleando la enfilación

$X = 60$ m – $0,5 * \text{manga de este buque}$

Manga máx. del buque que se acerca $X / 5$ (en dirección opuesta)

Todos los demás buques tienen que pasar por una disposición de tráfico unidireccional, bajo la responsabilidad del capitán y con la asistencia de STM.

F 4 TAMAÑO MÁXIMO DE BUQUE EN EL “SEEKANAL ROSTOCK”

Longitud 296,0 m

Manga 32,0 m

Calado 10,5 m

En relación con las dimensiones de los buques, el canal es estrecho.

F 5 AYUDAS A LA NAVEGACIÓN

El sistema de balizamiento se ha diseñado con “parejas de boyas” con los siguientes parámetros:

Distancia de separación entre boyas Parte exterior 1.500 - 1.000 m

Parte interior 600 m

Tipo de boya: Parte exterior: boya luminosa de aguas profundas tipo LT 81, con trenes de fondeo de acero

Parte interior: baliza articulada con tubo de acero, radio de borneo mínimo y luces sincronizadas

Tamaño de la boya por encima del nivel del agua Parte exterior: 2,5 x 5 m

Parte interior: 1 x 4 m

Notas

- 1 AEC = ancho efectivo del canal de navegación
- 2 RB = radio de borneo

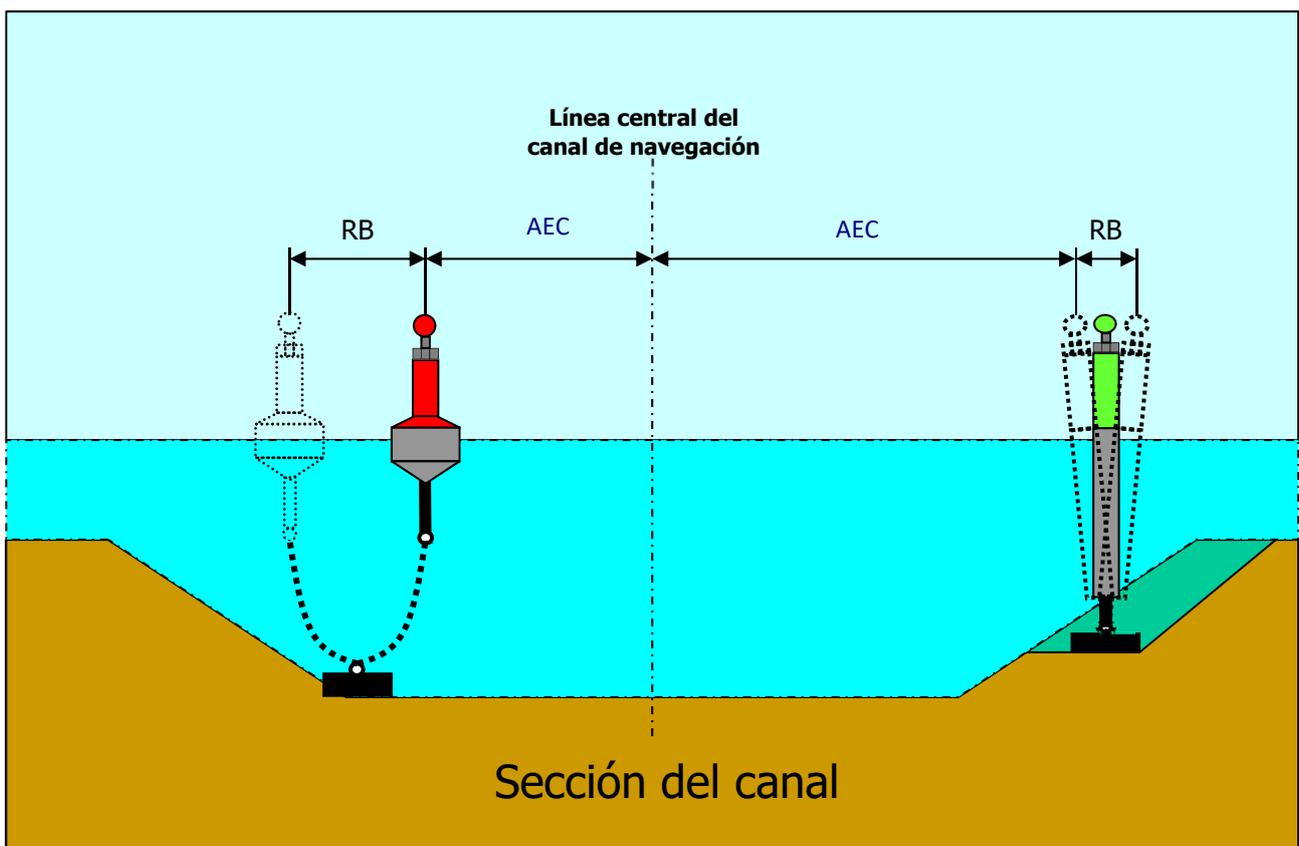


Figura 10 *Seekanal Rostock – Sección del canal*

Se ha diseñado la parte interior del canal con balizas articuladas, porque tienen un radio de borneo más reducido y, así, dan lugar a una reducción menor del ancho efectivo del canal de navegación.

Además, cuenta con las siguientes AtoN:

- Luces de enfilación a lo largo de 4 millas náuticas, cobertura DGPS, cobertura STM, cobertura AIS;
- Las luces de enfilación están sincronizadas (misma característica para la luz anterior y la luz posterior).

En el caso de que falle una de las luces y para evitar información engañosa causada por los reflejos en la superficie del agua de una luz con el mismo carácter, y que se interprete como la luz anterior en un lugar equivocado, se apagará también la luz posterior o trasera, en función de la luz que falle. Esto se consigue conectando entre sí los dispositivos de control remoto de las luces anterior y posterior.

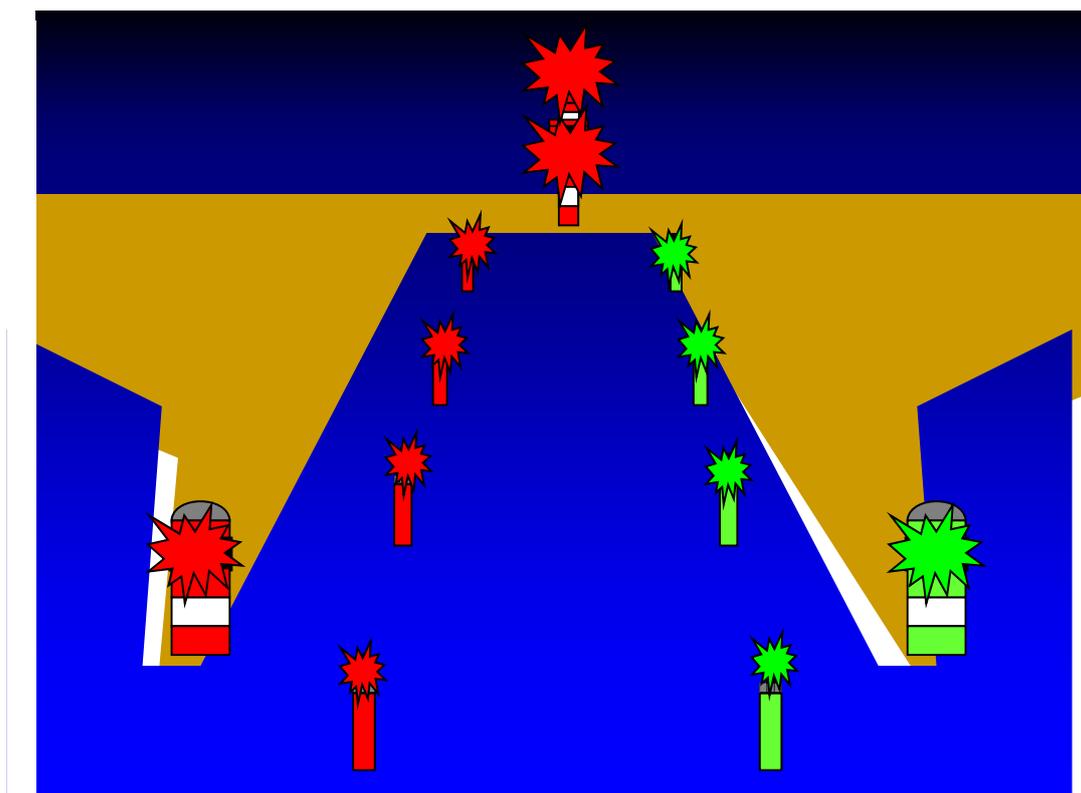


Figura 11 Ejemplo de ayudas a la navegación sincronizadas: Parte interior del "Seekanal Rostock"

Tal y como se muestra en el Cuadro 2, las luces de enfilación se han sincronizado con las luces de dique y las boyas.

Tabla 2 Sincronización de ayudas a la navegación

	1s	2s	3s	4s	Código de destello
Luces de enfilación	X	Encendidas	Encendidas	Encendidas	Oc. 4s
Luces de dique en el acceso al canal	X	X	Encendidas	Encendidas	Iso. 4s
Luces articuladas en boyas	X	X	X	Encendidas	Fl. 4s

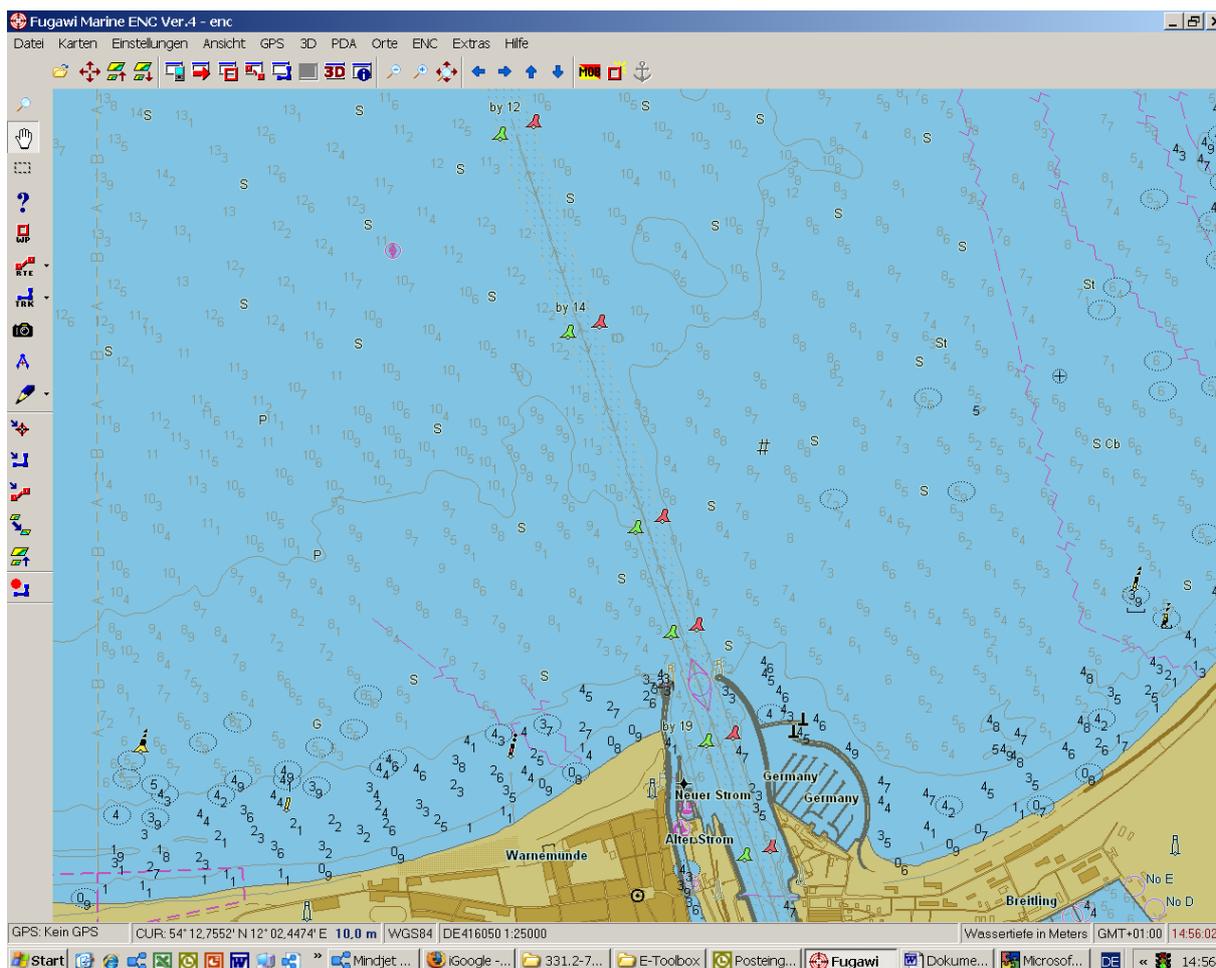


Figura 12 Carta náutica de parte del canal exterior e interior del “Seekanal Rostock”



ANEXO G DISEÑO DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN - APROXIMACIÓN A MALMÖ, SUECIA

El puerto de Malmö está situado en la costa oeste de la parte sur de Suecia. La aproximación al puerto se realiza desde el mar a través de un canal balizado con boyas, boyas luminosas, luces y balizas, siguiendo la alineación de las luces de enfilación. La disposición del canal se basa en una simulación realizada en noviembre de 2006 para evaluar los riesgos y las condiciones en función de los tipos y tamaños de buques, la capacidad de remolque y la disposición del puerto y del canal.

G 1 Vía navegable

G 1.1 Parte exterior

Longitud: 3,9 millas náuticas

Ancho: Se amplió el ancho del canal a 162 m a lo largo de toda su longitud.

Profundidad: 13,5 m

G 1.2 Parte interior

Longitud: 0,6 millas náuticas

Ancho:

Profundidad: 13,5 m

G 1.3 Tráfico de buques

Tráfico total en 2008: 1,102 llegadas/salidas

Dimensiones de los buques: 260 x 40 x 12,5 m

G 1.4 Ayudas a la navegación

El sistema de balizamiento se ha diseñado con “parejas de boyas”.

Distancia de separación entre boyas Parte exterior: 0,3 millas náuticas

Parte interior: 0,1 millas náuticas

Todas las boyas en el canal están dotadas de luces sincronizadas al mismo tiempo y con la misma frecuencia. El ritmo de luz de las boyas a ambos lados del canal es Q (0,2s + (0,8s) = 1s). Las boyas son del tipo S-7 (la luz está 4 m por encima de la superficie del agua). La colocación y el destello sincronizado de las boyas en la disposición aportan ventajas a la navegación segura en la oscuridad, porque son más fáciles de ver, ya que el periodo de oscuridad es muy corto.

La posición de la luz de enfilación se ha optimizada según la nueva disposición del canal y se ha cambiado el ritmo a Oc 6s. Hay dos luces en línea, que balizan los lados del canal, con un ritmo de luz Q. Se ha mejorado la calidad de la línea central con una luz moderna de alta visibilidad, que mejora la seguridad de la navegación en condiciones de visibilidad reducida.

Estas mejoras han hecho la navegación en la oscuridad mucho más segura.

G 1.5 Además, cuenta con:

Cobertura DGPS, STM, servicios obligatorios de practica etc.

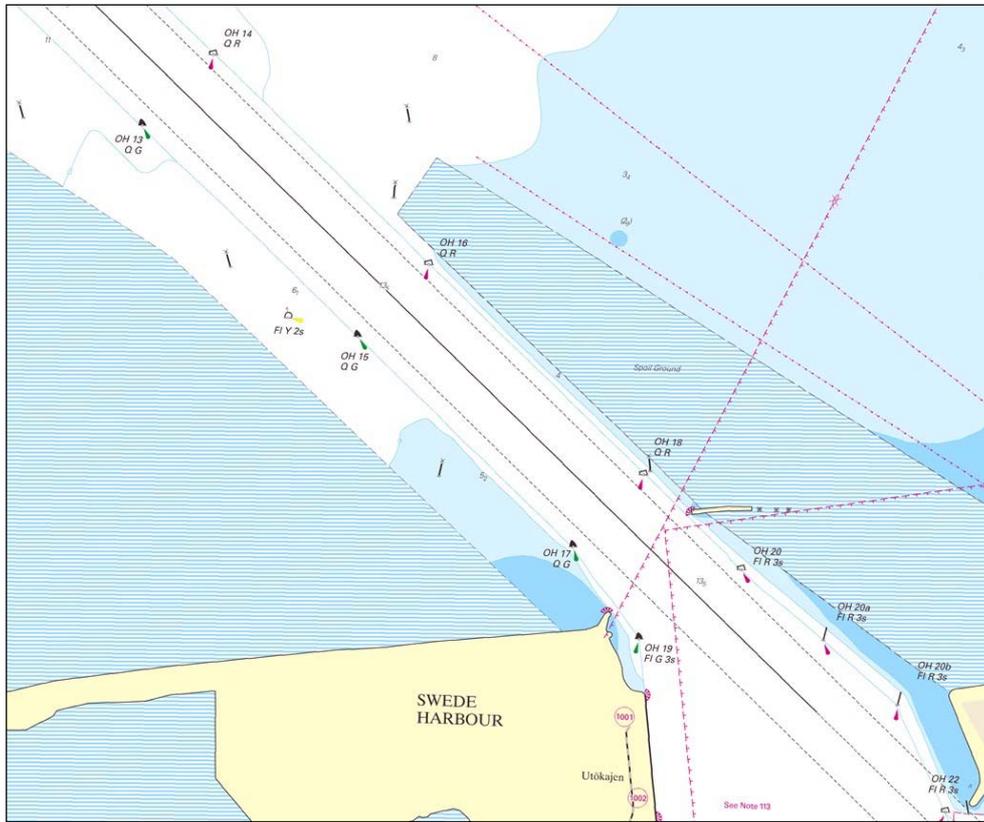


Figura 15 Acceso al puerto de Malmö

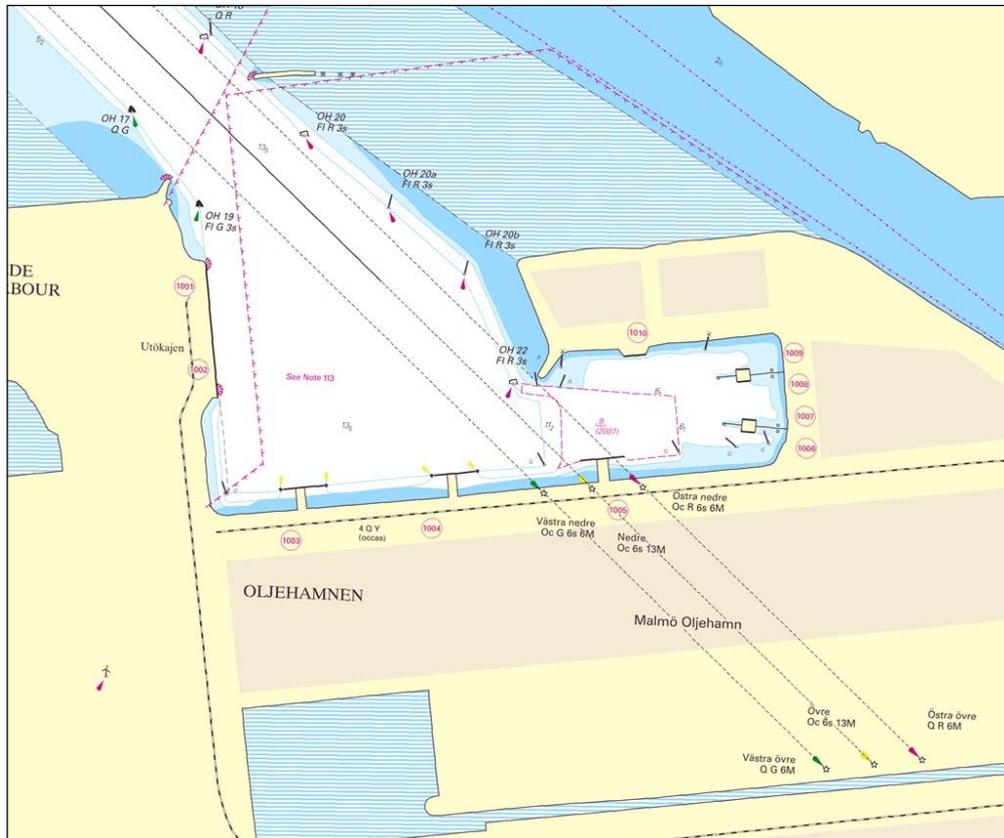


Figura 16 Puerto de Malmö