

Permanent International Association of Navigation Congresses

PIANC

International Association of Ports and Harbors

IAPH

International Maritime Pilots Association

IMPA

International Association of Lighthouse Authorities

IALA

# **CANALES DE ENTRADA**

## **GUIA PRELIMINAR**

Primer Reporte del Conjunto PIANC - IAPH

Grupo de Trabajo II - 30 en cooperación

Con IMPA y IALA



# **DISEÑO DE CANALES**

VERSIÓN TRADUCIDA AL ESPAÑOL

---

TRADUCCIÓN DE  
**MARTÍN ALEJANDRO RETES**  
CAPITÁN DE ULTRAMAR 1AN - P1ANC  
PRACTICO DE PUERTO BUENOS AIRES ®  
PRÁCTICO ADSCRIPTO PUERTO USHUAIA VCANAL BEA6LE ®  
PERITO NAVAL (N)

DEL TRABAJO ORIGINAL PRODUCIDO POR

EN COOPERACIÓN CON

**PIANC**  
PERMANENTE INTERNATIONAL ASSOCIATION  
OF NAVIGATION CONGRESSES

**IAPH**  
INTERNATIONAL ASSOCIATION OF  
PORTS & HARBOURS

**1992**

**IMPA**  
INTERNATIONAL MARITIME  
PILOTS ASSOCIATION

**IALA**  
INTERNATIONAL ASSOCIATION  
OF LIGHTHOUSES

Este reporte ha sido producido por un Grupo internacional de trabajo convocado por PIANC.

Los Miembros del Grupo de Trabajo representan a varios países y son reconocidos expertos en la materia estudiada..

PIANC tiene Comités Técnicos Permanentes en lo concerniente a canales interiores y puertos (PTC I), canales costeros y oceánicos (incluyendo puertos y recaladeros) (PTC U), medioambiente (PEC) y navegación deportiva y de placer (SPN)

**Permanent International Association  
of Navigation Congresses  
General Secretariat**

WTC-Tour 3- 26' étage  
Boulevard Simón Bolívar 30  
B-1210 Brussels  
**BELGIUM**

**The International Association  
of Ports and Harbours**

Kotohira-Kaikan Building  
1-2-8, Toranomom  
Minato-Ku  
Tokyo 105  
**JAPAN**

# Tabla de Contenido

<b>PALABRAS DE PRESENTACION . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>2. DISEÑO DE CANALES . . . . .</b>	<b>7</b>
2.1 Generalidades . . . . .	7
2.2 Ancho, profundidad y alineamiento . . . . .	7
2.3 Ancho . . . . .	8
2.3.1 Generalidades . . . . .	8
2.3.2 El Buque de Diseño . . . . .	8
2.3.3 Diseño del Ancho . . . . .	8
2.4 Consideraciones de Profundidad . . . . .	11
2.5 Alineación . . . . .	13
2.6 Curvas . . . . .	13
2.7 Consideraciones Económicas . . . . .	14
<b>3. METODO CONCEPTUAL DE DISEÑO DE CANALES. . . . .</b>	<b>14</b>
3.1 Introducción . . . . .	14
3.2 Profundidad . . . . .	14
3.3 Ancho: Secciones Rectas . . . . .	15
3.4 Ancho y Radio de las Curvas . . . . .	15
3.5 Alineación . . . . .	18
3.6 Definiciones y Notas para las Tablas . . . . .	18
3.6.1 Tabla 1 . . . . .	18
3.6.2 Tabla 2 . . . . .	19
3.6.3 Tabla 3 . . . . .	20
3.6.4 Tabla 4 . . . . .	21
<b>4. EJEMPLOS DE TRABAJO . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>5. ASPECTOS DE DISEÑO DETALLADO. . . . .</b>	<b>25</b>
5.1 La necesidad do Diseño Detallado . . . . .	26
5.2 Intercambio de Estudios . . . . .	26
5.3 Simulación de Maniobra . . . . .	26
5.4 Capacidad del Canal y Flujo de Tráfico . . . . .	26
5.5 Asesoramiento en Impacto Marítimo y Riesgo Marítimo . . . . .	27
5.6 Acción de las Olas . . . . .	27
5.7 Uso de Remolcadores . . . . .	27
<b>6. REFERENCIAS. . . . .</b>	<b>27</b>
<b>7. GLOSARIO . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>8. LISTA DE SIMBOLOS . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>9. TÉRMINOS DE REFERENCIAS. . . . .</b>	<b>29</b>

---

## Palabras de presentación

---

En 1992, la Asociación Internacional Permanente de Congresos de Navegación {Permanent International Association of Navigation Congresses) (PIANC) y la Asociación Internacional de Puertos y Recaladeros (International Association of Ports and Harbours) (IAHP) establecieron un encuentro de Grupos de Trabajo (N° 30) para asesorar y si fuera necesario actualizar los reportes existentes para proveer guías prácticas para el diseño de canales y pasos. Fue considerado esencial que este Grupo de Trabajo fuera formado por un pequeño grupo de expertos representando los puntos de vista de PIANC, IAHP, IMP A y IALA.

Los Términos de Referencia incluyeron un trabajo preliminar, a saber:

“Sobre la base de documentos existentes y en particular con referencia al reporte sobre calado del Grupo de Trabajo 7 de PIANC (Dimensiones y Trazado de canales y pasos de una y dos vías), deberá verificarse si existe o no suficiente información en este documento para permitir un conjunto de guías prácticas preliminares con respecto a ancho y trazado de canales.”

El Grupo de Trabajo unido ha completado ahora su trabajo sobre esta guía práctica preliminar y este es presentado aquí en forma de de Reporte Inicial. La mayor parte del trabajo en relación con la preparación de este Reporte Inicial fue llevado a cabo por un Subgrupo del Grupo de Trabajo (30a) bajo la presidencia of W.Dietze, quien es miembro del Grupo de Trabajo N° 7 de PIANC.

La segunda parte de los Términos de Referencia (ver Sección 9) está actualmente en discusión y preparación y se ha anticipado que la misma estará lista para su publicación en la segunda mitad de 1995.

Los miembros del encuentro Grupo de Trabajo N°; 30 son :

**P.M.Fraenkel,** IAPH  
 Presidente  
 Consulting Engineer,  
 Peter Fraenkel BMT Ltd.  
 (United Kingdom)

**W.Dietze,** PIANC  
 Presidente - Sub-Grupo 30a  
 Ex Wasser und Schiffahrts direktion Nordwest (Germany)

**M.Hoctor**  
 Presidente - Sub-Grupo 30b IAPH  
 Director Gerente, Port of Limerick (Ireland)

**J.Barber** IAPH  
 Consulting Engineer (United Kingdom)

**Capt. A.R.Boddy** IMPA  
 Sub-Grupo 30a  
 International Maritime Pilots Association (United Kingdom)

**R.Bucbanan** IAPH  
 Department of Marine and Harbours (South Australia)

**C.Costica** PIANC  
 L' Institut d'Etude des Transport Routiers,  
 Naval et Aériens  
 (Roumanie)

**J.W.Dand** PIANC  
 British Maritime Technology Ltd (United Kingdom)

**Prof. K. d'Angremond** PIANC  
 Technische Universiteit Delft (The Netherlands)

**C.Deelen** PIANC  
 Port of Rotterdam (The Netherlands)

**F.RJKalff** IAPH  
 Haskoning Consulting Engineers (The Netherlands)

**S.Kataoka** IAPH  
 Port & Harbour Research Institute (Japan)

**J.Read** IAPH  
 Maunsell Consulting Engineers (United Kingdom)

**T.Rekonen** PIANC  
 National Board of Navigation (Finland)

**V.K.Shah** PIANC  
 Marine Works, A & E Services (Cañada)

**J.C.K. van Toorenborg** PIANC  
 Rijkswaterstaat (The Netherlands)

**M.Vantorre** IAPH  
 Universiteit Gent (Belgium)

### Miembros cooperadores

**Capt. J. Joyce**  
 International Chamber of Shipping

**N. Mathews**  
 Secretary General, IALA

---

## 1. Introducción

---

En 1980 fué publicado un informe PIANC, para proveer guías para el diseño de canales de entrada a puerto (Referencia 1). Desde ese momento se han diseñado nuevos canales y las operaciones de los existentes han variado. Tipos y tamaños de buques, densidades de tráfico y mezcla de clases han cambiado y hay ahora una mayor conciencia de los riesgos náuticos y del medio ambiente.

Por esos factores se consideró apropiado rever una buena forma modernizada para la determinación de anchos de canales de entrada a puerto, profundidades y alineamientos, con miras a establecer una guía práctica para diseñadores.

Este reporte provee información adecuada para tales conceptos de diseño. Está basada en un trabajo efectuado inicialmente por el PIANO (Grupo de trabajo 7 - WG7) y revisado en conjunto por los miembros de IAHP/PIANC (Grupo de trabajo 30 - WG30) Serán publicados reportes adicionales por este último grupo en forma apropiada y estos consideraran con mayor profundidad ciertos puntos. Algunos de ellos se discuten sucintamente en el capítulo 5 de este reporte y están conectados con los resultados probablemente más complejos o detallados ha ser encarados en algunos casos al desarrollar un diseño.

Con esto como meta, es importante enfatizar que el presente reporte es el adelanto de un más completo tratamiento del tema que será conocido cuando el WG30 haya completado su trabajo. El material que se da puede ser usado como Diseño Conceptual en muchos casos, pero debe quedar claro que las condiciones y los requerimientos locales, podrán necesitar dimensiones de canal que difieran de las obtenidas a partir de las recomendaciones dadas en adelante. Si esto ocurre, el diseño de tal canal no deberá ser interpretado como algo incorrecto: Deberá en ese caso recibir una más intensiva, detallada consideración en la etapa de desarrollo y podrá requerir rasgos adicionales tales como más ayudas a la navegación o procedimientos operativos especiales.

---

## 2. Diseño de Canales

---

### 2.1 GENERAL

El diseño de Canales de Acceso puede ser considerado en una aproximación gruesa, como un proceso de dos etapas.

Diseño Conceptual

Diseño Detallado

En el primero la totalidad de los parámetros del canal propuesto: ancho, profundidad y alineamiento están determinados por información obtenida al comienzo. El proceso de Diseño Conceptual deberá idealmente ser rápido en su ejecución y no requiere muchos datos a introducirle esa forma puede ser usado como un ingrediente esencial en un intercambio de estudios.

El Diseño Detallado es un proceso más elaborado y puede utilizar modelos físicos, matemáticos y / o simuladores (Referencia 2) para detallar temas tales como comentos de marea, maniobras de buques, condiciones de tráfico y análisis de riesgos. Estos son usados para agregar confiabilidad al Diseño Conceptual así como sugerir algún cambio que pueda ser por ejemplo, necesariamente apropiado a condiciones locales. El Diseño Detallado también involucra investigaciones tales como análisis del riesgo náutico, asesoramiento sobre el impacto en el medio náutico, estudios de atraque a muelle, todos los cuales están hoy asumiendo una mayor importancia en la totalidad del proceso de diseño.

Este reporte utiliza Diseño Conceptual y usa información recogida en todo el mundo lo que la hace representativa de una buena práctica moderna. Será satisfactorio para el diseño preliminar de muchos canales, pero por supuesto se debe aceptar que en determinadas ocasiones deberá mejorarse cuando tal técnica resulte inapropiada y deberán utilizarse los métodos más elaborados del Diseño Detallado. Algunos aspectos de Diseño Detallado están considerados con un poco más de detalle en el capítulo 5 de este reporte.

### 2.2 ANCHO, PROFUNDIDAD Y ALINEAMIENTO

Los parámetros básicos de Ancho, Profundidad y alineamiento son todos interdependientes. Un ancho adicional puede compensar una profundidad reducida y la alineación puede cambiarse para permitir reducción de ancho o profundidad. Sin embargo, con algunas excepciones (discutidas en la sección 2.4 mas adelante) la interdependencia no es demasiado fuerte y en la fase de Diseño Conceptual, algunos aspectos de ancho y alineación pueden hasta un cierto límite ser separados de los referentes a profundidad.

Parte de este reporte considerará por consiguiente Ancho y Alineación aislados de la Profundidad. La profundidad está considerada con más detalle en las referencias 3 y 4 en relación a canales con materiales de fondo duros o blandos.

La meta principal de este reporte es proveer a los diseñadores un sistema que permita arribar a un Ancho, Profundidad y Alineamiento de canal que ofrezca un nivel de seguridad satisfactorio para la navegación.

## 2.3 ANCHO

### 2.3.1 GENERAL

El ancho de un canal se expresa con propiedad como múltiplo de la manga de un buque. Si el canal va a ser diseñado para un soto barco, la elección del ancho es simple. Rara vez será este el caso y por lo tanto deberá usarse el concepto de Buque de Diseño.

Las autoridades del canal deberán establecer si se pretende navegarlo permanentemente o si será aceptable algún tipo de limitación por año. Esto puede ser causado por condiciones de insuficiente altura de marea, corriente atravesada fuerte, vientos muy fuertes u olas muy grandes. La aceptación de ciertos límites tiene implicancias en el ancho y la profundidad del canal.

### 2.3.2 EL BUQUE DE DISEÑO

El Buque de Diseño es aquel para el cual se diseñará el canal. Deberá ser elegido para asegurar que el diseño del canal le permita a él y a todos los otros buques que lo utilicen navegarlo con seguridad. Podrá ser el mayor de los buques que lo use, pero no necesariamente debe cumplirse. Los buques grandes a menudo acuerdan la mayor atención cuando entran o salen a / o de un puerto y no tienen por consiguiente que plantear una mayor amenaza a la seguridad. El Buque de Diseño deberá por lo tanto satisfacer uno o más de los siguientes criterios: Deberá tener esencialmente poca maniobrabilidad.

- Deberá ser muy grande dentro de las posibilidades del puerto.
- Deberá presentar enorme obra muerta.
- Deberá transportar una carga particularmente peligrosa.

Como se mostrará, el método de diseño dado más adelante, provee para muchas eventualidades y el uso de más de un Buque de Diseño en los primeros estadios del diseño, puede ser apropiado para determinar el ancho del canal.

### 2.3.3 DISEÑO DEL ANCHO

En el diseño del ancho del canal, alguno o todos los conceptos que siguen deberán ser considerados.

#### 2.3.3.1 MANIOBRABILIDAD BÁSICA

La dinámica de los buques es tal que cuando se encuentran en condición de control manual (como es habitualmente en los canales de acceso a puerto) abarcan un camino, asumiendo ausencia de cualquier factor externo de perturbación como viento, olas corriente etc., que excede su manga en un cierto valor (Figura 1).

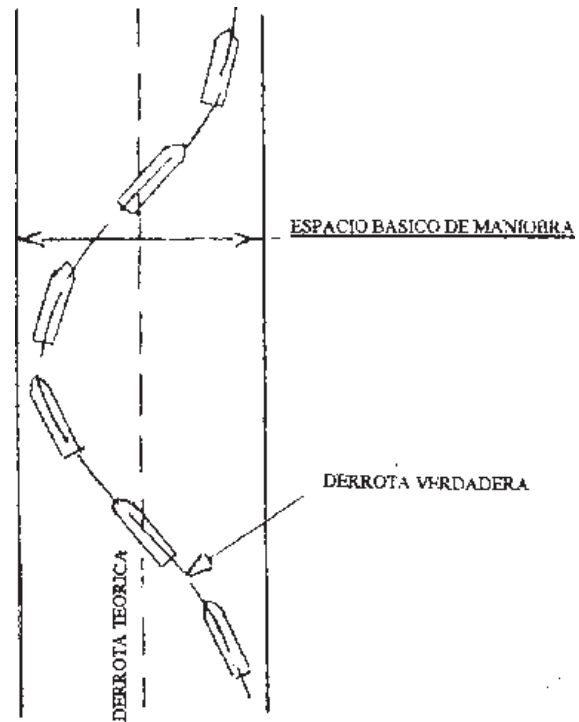


Figura 1: El Ancho del Campo de Maniobra Básica Permitida para:  
Respuesta y habilidad del maniobrista  
Respuesta y maniobrabilidad del buque

Esto es debido a la velocidad de respuesta del maniobrista del buque interpretando las marcas visuales indicando posición y la del buque respondiendo al timón. Claramente el ancho del camino abarcado, que es el campo básico de maniobra, dependerá de un número de factores, pero los elementos clave son:  
La propia maniobrabilidad del buque (que variará en función de la razón profundidad / calado);  
La habilidad del maniobrista;  
Las marcas visuales con que cuente el maniobrista;  
La visibilidad general.

De estas las dos primeras son las más importantes, porque las otras dos pueden ser suplantadas con ayudas a la navegación apropiadas tanto externas (ej. boyas) como internas (ej. radar).

#### Factores de Medio Ambiente

##### Viento cruzado

El viento cruzado afectará al buque a cualquier velocidad, pero será mayor el efecto a baja velocidad. El viento causará un desplazamiento lateral del buque o lo hará tomar un ángulo de abatimiento, cualquiera de los dos incrementa el ancho requerido para maniobrar, Difícilmente el buque será capaz de mantener un rumbo fijo a baja velocidad con viento cruzado,



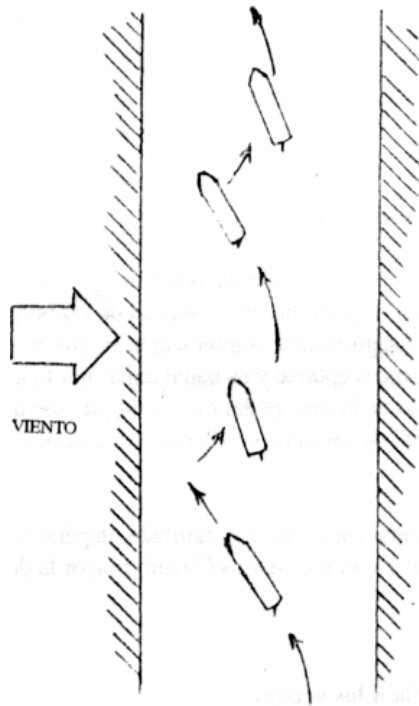


Figura 2: Maniobrando con Viento Fuerte (Exagerado para mayor claridad)

el maniobrista deberá que navegar abatiendo al viento, resultando así un rumbo levemente oscilatorio.(Figura 2).

Los efectos del Viento cruzado dependen de:

La obra muerta del buque(con su carga)

La relación profundidad / calado porque la resistencia al movimiento lateral del buque, cambia a medida que la relación profundidad / calado se acerca a la unidad.

El viento causa menos abatimiento cuanto menor es el margen bajo la quilla.

La dirección del viento aparente.

Un poco más de ancho debe por consiguiente tomarse en razón de los efectos mayores del viento, y por encima de los necesitados para las condiciones básicas de maniobra A fin de poder computar esto, se necesitará información de velocidad y dirección del viento en el área considerada Esto deberá establecerse considerando los incrementos de viento (corregidos a un valor estándar de 10 metros sobre el nivel del agua) haciendo un promedio sobre, digamos, un período de 12 meses. El juicio de cómo serán usados dirección y velocidad del viento deberá estar basado en las mayores curvas deducidas de los datos de viento recogidos a través de un periodo más largo.

### Corriente

La corriente atravesada afecta al buque en una forma similar a la inducida por el viento, pero con la diferencia de que el efecto se incrementa a medida que la relación profundidad / calado se acercan a la unidad. Las corrientes longitudinales tendrán un efecto adicional en la maniobra.

En algunos puertos, las corrientes pueden ser dema-

siado fuertes en determinadas condiciones de la marea para permitir a algunos buques navegar con seguridad. Esto puede causar que sus arribos o zarpadas se vean restringidos a determinados períodos de tiempo,(Current Windows)((Ventanas de corriente)) en el ciclo mareológico. Esto implica tiempos (tiempo muerto) para los que el canal no estará habilitado para tales buques y la decisión de considerar aceptables los niveles de tiempo muerto deberá basarse principal mente en consideraciones de tipo económico.

Tal como para el viento, son necesarias mediciones en el lugar. En este caso deberán requerirse los datos sobre corriente para el área, idealmente promediados en una profundidad concordante con el calado del Buque de Diseño, o no siendo posible, a una profundidad igual a la mitad de tal calado. Será también necesaria una detallada información de frecuencia de corriente a efectos de determinar los tiempos muertos.

### Olas

Las olas tendrán naturalmente un efecto en la profundidad del canal pero si el frente de las olas se mueve cruzado al canal, entonces también tendrán efecto sobre la maniobra y por consiguiente en el ancho del canal.Las olas podrán causar súbitos efectos en el desvío de ruta ("golpeando "el rumbo del buque fuera de curso) lo cual podrá ser corregido por el timonel y podrán también causar un ligero abatimiento en la dirección de las mismas. Deberán obtenerse tablas de dispersión de olas para la zona(usando información local o en el caso de Diseño Conceptual, información en publicaciones tales como las de la referencia 5), y hacer un estudio sobre que altura y período de ola deberá usarse para el diseño

#### 2.3.3.3 Ayudas a la Navegación

La importancia de las ayudas a la navegación reside en el apoyo que ellas dan al maniobrista. Estas pueden ser visuales o electrónicas (p.ej.: RACONS, radiofaros etc.) y un canal bien señalizado requerirá menos ancho que uno que lo esté pobremente.

Para Diseño Conceptual deberá hacerse un estudio buscando la adecuación de las señales para la navegación que puedan obtenerse tanto para los puentes de navegación de los buques como en los límites del canal. Los tipos adecuados y las posiciones de las marcas de los canales pueden ser determinados en la fase de Diseño Detallado con el uso de simuladores de navegación. La referencia 6 da información útil.

#### 2.3.3.4 Tipo de Carga

Si la carga ha ser transportada por el Buque de Diseño es de naturaleza peligrosa, se requerirá un ancho adicional para reducir los riesgos de varaduras y para asegurar que tales buques estén a suficiente distancia de otros usuarios de la vía de agua.

## ESPACIOS DE MANIOBRA

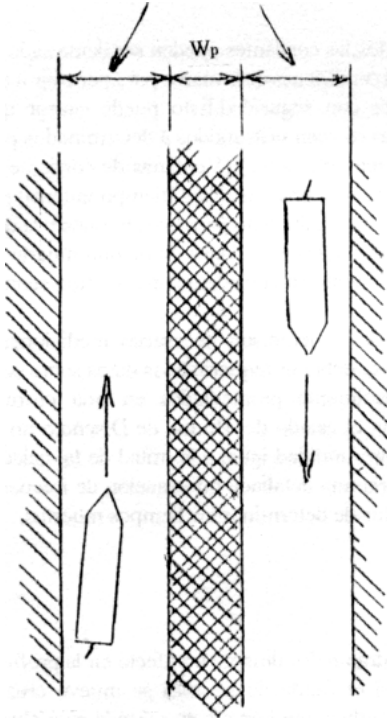


Figura 3: Distancia de Cruce La distancia de cruce  $W_p$  deberá ser suficientemente grande como para reducir la interacción barco - barco a un mínimo manejable.

### 2.3.3.5 Distancia de cruce

Si la propuesta es de un canal de dos vías, se deberán hacer ciertos arreglos para permitir un cruce seguro de los buques. Tal distancia deberá asegurar que la interacción buque-buque sea reducida a un mínimo aceptable y es usual dejar una faja central igual a un múltiplo de la manga del mayor buque que utilice el canal entre el total de los campos de maniobra de los buques que lo naveguen.

El ancho requerido para navegar también dependerá de la densidad de tráfico en ambas manos. Cuanto mayor la densidad mayor el ancho.

### 2.3.3.6 Distancia a los veriles

La interacción con los bancos puede provocar a un buque cambios de dirección incontrolables (Figura 4). Para prevenir esto en un canal con veriles sumergidos, es necesario dejar un ancho adicional fuera de los campos de maniobra (Figuras 5 y 1 I). Esto dependerá de la velocidad del buque en relación a la profundidad (cuanto mayor la velocidad mayor la interacción), de la altura del veril y de su talud y de la relación profundidad / calado. En Diseño Conceptual es probablemente adecuado proveer para solo los dos primeros.

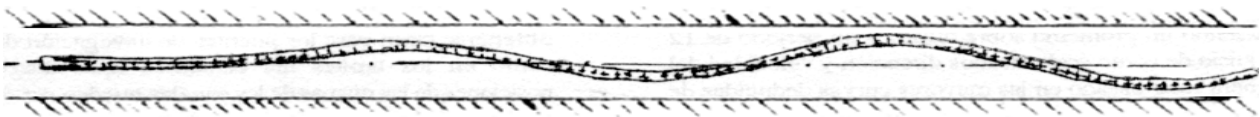
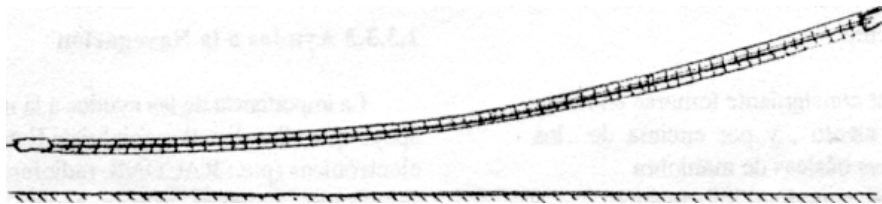


Figura 4 : Cambios de Dirección Computarizados Causados por el Efecto Banco

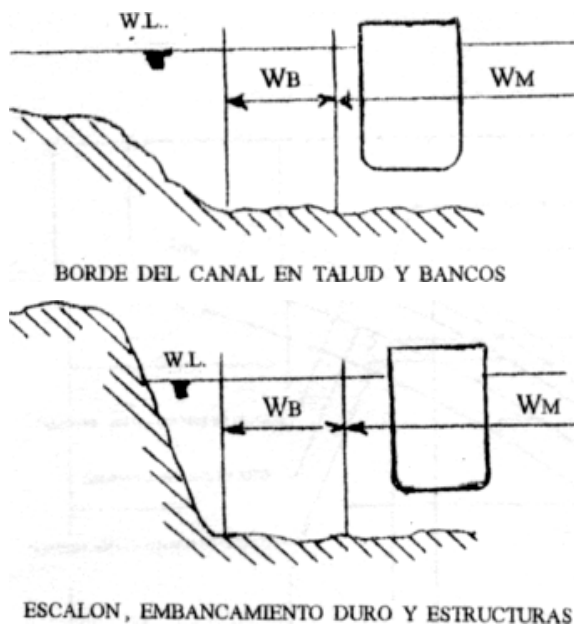


Figura 5: Distancia al Banco  
La distancia al banco **Wb** lo suficientemente grande como para reducir el **Efecto Banco** a un mínimo controlable.

## 2.4 CONSIDERACIONES DE PROFUNDIDAD

Si bien este reporte está enfocado principalmente al ancho de canal, los efectos de la profundidad (y particularmente la relación calado / profundidad) no pueden ser totalmente ignorados. Surge aparentemente en la sección 2.3 que los efectos calado / profundidad deben ser permitidos para algunas consideraciones de ancho de canal y las otras una o dos deben ser consideradas en la etapa de Diseño Conceptual. Estas son:

### Relación Velocidad / Profundidad

La resistencia hidrodinámica al movimiento de un buque en aguas restringidas, está gobernada por el "Fnh" Número de Profundidad de Froude el cual es considerando ampliamente una relación no dimensional entre

$$Fnh = V / \sqrt{gh} \quad (i)$$

velocidad y profundidad y está definido como donde:

- V: es la velocidad sobre la superficie en Mts / seg.
- h : es la profundidad en Mts (metros)
- g : es la aceleración de la gravedad (~ 9.81 mts/seg<sup>2</sup>)

Cuando **Fnh** se aproxima o iguala a la unidad, la resistencia al avance alcanza muy altos valores que muchos buques con gran desplazamiento tienen insuficiente potencia para superar.

Por tal razón tales buques no están capacitados para exceder valores de **Fnh** 0,6 o 0,7 (el primero para B/ Tanque el último para B/ Containeros), que resultan en una barrera efectiva para la velocidad.

Por consiguiente, antes de decidir sobre la velocidad

para la que se calculará el ancho del canales recomendable verificar que este compatible con la profundidad considerada. (Como alternativa se puede utilizar la limitación del Número Froude con una velocidad elegida para establecer un límite mínimo de profundidad).

### Squat, Olas y Relación Profundidad / Calado

Squat es la tendencia de un buque a aumentar su inmersión y variar su asiento longitudinal durante la navegación reduciendo por consiguiente la distancia de la quilla al fondo. El Squat depende grandemente de la velocidad y se acentúa en aguas restringidas. Por lo tanto es prudente verificar que velocidad y profundidad no producen un squat excesivo antes de establecer la velocidad de tránsito.

El Squat puede ser estimado en varias formas, por

$$SQUAT(m) = \frac{V}{L_{PP}} \frac{Fnh}{\sqrt{(1-fnh^2)}} \quad (ii)$$

ejemplo: la expresión ICORELS (Referencia 1) puede ser usada para aguas libres.

donde:

- V = Volumen de desplazamiento (m<sup>3</sup>) C<sub>B</sub> L<sub>pp</sub> B.T.
- L<sub>pp</sub> = Eslora entre perpendiculares
- B = Manga moldeada
- T = Calado máximo
- C<sub>B</sub> = Coeficiente Block
- F<sub>nh</sub> = Número de profundidad de Froude

El método gráfico de la Figura 6 también puede ser usado para obtener valores de Squat adecuados al Diseño Conceptual

Una forma simple de acceder habiendo indefiniciones de squat, calado y sondaje (inclusive dando un margen de seguridades establecer un valor mínimo en la relación profundidad / calado. En muchas partes del mundo ha sido aceptado como normal un valor 1.10, aunque también pueden encontrarse valores de 1.15. Estos valores son para aguas calmas solamente y serán necesarios valores mayores si el canal está sujeto a la acción de las olas donde deberán usarse valores de 1.3 o mayores. Cuanto más cercana la relación a la unidad mayor dureza en la conservación del rumbo y consecuentemente más perezosa la respuesta del buque. Es usual disminuir esto aumentando el ancho del canal. Esta es otra ocasión donde ancho y profundidad están unidos.

### Altura de marea

Si la vía de agua esta sujeta a la acción de la marea, deberá tomarse una decisión acerca de cuándo deberá ser utilizado a lo largo del ciclo de la misma. Si no deberá elegirse un espacio conveniente de tiempo de marea teniendo en mente las consecuencias comerciales de los tiempos muertos. Ese espacio deberá compatibilizar las posibilidades de profundidad, velocidad y squat. El acortamiento del tiempo utilizable requiere un aumento

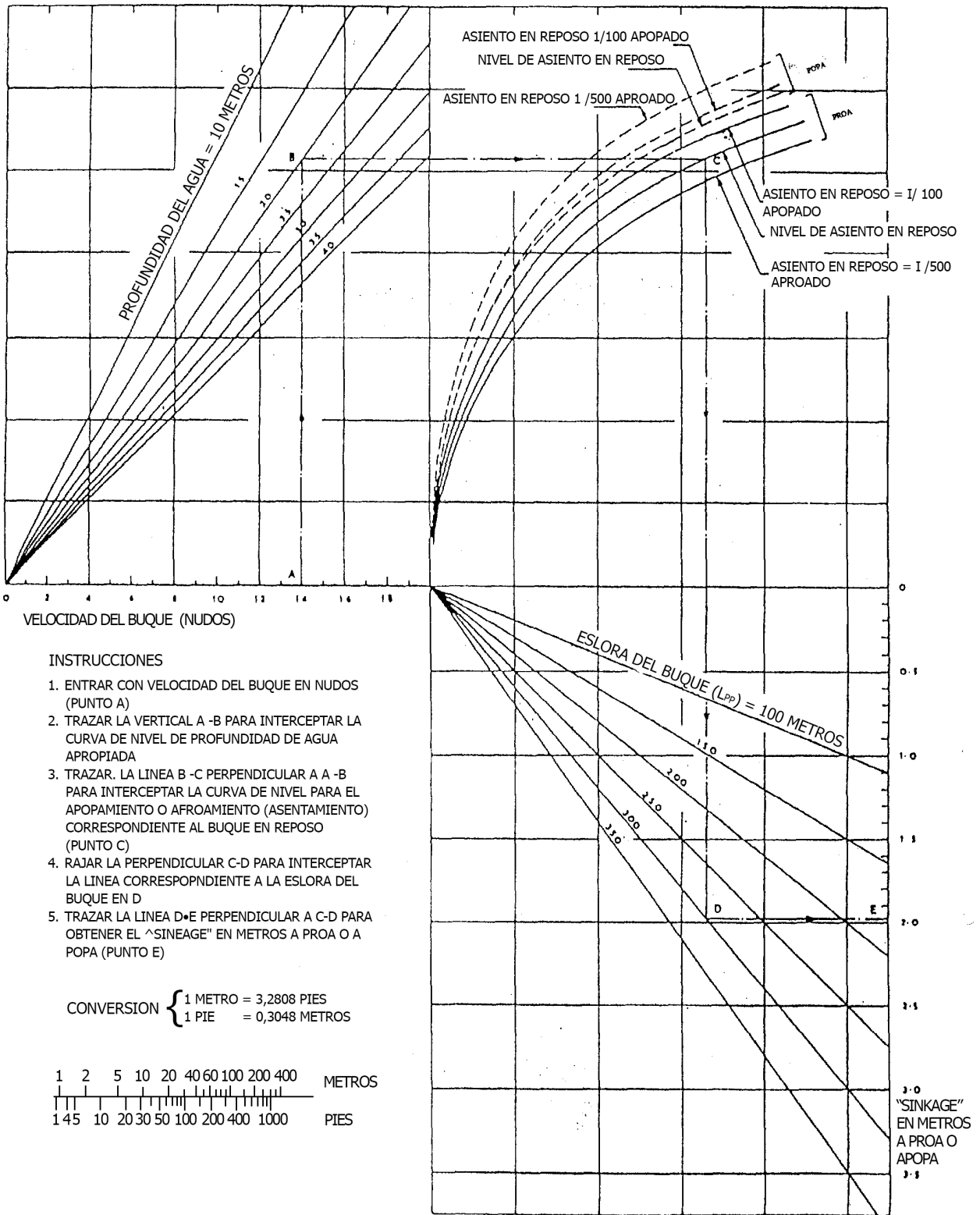


Figura 6: Planilla de estimación de SQUAT para buque de líneas llenas

Deberá obtenerse información sobre mareas para el área en cuestión poniendo especial atención a la dirección en que se mueve la corriente de creciente a lo largo de una vía de agua extensa. Es común establecer espacios de tiempo útil de canal para que los buques naveguen un canal de acceso en creciente. Esto puede no ser siempre posible y si un buque debe navegar el canal en bajante será necesario tener un escalonamiento de profundidad.

### Profundidad Náutica

Si el fondo sólido del canal está cubierto con una capa líquida de sedimento o barro, no existe una clara definición de la profundidad del canal. En este caso es apropiada la definición de Profundidad Náutica (Ver Referencia 4).

### 2.5 ALINEACIÓN

La alineación del canal deberá ser asesorada teniendo en cuenta:

- La menor extensión del canal
- Condiciones/dársenas, etc. en cada extremo del canal.
- La necesidad de evitar obstáculos o áreas de aumento de ellos que resulte difícil o muy caro remover.
- Vientos, olas y corrientes prevalecientes.
- Evitar curvas en proximidades de la entrada a puerto.
- Los márgenes del canal no deberán ser menores de 2,5 veces la manga del buque de diseño para cualquier buque atracado o la circunferencia de borneo de un buque anclado.

Son preferibles las piernas rectas a las curvadas en los canales y el diseñador deberá poner énfasis en obtener una alineación consistente en una serie de piernas rectas conectadas por curvas. Las distintas piernas podrán tener diferentes anchos y profundidades y ser navegadas a diferentes velocidades. Para mayores detalles ver la Figura 7.

Es preferible tener las diferentes corrientes alineadas con el canal para minimizar el efecto de corriente transversal.

Lo mismo se debe aplicar a viento y olas aunque estos pueden venir de cualquier dirección. Habitualmente se usa la dirección prevaleciente de olas y viento en el diseño, con un estudio que es recomendable efectuar, debiendo hacerse haya o no posibles tiempos muertos debidos a vientos muy fuertes u olas altas de otras direcciones.

### 2.6 Curvas

En esta sección como en el resto de este reporte se asume que el buque navega sin asistencia de remolcadores. Por lo tanto cada curva conectando tramos rectos deberá tener en cuenta la capacidad del buque para girar. En aguas calmas sin viento, una curva franca deberá ser cumplida por un buque que tenga de regular a buena maniobrabilidad con un radio de 1,8 a 2,0 veces la eslora del mismo en aguas libres, que se incrementará tal vez a 2,8 o más esloras cuando la relación profundidad / calado sea 1.10 (Referencia 7).

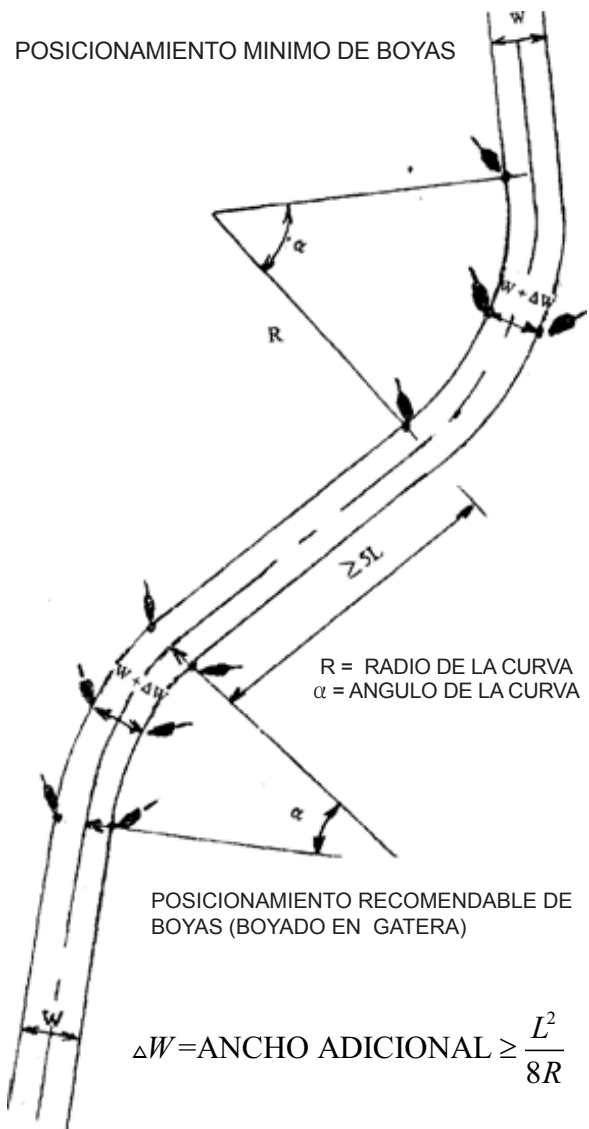


Figura 7: Marcas y definición sugeridas para las curvas

El buque se desplaza de costado cuando gira y barre de ese modo un camino que es más ancho que su manga. Este exceso puede variar entre un 30% a 40% con una relación profundidad / calado de 1.10 hasta 100%-160% en aguas profundas (Referencia 7) de la misma, dependiendo de la profundidad del agua.

Por consiguiente la forma en que un buque gira depende grandemente de la relación profundidad / calado. Esto afecta tanto al Radio de Giro como al ancho del camino barrido, mostrando que a las menores relaciones profundidad / calado, los radios lo serán a los mayores y el ancho adicional los menores.

En la determinación de radios de giro y anchos, no es recomendable diseñar curvas que requieran grandes ángulos de timón. Esto conduciría a no disponer reserva de ángulo para contrarrestar efectos de viento olas o comente y comprometería por lo tanto la seguridad.

Para Diseño Conceptual por consiguiente se sugiere que el radio de giro y el ancho de camino barrido por el buque de diseño a un ángulo seguro de timón menor que el máximo sea el utilizado como guía.

Frecuentemente los maniobristas quedan satisfechos utilizando ángulos de timón de 15° a 20° en una curva; Ángulos mayores dejan muy poco margen de seguridad y ángulos menores (que implican grandes radios) hacen los giros difíciles debido al largo de la derrota y los problemas de maniobrar manteniendo al buque apropiadamente en su camino en una curva muy suave.

Mantener la posición en una curva implica que la misma esté bien delimitada. Las marcas en el interior de la curva son las mejores referencias visuales y se recomienda un mínimo de tres, si es posible una en el vértice, una en la entrada y otra en la salida agregando si es posible una en el vértice exterior.

(Ver figura 7). Si se dispone de más marcas se recomienda marcar ambos veriles con pares de boyas a la entrada, en el vértice y a la salida. Sin las marcas apropiadas el maniobrista puede encontrarse desorientado en una curva, (especialmente en una muy larga) y entonces hará falta ancho extra para permitir efectuarla. Las curvas sujetas a corrientes, vientos u olas atravesadas requieren ancho adicional.

## 2.7 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

Todas las decisiones de diseño, efectuadas en razón de seguridad de la navegación deben (o deberían) ser contrastadas con sus consecuencias económicas. Los recursos financieros no son ilimitados y deberá hacerse naturalmente un compromiso entre adecuada seguridad de navegación, adecuada capacidad del canal, aceptables costos de construcción y mantenimiento y por consecuencia de costos portuarios. Una relación válida para esto es la de: el costo estimado de construcción del canal contra el número "promedio" de barcos y su carga por día. Esto implica que un barco con carga de gran valor rápidamente justificará un alto costo de construcción de canal. El barco / carga "promedio" por día deberá obtenerse de todos los tipos de barco que usarán el canal en, digamos, un año, arribando a que una densidad de tráfico alta justificará también el costo alto de construcción de un canal mayor.

Esto requerirá un procedimiento iterativo, una vez que las estimaciones de costo de construcción iniciales hayan sido hechas quede demostrado que son inaceptablemente altos. Como se vió en la Sección 3 previamente, es posible reducir el ancho reduciendo la velocidad, aumentando la relación profundidad / calado, reduciendo las corrientes atravesadas, etc. Algunas o todas ellas tendrán efecto en la operación del canal (como por ejemplo, reducir el tamaño aceptable de los buques

o los tiempos de canal en servicio esto último cuando haya régimen de tiempos muertos)) las consecuencias económico comerciales de tales medidas deberán ser balanceadas con los ahorros de los costos de construcción.

Se podrán analizar mayores ahorros en el estadio de Diseño Detallado donde se pueden utilizar elementos analíticos más sofisticados (Ver capítulo 5)

---

## 3. Método Conceptual de Diseño de Canales

---

### 3.1 INTRODUCCIÓN

En esta sección se presenta un método de Diseño Conceptual para canales de acceso. El sigue los lineamientos en la Sección 2, más arriba y esta especificada para usar en preproyecto y para intercambio de ideas. Representa un buen sistema moderno y los canales diseñados con este método pueden resultar de un nivel adecuadamente seguro de navegación. Aún cuando el método puede ser aplicado universalmente las condiciones locales podrán exigir dimensiones o alineamientos diferentes en parte con la información dada más abajo. El Diseño Detallado que seguirá al Diseño Conceptual corregirá lo necesario para un lugar determinado.

El método trata sobre ancho y profundidad de secciones rectas y da guías para las curvas. Está acompañado por algunas explicaciones y definiciones y continuado con algunos trabajos de ejemplo que ilustran su uso.

### 3.2 PROFUNDIDAD

La profundidad se estima a partir de:

Calado del buque de diseño.

Altura de marea durante el tránsito del canal.

Squat (de figura 6 o ecuación (ii)).

Movimiento producido por las olas.

Un margen de 0.6 metros.

Densidad del agua y sus efectos en el calado.

En lo dicho precedentemente los valores para calado, incluidos efectos de densidad del agua, squat, movimientos inducidos por las olas y margen son aditivos.

Una vez que la relación profundidad / calado ha sido calculada, deberá ser controlada para asegurarse de no estar por debajo de un mínimo de seguridad. Un mínimo de 1.10 podrá ser lo permitido para aguas protegidas; 1,3 con olas de hasta un metro de altura y 1,5 para olas más altas con períodos y direcciones desfavorables.

El Número Froude de Profundidad,  $F_{nh}$ , deberá ser menor que 0,7.

### 3.3 ANCHO : SECCIONES RECTAS

El ancho del fondo  $W$  de la vía de agua (Figura 11), está dada para un canal de una vía por:

$$W = W_{BM} + \sum_{i=1}^n Wi + Wbr + Wbg \quad (\text{iii})$$

y para un canal de doble vía

$$W = 2W_{BM} + 2 \sum_{i=1}^n Wi + Wbr + Wbg + Wp \quad (\text{iv})$$

donde como se muestra en la Figura 11,  $Wbr$  representan la distancia a los veriles en los lados “verde” y “rojo” del canal.  $Wp$  es la distancia de cruce y  $Wi$  está dada en la Tabla 2. El ancho básico de maniobra  $W_{BM}$ , como un múltiplo de la manga  $B$  del buque de diseño está dado en la Tabla 1. Este ancho de maniobra básico es el requerido por el barco de diseño para navegar con seguridad en las mejores condiciones ambientales y operacionales.

(Ver figura 1).

Al ancho del espacio de maniobra básico  $W_{BM}$  hay agregados anchos adicionales (para compensar los efectos del viento, corriente etc.) Lo que da  $W_m$ . Los ensanchamientos adicionales están dados en la Tabla 2.

### 3.4 ANCHO Y RADIO DE LAS CURVAS

El ancho y radio de las curvas puede ser estimado a partir de los datos de giro del buque en las Figuras 8 y 9. Deberá elegirse un ángulo medio de timón y obtener el ancho y radio apropiados para un relación profundidad / calado dados.

Deberá asumirse en Diseño Conceptual que en interés de la seguridad no se producirán cruces de buques de ultramar en las curvas. Si en un subsecuente estudio de tráfico se establece que los cruces en las curvas resultan inevitables se necesitará un estudio detallado por separado.

Las compensaciones para vientos cruzados y corrientes deberán ser realizadas en la fase de Diseño Detallado pero como Guía el ancho del canal navegable en las curvas no deberá ser menor que que el de la sección recta.

TABLA 1  
SOLERA BASICA DE MANIOBRA

Maniobrabilidad del buque	Buena	Regular	Pobre
Solera básica de maniobra WBM	1,3 B	1,5 B	1,8 B

TABLA 2  
ANCHO ADICIONAL PARA SECCIONES RECTAS DE CANAL

ANCHO $Wi$	CANAL EXTERIOR EXPUESTO AGUAS ABIERTAS	CANAL INTERIOR AGUAS PROTEGIDAS
( a ) Velocidad del buque ( millas)		
- veloz > 12	0,1 B	0,1 B
- moderada > 8,12	0,0	0,0
- lenta 5-8	0,0	0,0

TABLA 2 (continuación)

ANCHO $W_i$	Velocidad del buque	Canal interior Expuesto a Aguas abiertas	Canal exterior Aguas protegidas
(b) Vientos de través preva- lecientes (Nudos)			
- moderados $\leq 15$ ( $\leq$ Beaufort 4)	Cualquiera	0,0	0,0
- regulares $> 15 - 33$ (Beaufort 4 - 7)	Alta	0,3 B	--
	Moderada	0,4 B	0,4 B
	Lenta	0,5 B	0,5 B
- fuertes $> 33 - 45$ (Beaufort 7 - 9)	Alta	0,6 B	--
	Moderada	0,8 B	0,8 B
	Lenta	1,0 B	1,0 B
(c) Corrientes de través prevalecientes (Nudos)			
- despreciable $< 0,2$	Cualquiera	0,0	0,0
- baja $0,2 - 0,5$	Alta	0,1 B	--
	Moderada	0,2 B	0,1 B
	Lenta	0,3 B	0,2 B
- regular $0,5 - 1,5$	Alta	0,5 B	--
	Moderada	0,7 B	0,5B
	Lenta	1,0 B	0,8 B
- fuerte $1,5 - 2,0$	Alta	0,7 B	--
	Moderada	1,0 B	--
	Lenta	1,3 B	--
(d) Corrientes longitudinales prevalecientes (Nudos)			
- baja $\leq 1,5$	Cualquiera	0,0	0,0
- moderada $> 1,5 - 3$	Alta	0,0	--
	Moderada	0,1 B	0,1 B
	Lenta	0,2 B	0,2 B
- fuerte $> 3$	Alta	0,1 B	--
	Moderada	0,2 B	0,2 B
	Lenta	0,4 B	0,4 B
(e) Altura H y longitud $\lambda$ de las olas significativas (m)			
- $H_s \leq 1$ y $m \leq L$	Cualquiera	0,0	0,0
- $3 > H_s, > 1$ y $\lambda \approx L$	Alta	$\approx 2,00$ B	
	Moderada	$\approx 1,00$ B	
	Baja	$\approx 0,5$ B	
- $H_s > 3$ y $\lambda > L$	Alta	$\approx 3,0$ B	
	Moderada	$\approx 2,2$ B	
	Baja	$\approx 1,5$ B	

Nota: Referente al Buque de Diseño

B = Manga  
L = Eslora  
T = Calado



TABLA 2 (continuación)

<b>ANCHO <math>W_i</math></b>	<b>Canal exterior expuesto a aguas abiertas</b>	<b>Canal Interior Aguas protegidas</b>
<b>(f) Ayudas a la navegación</b>		
- excelentes con control de tráfico en tierra	0,0	0,0
- buena	0,1 B	0,1 B
- mediano, visual y elementos a bordo mala visibilidad poco frecuente	0,2 B	0,2 B
- mediana, visual y elementos a bordo mala visibilidad frecuente	$\geq 0,5$ B	$\geq 0,5$ B
<b>(g) Superficie del fondo</b>		
- Si la profundidad $\geq 1,5$ T	0,0	0,0
- Si la profundidad $< 1,5$ T entonces:		
- parejo y blando	0,1 B	0,1 B
- parejo o inclinado y duro	0,1 B	0,1 B
- desparejo y duro	0,2 B	0,2 B
<b>(b) Profundidad del canal</b>		
- $\geq 1,5$ T	0,0	$\geq 1,5$ T 0,0
- $\geq 1,5$ T - 1,25 T	0,1 B	$< 1,5$ T - 1,15 T 0,2 B
- $< 1,25$ T	0,2 B	$< 1,15$ T 0,4 B
<b>(1) Nivel de riesgo de la carga</b>		
- Bajo	0,0	0,0
- Medio	$\geq 0,5$ B	$\geq 0,4$ B
- Alto	$\geq 1,0$ B	$\geq 0,8$ B

TABLA 3  
ANCHO ADICIONAL PARA CANALES DE DOS VIAS

<b>DISTANCIA DE CRUCE <math>W_p</math></b>	<b>Canal Exterior expuesto a aguas abiertas</b>	<b>Canal Interior aguas protegidas</b>
<b>Velocidad del buque (Nudos)</b>		
- Veloz $> 12$	2,0 B	--
- Moderado $> 8 - 12$	1,6 B	1,4 B
- Lento $5 - 8$	1,2 B	1,0 B
<b>Densidad de tránsito de vuelta encontrada</b>		
- Baja	0,0	0,0
- Media	0,2 B	0,2 B
- Alta	0,5 B	0,4 B

TABLA 4  
ANCHO ADICIONAL PARA SEPARACION DEL VERIL

<b>Ancho para separación del veril (<math>W_{Br}</math> o <math>W_{Bg}</math>)</b>	<b>Velocidad del buque</b>	<b>Canal exterior expuesto a aguas abiertas</b>	<b>Canal interior Aguas protegidas</b>
Veriles inclinados y bajo-fondos:	Alta	0,7 B	--
	Moderada	0,5 B	0,5 B
	Lenta	0,3 B	0,3 B
Escalones y embaucamientos duros, estructuras	Alta	1,3 B	--
	Moderada	1,0 B	1,0 B
	Lenta	0,5 B	0,5 B

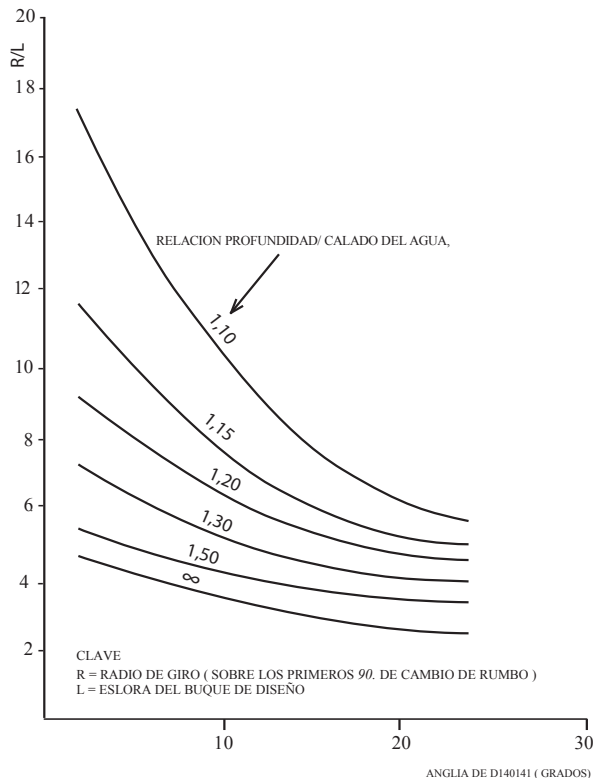


Figura 8: Radio de giro como una función del ángulo de timón y la profundidad ( Basado en un buque portacontenedores con una hélice, un timón)

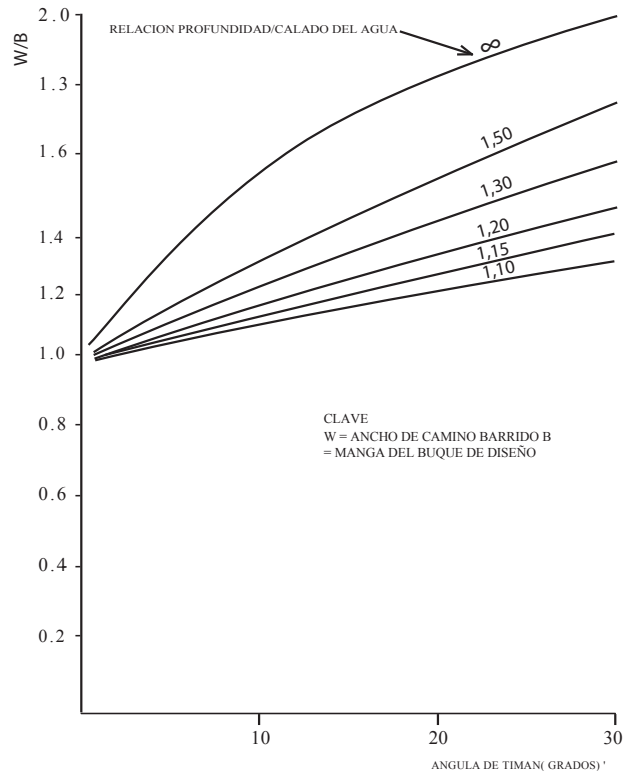


Figura 9 Ancho del camino Barrido en un giro como función del Ángulo de Timón y la profundidad (Basado In un buque Portacontenedores con una hélice, un timón)

Es preferible, establecer el ancho adicional del canal en el lado interior en lugar de en el exterior de la curva.

### 3.5 ALINEACION

La alineación deberá seguir los lineamientos dados anteriormente en la sección 2.5

### 3.6 DEFINICIONES Y NOTAS PARA LAS TABLAS

Las definiciones siguientes son aplicables a los varios recuadros en las Tablas 1 a 4. Donde es necesario se incluyen notas aclaratorias.

#### 3.6.1 TABLA 1

#### Maniobrabilidad del Buque

Una clasificación racional de la maniobrabilidad del buque no es fácil y a menudo deberá utilizarse una considerable cantidad de elementos de juicio.

En aguas libres en el océano, un buque que posee maniobrabilidad es aquel que es capaz de mantener su rumbo navegando a su velocidad de diseño o de servicio. Sin embargo, las muchas cualidades que lo hacen gobernable no ayudan en una maniobra rápida o navegando en curvas apretadas las que deberán ser consideradas para "buena maniobrabilidad" en los canales de acceso a puerto.

Como se menciona anteriormente en la sección 2.3.3.1,

la maniobrabilidad de un buque también cambia notoriamente en aguas restringidas. A medida que la relación profundidad / calado se reduce el buque se irá volviendo menos estable direccionalmente y más nervioso en sus respuestas. A medida que la relación disminuye todavía más el buque podrá volverse más estable al gobierno hasta que a un muy pequeño margen bajo la quilla se vuelve realmente perezoso. Esta mejora en la estabilidad direccional (ilustrada para giros en Figura 8) es una ventaja en un canal recto si el buque no es desviado de su curso apropiado. Pero si ello ocurre su perezosa respuesta podrá crear problemas de manejo y por consiguiente necesitará espacio adicional para maniobrar.

Por eso es difícil una clasificación general de las condiciones naturales de maniobrabilidad de los buques, porque ella depende grandemente del contexto. Como una guía a lápiz grueso, pueden usarse las siguientes consideraciones:

1. Los buques largos y afinados ( $L / B > 6.5$ ) son más estables direccionalmente que aquellos cortos y anchos ( $L / B < 6$ ). Estos últimos tendrán posibilidad de maniobrar en las curvas cerradas más fácilmente.
2. En aguas restringidas ( $h / T \leq 1,5$ ) todos los buques doblarán menos fácilmente.
3. La maniobrabilidad a baja velocidad puede ser bastante diferente a la de la velocidad de servicio para la que el buque fuera diseñado.
4. Los buques de una hélice/un timón maniobrarán bastante bien, pero deberá experimentarse el efecto del impulso lateral de la hélice (bias) (Un desalineación)

mientodebido al movimiento lateral de la popa, inducido por la hélice obliando al contratimón).

5. Los buques de una sola hélice Pitch experimentarán impulsión lateral en popa debido a ella, aun cuando la misma esté en ángulo de baja impulsión o en cero, "pitch".
6. Los buques con doble hélice y doble timón, tienen generalmente buena maniobrabilidad y control a cualquier velocidad.
7. Los buques de doble hélice y timón único tendrán buena maniobrabilidad a la velocidad de servicio, pero esta será pobre a bajas velocidades.
8. Los buques dotados con hélice transversal proel u otras (transversales) tendrán en general muy buena maniobrabilidad a baja velocidad. Los buques con mecanismos omnidireccionales tendrán en general una maniobrabilidad excelente a baja velocidad.

### 3.6.2 TABLA 2

#### Canal, zona canalizada etc.

En la figura 10 están definidos "Canal" y "Zona Canalizada". En muchos canales las boyas o mareas de navegación deberán estar próximas a los bordes del mismo

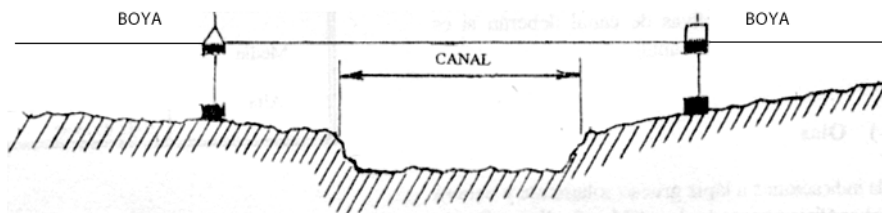


Figura 10: Definición de Canal y Zona Canalizada (Paso)

indicando los límites para la navegación segura. Pero para algunos con un cierto rango de tráfico, deberán estar posicionadas las marcas de la zona canalizada para permitir la navegación de barcos más pequeños a ambos lados del canal dragado. Más aún en algunos casos, ambos el canal profundizado y las zonas exteriores contiguas para buques más pequeños deberán estar señalizadas.

Los tres elementos de ancho de canal están definidos en la Figura 11.

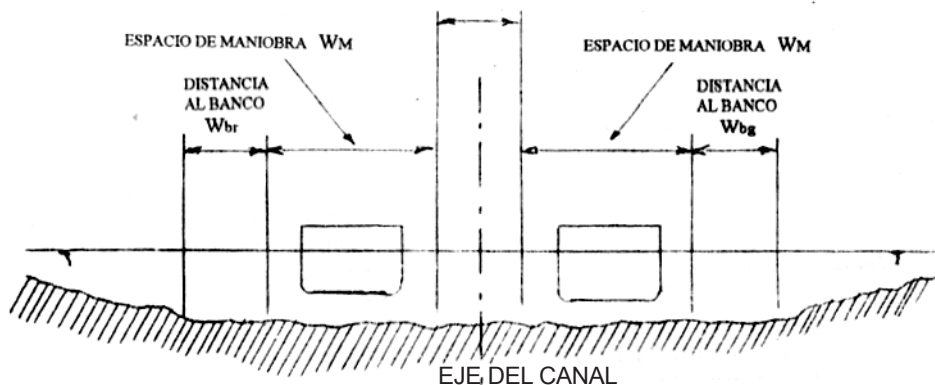


Figura 11: Elementos del Ancho del Canal

#### Canales interiores y exteriores

Un canal exterior es aquel expuesto a una acción tal de las olas que produzca movimientos importantes del buque. Normalmente estos serán cabeceo, elevación o rolidos y estos deberán ser de una magnitud que reduzcan el margen bajo la quilla en un valor significativo.

Un canal interior es aquel que no está expuesto a una acción significativa de las olas y generalmente está protegido.

Recuadro (b) Vientos cruzados prevalecientes. Estos deben ser adoptados a partir de las estadísticas de vientos para el lugar apropiado a la ubicación del canal y deben ser los dominantes de valores de duración promedio de una hora.

Como se mencionó en la sección 2.3.3.2, el comportamiento de un buque al viento depende muchísimo de su superficie expuesta al mismo. Por lo tanto si un canal es usado frecuentemente por buques de gran altura lateral, será recomendable para el Diseño Conceptual, clasificarlos como buques de "Pobre Maniobrabilidad" en la Tabla 1.

#### Recuadros (c) y (d): Corriente

Esto está tomado de las estadísticas apropiadas de las corrientes reales o de predicción para el lugar de establecimiento del canal. Si la corriente varía a lo largo de un canal extenso, será necesario efectuar cálculos de ancho para los puntos clave en el largo del canal.

No obstante que en la Tabla se muestran magnitudes de corriente de hasta 2,0 millas, es mejor alinear el canal, si ello es posible, para evitar tales altas velocidades de corriente.

En algunas ocasiones es imposible evitar fuertes corrientes atravesadas en algún sector corto de canal y en esos casos el buque deberá pasar esa zona tan rápido como pueda para prevenir desviaciones de su rumbo. Por consiguiente, como una simple regla las corrientes atravesadas mayores de 1,5 millas a lo largo de longitudes significativas de canal deberán si es posible ser evitadas realineando el canal.

### Recuadro (e) Olas

Esta sección da indicaciones a lápiz grueso solamente y deberá utilizarse con el análisis necesario. Las tablas de dispersión de olas deberán dar las alturas de las probablemente más significativas elevaciones (Hs) y períodos (Tw) para el área. El período de las olas en aguas profundas está relacionado con la longitud A. de la ola por la fórmula:

$$\lambda = gT^2w / 2\pi \quad (v)$$

mientras que en aguas restringidas de profundidad "h" la relación es:

$$\lambda = g T^2w / 2 \pi \text{TANGh} (2 \pi h / \lambda) \quad (vi)$$

Las alturas y el largo de las olas no están relacionadas de forma simple (por esto el uso de tablas de dispersión) y deberá utilizarse cierto criterio analítico con respecto a las combinaciones de largo y alto de las mismas usadas en esta sección

También deberá atenderse a como se presentan las olas, si de frente, por el través o de popa. La primera y la última afectan el período de choque con ellas (y por consiguiente la elevación y el cabeceo) mientras el mar de través produce principalmente rolido y elevación. Todos reducen el margen bajo la quilla.

### Recuadro (g) : Superficie del fondo

Los materiales suaves y blandos depositados en el fondo incluidos sedimentos y barro, son para los que es aplicable el concepto de Profundidad Náutica. (ver referencia 4). Sedimentos y barro pueden dificultar ya sea la maniobrabilidad como el avance del buque.

El efecto de la superficie del fondo solo tiene importancia en aguas restringidas. Si la profundidad del agua es superior a 1,5 veces el calado del buque de diseño no se necesita ancho adicional.

### Recuadro (h) : Profundidad del canal

Esta debe ser controlada con respecto a la velocidad (Número límite de profundidad de Froude) y la relación mínima profundidad / calado. (Ver sección 2.4). El ancho adicional ante un bajo margen bajo la quilla (para la que la estabilidad direccional mejora) reconoce la respuesta perezosa que esto implica, en caso que el buque se desvíe de su rumbo por cualquier razón.

**TABLA 5**

CATEGORIA	CARGA
Baja	Carga seca, a granel, contenedores, pasajeros Carga general, vehículos
Media	Petróleo a granel
Alta	Combustible aviación, LPG.LNG .químicos de toda especie

### Recuadro (i) Riesgos por la carga.

Los riesgos por la carga están definidos por su

- Toxicidad
- Riesgo potencial de explosión
- Riesgo potencial de polución
- Riesgo potencial de combustión
- Riesgo potencial de corrosión

La calificación de riesgo por carga se dan en la Referencia 8 y la Tabla 5 es un sumario sintético para indicar las de bajo, mediano y alto riesgo.

Deberá notarse en el recuadro (i), que se dan los mínimos valores de ancho adicional. Esto es porque los valores para las cargas de riesgo y sus efectos en cada area variará de un lugar a otro y a menudo se deberá efectuar un análisis racional de todos los riesgos una vez consideradas todas las circunstancias (Referencia 9).

Sin embargo será requerible un mínimo de ensanchamiento para seguridad y los valores que se dan en el recuadro (i) son los recomendados teniendo en cuenta esto.

### 3.6.3 TABLA 3

#### Distancia de cruce

En esta sección deberá usarse la manga de los buques mayores que se crucen sean o no los buques de diseño. Los valores dados asumen que los cruces se producen en canales aptos para doble vía de tráfico, y para buques de vuelta encontrada. Cuando se sobrepase una baja velocidad relativa, existirán mayores posibilidades de producirse interacción que afectarán a ambos buques y en tal caso la distancia de cruce deberá ser incrementada en un 50%.

La densidad de tráfico encontrado según la tabla 6 donde los buques considerados excluyen las embarcaciones menores tales como embarcaciones de placer o barcos pesqueros.

**TABLA 6**

CATEGORIA	DENSIDAD DE TRAFICO (Barcos/Hora)
Liviano	0,0 - 1,0
Medio	> 1,0 - 3,0
Pesado	> 3,0

3.6.4 TABLA 4

**Distancia a los veriles**

La distancia a los veriles se define en la Figura 5 para los dos tipos principales de veriles dados en la Tabla 4 está considerada de forma tal que un buque que se aproxime al borde de su zona de maniobra experimente un efecto banco cuyo valor sea el mínimo controlable.

**4. Ejemplos de trabajo**

En esta sección se dan ejemplos de trabajo para ilustrar el uso de los datos dados en las Tablas. Aún cuando no tienen relación con ningún canal existente estos son representativos de las aproximaciones que deben ser tomadas en Diseño Conceptual e ilustran una cantidad de puntos.

Aunque el trabajo se muestra totalmente, el método se presta perfectamente para su uso en computadora. En realidad se confeccionó un programa en FORTRAN

para este propósito y fue usado para verificar las pruebas de los ejemplos dados en adelante.

**EJEMPLO 1: CANAL RECTO DE UNA VIA**

*Un canal de aproximación recto de una vía, en aguas abiertas, de 10 millas náuticas de longitud debe ser diseñado para poder descargar buques portaminerales de una sola hélice de las siguientes medidas máximas:*

<i>Eslora máxima</i>	<i>315 metros</i>
<i>Eslora entre perpendiculares</i>	<i>300 metros</i>
<i>Manga</i>	<i>50 metros</i>
<i>Calado en carga</i>	<i>20 metros</i>

*Los vientos prevalecientes alcanzan un valor máximo de 25 nudos a través del canal. Las olas son pequeñas con una altura significativa menor de 1 metro y se producen a lo largo de todo el canal.*

*El canal deberá estar boyado con pares de boyas enfrentadas con separación de una milla entre pares y la visibilidad es generalmente buena. El canal está destinado a portaminerales y las ayudas a la navegación son buenas*

*El canal deberá ser dragado a través de un fondo nivelado, blando y plano cuya profundidad aproximada es de 12 metros bajo el cero de la carta. El ciclo de marea es semidiurno con característica sinusoidal, teniendo la pleamar 5 metros y la bajamar 0,5 metros sobre el cero de la carta. (Ver figura 12)*

*Las corrientes se producen solamente por los flujos de marea tienen una incidencia de 45° con el eje del canal y la magnitud de su velocidad se da en la Figura 12*

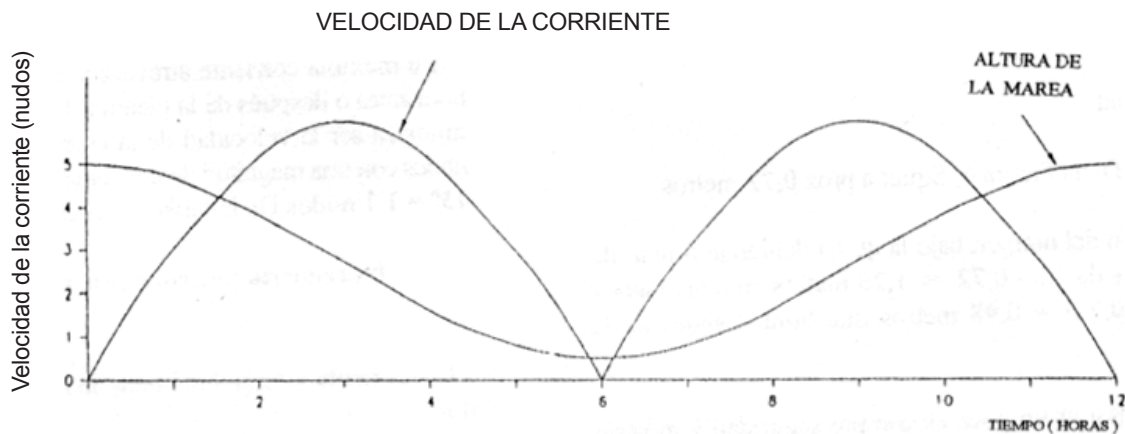


Figura 12: Supuesta Información de Marea

Como se trata de un canal recto de una vía, no es necesario considerar distancias de cruce o curvas. También resulta obvio el tipo de Buque de Diseño, de manera que no existe el problema de múltiples elecciones al respecto.

### Maniobrabilidad del buque

Los Bulk - carriers de una hélice cargados se maniobran razonablemente bien a bajas velocidades comparados, digamos, con un containero de dos hélices y un timón. No obstante, puede haber variantes y es prudente asignar inicialmente una condición de maniobra "moderada" a semejante buque. Por lo tanto tenemos de la tabla 1:

$$\text{Espacio Básico de Maniobra} = 1,5 B$$

### Velocidad del buque

La velocidad, la profundidad y la marea están ligadas y como la profundidad no está hasta el momento determinada, elegimos un velocidad inicial, teniendo en mente que esta podrá ser cambiada más adelante.

Adoptaremos una velocidad de 10 nudos lo que significa que el buque tardará una hora para transitar el canal. Considerando la información de mareas esto significa que si el buque comienza la navegación en pleamar, la altura del agua habrá disminuido 0,30 metros cuando este alcance el final (Ver Figura 12). Por el momento asumimos que esto es aceptable.

### Incremento por velocidad (Tabla 2, recuadro (a) 0,0 B

#### Profundidad del canal

Como el calado del buque excede la máxima profundidad de agua obtenible ( $12,0 + 5,0 = 17,0$  metros) en marea alta, se requiere un canal dragado. Para una relación *profundidad, calado* de 1.10, se necesitará una profundidad de  $1.10 \times 20 = 22$  metros en marea alta obteniéndose una profundidad de dragado de canal de  $22 - 17 = 5$  metros bajo el plano del fondo del mar.

Control de la velocidad:

$$F_{nh} = 10 \times 0,515 / \sqrt{g \times 22} = 0,35 \quad \text{aceptable}$$

#### Control de Squat

De la Figura 6, Squat a proa 0,72 metros

Una reducción del margen bajo la quilla debido al Squat de 0,72 metros nos dá  $2,0 - 0,72 = 1,28$  metros en marea alta y  $2,0 - (0,3 + 0,72,1) = 0,98$  metros una hora después de la pleamar

Este último valor es un poco escaso por seguridad y se

vería prudente incrementar la profundidad de dragado del canal para obtener una relación *profundidad/calado* de 1,15. Esto da:

Profundidad	23 mts en Pleamar
Profundidad de dragado del canal	6 mts bajo el fondo
Número de profundidad Froude	0,34
Squat en la proa	0,7 metros
Margen bajo la quilla - Pleamar	2,3 metros
Margen bajo la quilla - Plea ±1 hora	2,0 Metros

Estos valores están considerados todos aceptables

Deberá tenerse en cuenta que el canal tendrá insuficiente profundidad para el Buque de Diseño a aproximadamente ± 3 horas de la pleamar y en esos momentos la corriente tendrá su máximo valor. Un trabajo seguro está entonces restringido en general a Pleamar ± 1 hora cuando las corrientes serán débiles y la profundidad adecuada.

Para operar durante todo el ciclo de marea la profundidad dragada tendrá que ser incrementada a 10,5 metros bajo el nivel del fondo natural del mar en el lugar. Adicionalmente, como se encontrará la corriente máxima de media marea se requerirá un ancho adicional de canal. (Ver tabla 2, recuadros (c) y (d)

Hay sin duda un considerable ahorro de dragado a obtenerse operando el canal en pleamar solamente. Si esto no es aceptable desde un punto de vista comercial, entonces la ventaja comercial a ser obtenida con el trabajo en cualquier condición de marea deberá ser comparada con el incremento de costo de dragado.

Para este diseño se asume en lo que sigue que la operación en pleamar es la única opción aceptable.

#### Incremento de Ancho: Viento de través

El viento máximo de través prevaleciente de 25 nudos da para una velocidad moderada de 10 nudos sobre el agua un incremento al espacio básico de 0,4 B (Tabla 2, recuadro (b).

#### Incremento por viento de través 0,4 B

#### Incremento de Ancho: Corriente

La máxima corriente atravesada que se encontrará será una hora antes o después de la pleamar. La referencia a la Figura 12 muestra ser la velocidad de la corriente en ese momento 1,5 nudos con una magnitud de corriente de través de  $1,5 \times \text{seno de } 45^\circ = 1,1$  nudos De la tabla 2, recuadro (c)

#### Incremento por corriente de través 0,7 B

La corriente longitudinal tiene la misma velocidad de modo que:

#### Incremento por corriente longitudinal 0,0 B

### Incremento de Ancho: Olas

Las olas son menores de un metro de altura por lo tanto:

#### Incremento por olas 0,0 B

### Incremento de ancho: Ayudas a la navegación

Las ayudas a la navegación son regulares y de la tabla 2, recuadro (f) esto significará un incremento de 0,2 B

#### Incremento por ayudas a la navegación 0,2 B

### Incremento de Ancho: Superficie del fondo

La superficie a través de la que se dragará el canal es pareja y blanda. Asumiendo que los informes indican no existencia de materiales duros bajo el lecho del mar, el margen a la superficie del fondo (Tabla 2, recuadro (g)) es:

#### Incremento por superficie del fondo 0,1 B

### Incremento de Ancho: Profundidad del canal

La relación profundidad / calado es 1,15 es decir menor que 1,25 entonces de Tabla 2, recuadro (h):

#### Incremento por profundidad del canal 0,2 B

### Incremento de Ancho: Nivel de riesgo de la carga

Como el mineral constituye un nivel de riesgo bajo queda claro de la Tabla 2, recuadro (i) que:

#### Incremento por riesgo de carga 0,0 B

### Distancia a los veriles

El canal será dragado en un fondo marino ya bajo 12 metros de agua, Tendrá por consiguiente bordes inclinados y bancos, por lo tanto de Tabla 4:

#### Asignación por distancia a los veriles 0,5 B

Esto se aplica a ambos lados del canal

### Resumen

El canal tal como ha sido diseñado puede ser usado por períodos que se extienden a una hora antes y después de la pleamar y requiere una velocidad de tránsito de 10 nudos. Está dragado en la superficie del lecho marino existente con veriles de 6 metros de altura.

### Su ancho navegable está dado por:

Espacio básico de maniobra	1,5 B
Incremento por velocidad	0,0 B
Incremento por viento de través	0,4 B
Incremento por Corriente de través	0,7 B
Incremento por corriente longitudinal	0,0 B
Incremento por olas	0,0 B
Incremento por ayudas a la navegación	0,2 B
Incremento por superficie del fondo	0,1 B
Incremento por profundidad del canal	0,2 B
Incremento por riesgo de carga	0,0 B
Distancia a los veriles	2 x 0,5 =
	1,0 B
	4,1 B

Esto da un requerimiento de ancho de  $4,1 \times 50 = 205$  m

### EJEMPLO 2:

#### DOS PIERNAS RECTAS UNIDAS POR UNA CURVA

*La pierna recta del canal del Ejemplo 1 debe unirse a otra pierna de 5 millas de longitud, alineada a 45° a la primera con una curva. Estimar el radio de la curva y el ancho del canal en la porción curva. Determinar el ancho del canal en la segunda sección recta del canal. Las profundidades dragadas, las profundidades del lecho marino y la velocidad de tránsito permanecen iguales a las determinadas para el Ejemplo 1*

El esquema para el canal se muestra en la Figura 13 en la cual puede verse que la segunda sección del canal experimenta la corriente de marea en ángulo recto con su eje. El viento de 25 nudos a través de la primera pierna, está ahora a un cierto ángulo con la segunda pierna. Ambas cosas implican que el ancho de la segunda pierna será diferente de la de la primera.

La segunda pierna tiene 5 millas de largo y esto unido a la longitud de la curva, puede requerir algún ajuste a la velocidad de tránsito si se desea obtener suficiente agua visto que el tránsito del canal y las profundidades dragadas no se incrementarán.

#### Velocidad del Buque

Si se mantiene una velocidad media de tránsito de 10 nudos al buque le demandará 1,6 horas transitar el canal, asumiendo que la longitud de la curva será de alrededor de una milla náutica. Esto sugiere que el buque tendrá suficiente agua para completar el paso si comienza a la hora de pleamar -0,8.

Sin embargo si debe iniciar su tránsito en Pleamar con marea bajando (o en Pleamar - 1,6 con marea creciendo) el buque tendrá una altura mínima de marea de alrededor de 4,2 metros para afrontar (Figura 12).

Esto implica una caída en la altura de agua de 0,8 metros en lugar de los 0,3 metros del Ejemplo 1.

**Tabla 6 (3)**

Espacio básico de maniobra	1,5 B
Incremento por velocidad	0,0 B
Incremento por viento de través	0,4 B
Incremento por Corriente de través (@ Plm+1,6)	1,0 B
Incremento por corriente longitudinal	0,0 B
Incremento por olas	0,0 B
Incremento por ayudas a la navegación	0,2 B
Incremento por superficie del fondo	0,1 B
Incremento por profundidad del canal	0,2 B
Incremento por riesgo de carga	0,0 B
Distancia a los veriles	$2 \times 0,5 = 1,0 B$
	4,4 B

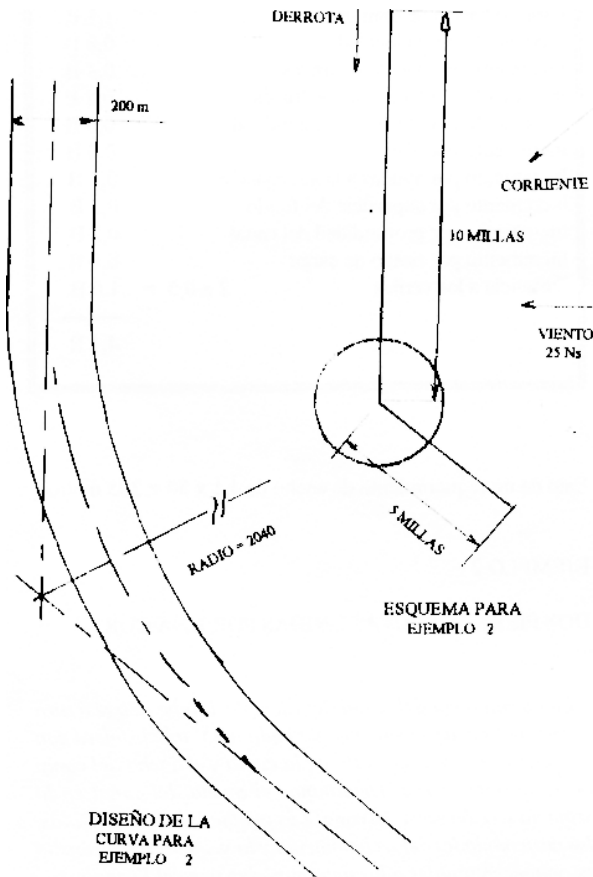


Figura 13: Esquema y Diseño de la Curva para el Ejemplo: 2

**Profundidad**

Como la profundidad dragada deberá permanecer igual que en el Ejemplo 1, la mínima profundidad de agua a encontrar será:  $23 - 0,8 = 22,2$  metros, dando una relación profundidad/calado de 1,11 y un Número de profundidad Froude de 0,349. El margen bajo la quilla en Pleamar +1,6 será, (asumiendo un Squat de 0,71 metros en la proa)  $23 - (20 + 0,8 + 0,71) = 1,49$  metros. Esto es poco y aunque esto pudiera ser aceptado en ciertas instancias, es evidentemente preferible transitar el canal en el período Pleamar  $\pm 0,8$  si fuera posible.

**Incremento de ancho: Segunda pierna del canal**

La segunda pierna del canal teniendo diferente orientación a los vientos y corrientes prevaletientes, deberá tener un incremento de ancho diferente. Esto está calculado como en el Ejemplo 1 y sintetizado en la Tabla 6 (3).

Esto da un requerimiento de:  $4,4 \times 50,0 = 220$  metros indicando un leve ensanchamiento del canal en la segunda pierna. El ancho adicional es tan pequeño por cierto ( 7% ) que probablemente sea prudente establecer el ancho navegable de todo el canal en 220 metros.

**Ancho y Radio de la curva**

La curva requerirá un cambio de rumbo de  $45^\circ$  y deberá usarse un ángulo de timón promedio de  $20^\circ$ . Las Figuras 8 y 9 entonces, dan los siguientes valores para el ancho del camino barrido y el radio de giro a 10 nudos, una relación profundidad/calado de 1,15 y un ángulo promedio de timón de  $20^\circ$ .

Ancho del camino Barrido =  $1,26 B = 1,26 \times 50 = 63$  m

Radio de giro =  $6,8 L = 6,8 \times 300 = 2040$  m

El viento prevaletiente tenderá a ayudar la caída (porque un buque mineralero, teniendo el castillaje a popa tenderá a orzar), de tal forma no se incrementa ancho por viento. Márgenes por corriente, ayudas a la navegación, distancia a los veriles, etc. se asumen como los de las piernas rectas, considerándose que la reacción de los veriles no será usada por los Prácticos para favorecer el giro como es a veces en aguas interiores o canales.

Esto da los siguientes valores para ancho de la curva y radio:

Ancho de la curva:  $3,36 B = 168$  m de ancho requerido

Radio de la Curva: 2040 m

Como el ancho requerido en la curva es menor que los 220 metros establecidos para las piernas rectas el ancho en la curva deberá ser 220 m.

**EJEMPLO 3: ELECCIÓN MÚLTIPLE DE BUQUE DE DISEÑO**

Se requiere un canal de entrada exterior, recto de doble vía apto para tráfico mixto. Los tipos de buques que usarán el canal son:

Buque tanque Panamax: Eslora 250 m, Manga 32,25 m, Calado 13 m



Buque Cantinero: Eslora 280 m , Manga 32,25 m  
Calado 12 m

Gasero LNG: Eslora 180 m, Manga 30,00 m,  
Calado 8 m.

La velocidad de tránsito será de 10 nudos y la corriente de través se considera que es leve durante el tránsito. Las corrientes longitudinales son de aproximadamente 1 nudo y los vientos atravesados de hasta 25 nudos no molestan el tránsito.

Las olas son despreciables y las ayudas a la navegación son buenas. La superficie del fondo es lisa y blanda y el canal será dragado en una superficie de fondo de mar plano con una profundidad promedio de 8 metros. La densidad de tráfico es de alrededor de 1,0 buque/hora.

El problema aquí se basa primordialmente en la elección del Buque de Diseño .El Containerero es el más grande, el Panamax el de mayor calado .pero el Gasero LNG lleva la carga más riesgosa. Además, la maniobrabilidad propia del buque Panamax será de regular a buena, mientras que la del buque Containerero a baja velocidad y con viento cruzado fuerte será de regular a pobre y la del Gasero LNG con viento cruzado puede ser pobre.

Es por lo tanto necesario efectuar un ejercicio de diseño preliminar con los tres buques para ver cuál determina las dimensiones del canal.

Para simplificar factores asumimos que la profundidad del canal se fija en 1,10 veces el valor del calado del buque más calador (el Panamax) lo que da una profundidad de agua de 14,3 metros.

Los anchos determinados están compilados en la Tabla 7.

Usando las dimensiones de las mangas de los tres buques, emerge el siguiente ancho de canal:

Ancho para:	Panamax	8,4 x 32,25	= 271 m
	Containerero	7,8 x 32,25	= 251 m
	Gasero LNG	10,4 x 30	= 312 m

A partir de esto queda claro que el ancho de canal para el buque Gasero LNG es apto para los otros dos. Por lo tanto el más pequeño de los tres buques debe ser tomado como Buque de Diseño, debido a la riesgosa naturaleza de su carga combinada con su pobreza de maniobra. Sin embargo la profundidad del canal estará determinada por el mayor calado del buque tanque.

## 5. Aspectos de Diseño Detallado

Aun cuando este reporte está en principio dedicado al Diseño de Concepto, el Diseño Detallado ha sido mencionado varias veces. Es por lo tanto apropiado indicar sucintamente, el trabajo adicional que se deberá efectuar en Diseño Detallado y y las razones de porque se necesita tal trabajo.

TABLA 7

Ancho determinado por:	BUQUE		
	Panamax	Containerero	LNG
Maniobrabilidad	2 x 1,5 B	2 x 1,8 B	2 x 1,8 B
Velocidad	2 x 0,0	2 x 0,0	2 x 0,0
Viento de través	2 x 0,4 B	2 x 0,4 B	2 x 0,4 B
Corriente de través	2 x 0,0	2 x 0,0	2 x 0,0
Corriente longitudinal	2 x 0,0	2 x 0,0	2 x 0,0
Olas	2 x 0,0	2 x 0,0	2 x 0,0
Ayudas a la navegación	2 x 0,1 B	2 x 0,1 B	2 x 0,1 B
Superficie del fondo	2 x 0,1 B	2 x 0,1 B	2 x 0,1 B
Profundidad	2 x 0,2 B	2 x 0,2 B	2 x 0,0 B
Riesgos por la carga	2 x 0,6 B	2 x 0,0	2 x 1,5 B
Distancia de cruce (Tráfico liviano)	1,6 B	1,6 B	1,6 B
Distancia a los veriles	2 x 0,5 B	2 x 0,5 B	2 x 0,5 B
<b>TOTALES</b>	<b>8,4 B</b>	<b>7,8 B</b>	<b>10,4 B</b>

## 5.1 LA NECESIDAD DE DISEÑO DETALLADO

En un principio deberá apreciarse que el método de diseño de canales dado en este reporte es solo una guía. Pueden surgir situaciones en ciertos canales en las cuales las consideraciones generales que se asientan en las Tablas 2 a 4 ya no serán aplicables y se requerirá una investigación más detallada del diseño del canal. Un ejemplo donde esto puede ocurrir puede ser donde un puente debe cruzar el canal causando vientos y corrientes con efecto local. Alternativamente, algunas partes del canal pueden tener problemas localizados para los cuales los requerimientos de ancho recomendados no pueden ser satisfechos y el canal no puede ser realineado. Ejemplos del primer caso ocurren en muchas partes de Europa mientras un notable ejemplo del último caso ocurre en el canal de entrada a Helsinki y está descrito en Referencia 10.

## 5.2 INTERCAMBIO DE ESTUDIOS

En muchos casos la necesidad de un revalúo detallado de diseño ocurre porque tiene que observarse un balance entre una adecuada seguridad y un costo aceptable. Si el diseño inicial del canal prueba tener muy alto costo de dragado por ejemplo debe existir interés en determinar de que forma el costo puede ser reducido sin comprometer la seguridad. El diseñador del canal puede enfrentarse al problema de varias formas p.ej.:

- realineando el canal si fuera posible;
- reduciendo la profundidad del canal
- reduciendo el ancho del canal

Realignar el canal puede producir algún ahorro, pero si la alineación inicial estaba elegida apropiadamente tales ahorros serán probablemente pequeños.

La reducción de la profundidad del canal puede muy bien resultar en un uso restringido del mismo, porque el Buque de Diseño no podrá pasarlo en cualquier condición de marea. El costo comercial de los tiempos muertos asociados con reducidos tiempos de aprovechamiento de marea, deberán ser contrastados con alguna reducción en costos de dragado y mantenimiento. Este tipo de estudio al tanteo puede convertirse en muchos casos en una parte del proceso de diseño del canal, resultando varias iteraciones antes de alcanzar una conclusión satisfactoria.

## 5.3 SIMULACION DE MANIOBRA

La reducción del ancho del canal dado como valor guía, deberá acompañarse con un más detallado estudio de la maniobra de los buques. Esto puede ser hecho convenientemente usando simulación de maniobra de buques, descrita bastante ampliamente en las referencias 11 y 2. Con el propósito de mantener seguridad en un canal angosto, el diseñador deberá recurrir a:

- maniobrabilidad mejorada en el Buque de Diseño. (Esto es solamente una solución si el canal es navegado regularmente por el Buque de Diseño, el cual podrá ser entonces diseñado especialmente para esa ruta. Esta situación puede ocurrir cuando está en uso regular por ferries por ejemplo).
- ayudas a la navegación mejoradas ( enfilaciones, luces sectorizadas, pilares balizados, radioayudas a la navegación tales como la " Brown Box" de los Prácticos de Rotterdam).
- ayudas especiales de navegación en los puentes de los Buques De Diseño (el ploteo de navegación asistida por computación usada en los grandes ferries que utilizan Portsmouth en UK Es un ejemplo).
- entrenamiento especializado para los Prácticos y los Oficiales de los buques que usan el canal.

Todo esto puede ser desarrollado y probado usando técnicas de simulación; Todo provocará facturación extra la que nuevamente deberá confrontarse con los valores de ahorro en los costos de dragado.

Antes de dejar el tópico de simulación de maniobra, es apropiado mencionar que en cualquier diseño de canal, las opiniones de los marinos que probablemente lo usarán deberá ser requerida con la mayor anticipación. Esto es más fácilmente obtenible en un medio con el cual ellos están familiarizados, un medio que esté bien creado en un simulador. Tal herramienta puede proveer una catálisis ideal de diseño al permitir a marinos, ingenieros y financistas encontrar una solución comprometida con el problema de diseño presentado.

## 5.4 CAPACIDAD DEL CANAL Y FLUJO DE TRAFICO

En los puertos con alta densidad de tráfico el canal de entrada no solo tiene que satisfacer los requerimientos de seguridad de navegación, también tienen que tener capacidad suficiente como para manejar el flujo de tráfico existente o proyectado. El estudio de flujo de tráfico aunque más allá del campo de este reporte es de importancia y puede determinar

- si el canal debe ser o no de una o dos vías.
- si el sobredimensionamiento es o no necesario;
- como manejarse con el tráfico a través de el.
- cuando el tráfico puede congestionarse y por consiguiente causar un riesgo.
- el efecto de los cambios en las reglas operativas;
- la necesidad de la operación VTS

Las reglas de operación derivan de consideraciones de seguridad y pueden ser determinadas a partir de estudios de simulador (para un canal nuevo) o de experiencia anterior (para un canal existente)

Existen modelos de simulación de flujo de tráfico y se usan en conjunto con reglas de operación para determinar los conflictos entre buques (p.ej. a que distancia debe pasar uno del otro) o alternativamente las demoras, las cuales deberán aumentar si se quiere evitar esos conflictos.

Todo está relacionado con el diseño y alineación del/de los canal/es de entrada / salida en un puerto.

## 5.5 ASESORAMIENTO DE IMPACTO MARITIMO Y RIESGO MARITIMO

El modelo de flujo de tráfico forma un nexo entre diseño de canales, reglas operativas y seguridad. Puede ser usado para tener una medida de riesgo .marítimo de forma que el efecto de los cambios en el diseño o la operación en los riesgos pueda ser determinado. El número de conflictos está directa-mente relacionado al riesgo, esto significa que reducir los conflictos tendrá generalmente un efecto bene-ficioso en los riesgos.

Un estudio completo incluyendo diseño de canales, simulación de maniobra, modelación de flujo de tráfico y asesoramiento sobre riesgo se denomina (Marine Impact Assesment) (MIA) (Referencia 9) De este se puede obtener una medida cuantificada de riesgos y una vez más esto será materia de intercambio de estudios entre seguridad y consideraciones económicas. Ello involucra la determinación de que un aceptable nivel de riesgo ha ser puesto contra los beneficios de cualquier cambio en.el diseño o la operación

## 5.6 ACCION DE LAS OLAS

Los canales (o algún segmento de ellos) sujeto a una acción significativa de las olas requieren una consideración especial. En tales casos deberá hacerse un balance de criterios entre el máximo calado al que un buque puede ser cargado (una consideración económica importante para un exportador de carga a granel por ejemplo) y la posibilidad de que el buque vare aun cuando sea momentáneamente, debido al movimiento inducido por las olas.

En la práctica esto significará la consideración de:

Medición de olas o estadísticas de vientos hechos a largo plazo, para determinar la condición de las olas de acuerdo al clima. Deberán hacerse por lo tanto varios analisis de refracción y difracción para una posterior pronosticación de la condición de las olas en el área en cuestión. En particular se necesitarán estadísticas de olas que excedan lo normal.

Los movimientos probables del buque de diseño (en especial elevación, rolido y cabeceo) en las condiciones predictas de olas. Los modelos matemáticos pueden predecir esto en aguas profundas mayormente trabajando o en difracción por aproximación (generalmente para velocidad baja o nula) o usando la teoría de las franjas (donde la velocidad de avance es significativa). Desafortunadamente los modelos matemáticos para predecir ajustadamente los movimientos del buque. En aguas restringidas son poco difundidos o confiables y a menudo deben usarse modelos físicos de prueba.

Una probabilidad aceptable de varaduras en un número determinado de choques con olas. La estadística de olas superiores y las respuestas de los movimientos del buque deberán combinarse para estimar la probabilidad

de varar en relación a la cantidad de olas chocadas. Deberá hacerse una apreciación de tal posibilidad para asegurar una máxima utilización del canal compatible con una apropiada condición de seguridad. Sin duda tal apreciación afectará los periodos operativos, los calados de los buques y el tiempo y velocidad de tránsito.

## 5.7 USO DE REMOLCADORES

Finalmente, el Diseño Detallado podrá señalar el uso de remolcadores. Aun cuando la premisa del método de diseño de canales establecido en este reporte es que el Buque de Diseño deberá ser capaz de usar el canal sin ayudas, puede haber ocasiones en que se considere prudente asistir al buque en parte de su tránsito con remolcadores.

Esto puede ocurrir cuando el buque tenga que disminuir velocidad en las proximidades de un muelle donde los remolcadores podrán requerirse para mantener su rumbo y asistirlo en la maniobra final de disminución de velocidad o detención. De esto pueden resultar modificaciones locales en el diseño del canal y se estudia habitualmente usando simuladores de maniobra.

---

## 6. Referencias (Bibliografía)

---

1. International Commission for the Reception of Large Ship (ICORELS), Report of Working Group IV, PIANC, 1980.
2. "Capability of Ship Manouvering Simulation Models for Approach Channels y Fairways in Harbours". Report of Working Group 20 of Permanent Technical Committee n, Supplement to Bulletin no. 77 (1992), PIANC, Brussels.
3. "Underkeel Clearance for Large Ships in MaritimeFairways with a Hard Bottom". Supplement to PIANC, Bulletin no. 51, 1985.
4. "Navigation in Muddy Areas ", PIANC Bulletin no. 43, pages 21 - 28, 1982/83.
5. "Global Wave Statistic". British Maritime Technology Ltd., London, 1987.
6. "Aids to Navigation Guide (Navguide)", International Association of Lighthouse Authorities (IALA), 2nd Edition, November 1993.
7. DAND, I.W.: "An Approach to Design of Navigation Channels". National Maritime Institute Report R 104, May 1981
8. "Code of Practice for Carriage of Dangerous Goods by Sea", International Maritime Organization, London.

9. DAND, L.W. and JON, P.R.: "The Role of the Marine Impact Assessment in Port Development", International Conference on Maritime Technology: Challenges in Safety and Environmental Protection, Singapore, November 1993.
10. HEIKKILÄ, M.: "The Evaluation of Maneuverability through a Narrow Strait using a Full-Bridge Shiphandling Simulator", MARS1M and ICSM '90, Tokyo, Japan, June 1990.
11. WEBSTER, W.C. (Editor): "Shiphandling Simulation: Application to Waterway Design Committee on assessment of Shiphandling Simulation, National Academy Press, Washington, D.C., 1992.

---

## 7. GLOSARIO

---

**Nota del traductor:** En las denominaciones Banco como lateral del canal se ha utilizado el término veril (*edge of a bank*)

Se han usado en este reporte varias palabras y expresiones que pueden no ser familiares para todos los usuarios. Para facilitar la tarea, se da un glosario de tales términos:

**Efecto Banco (Veril):** Es el efecto hidrodinámico causado por la proximidad de un buque a un banco. Presiones asimétricas actuando sobre el buque pueden causar que el mismo sea atraído hacia el banco y despedido del mismo. El efecto banco depende de la velocidad, distancia al mismo, tamaño del buque, altura del banco y del agua, relación profundidad/calado

**Angulo de la curva:** El ángulo entre dos piernas del canal que se encuentran en una curva. Normalmente expresado como el cambio de rumbo de un buque tomando una curva, así una "curva de 45°" significa que el rumbo del camino del buque deberá cambiar 45° cuando haya navegado la curva.

**Radio de la curva:** Es el radio desde el centro de la curva al eje del canal.

**Ancho del canal:** Está definido en este reporte como el ancho en el lecho del canal.

**Diseño de concepto:** Diseño inicial del ancho del canal, profundidad y alineación usando los valores dados en el presente reporte junto con otros valores relevantes relacionados al buque y al medio-ambiente.

**Diseño detallado:** Es el proceso de diseño adicional dedicado a perfeccionar los aspectos de diseño del canal de entrada una vez que el ancho inicial, la profundidad y la alineación han sido determinados. Esto está mostrado en el Capítulo 5 y no debe ser confundido con el criterio de "diseño detallado" de la ingeniería civil.

**Tiempos muertos:** Son los períodos en los cuales el

canal no puede ser usado. Esto puede ser a causa de mantenimiento, accidente, congestión o porque no hay suficiente altura de agua (a causa de baja altura de marea), excesivo viento o excesiva corriente por razones de navegación segura.

**Zonas de navegación.** son las zonas transitables demarcadas por boyas a tal efecto, estas pueden o no tener el mismo ancho que el canal.

**Número de profundidad FROUDE:** Es un parámetro clave, no dimensional relacionado con el comportamiento en aguas restringidas. Para un Número de Profundidad Froude igual a la unidad un barco se está moviendo a la velocidad crítica de traslación de ola para la profundidad del agua. Esto formará olas transversales extremadamente grandes y experimentará un masivo incremento de resistencia. Pocos buques en desplazamiento comercial tienen potencia suficiente para enfrentar tal velocidad en aguas restringidas y operan en régimen subcrítico.

**Interacción:** Efecto hidrodinámico que se induce en un buque cuando está próximo a otro o a un banco. Esto causa fuerzas asimétricas y momentos que actúan sobre el buque y pueden causar el apartamiento de su rumbo.

**Navais:** Son todas las ayudas a la navegación. Generalmente distinguidas como: Boyas flotantes fondeadas, pilares con faros, luces direccionales (enfalaciones), balizas sectorizadas, radioayudas a la navegación, radar, etc...

**Vientos/ Corrientes prevalecientes:** Los vientos o corriente más frecuentes, obtenidos de las estadísticas. Las corrientes pueden incluir las corrientes de marea y la inducida por el viento.

**Desvío:** La tendencia de un buque a desviarse del rumbo elegido. Normalmente esto ocurre por la interacción buque- buque, efecto banco, alta velocidad corrientes cruzadas locales o chubascos de viento.

**Camino barrido;** El camino barrido por las extremidades del buque cuando maniobra. Será generalmente mayor en las curvas que en las secciones rectas y con vientos o corrientes a través. Serán también mayores en aguas profundas bajo ciertas condiciones dadas, en comparación con el que efectúe en aguas restringidas.

**Intercambio de estudios:** Un estudio en el que varias opciones (a menudo en competencia) son comparadas entre ellas con el propósito de lograr una solución aceptable a la propuesta.

**Ventanas:** (Lo opuesto a tiempo muerto) Es el período en que el canal podrá ser utilizado.

## 8. Lista de símbolos

$\alpha$	= Angulo de la Curva ( grados ), ver figura 7
B	= Manga del buque ( m )
CB	= Coeficiente Block, ver ecuación (ii)
$\Delta$	= Volumen de desplazamiento (m <sup>3</sup> ), ver ecuación (i i)
$\Delta w$	= Ancho adicional en curvas (m), ver figura 7
Fnh	= Número de profundidad Froude (.), ver ecuación (i)
g	= Aceleración de la gravedad (m/seg <sup>2</sup> )
h	= Profundidad del agua (m)
Hs	= Altura significativa de las olas (m)
HW	= Pleamar
kn	= Nudos
$\lambda$	= Largo de las olas (m)
L	= Eslora (m)
LPP	= Eslora entre perpendiculares (m)
R	= Radio de la curva (m), ver figura 7 o radio de giro más de 90° de cambio de rumbo, Ver figura 8.
T	= Calado del buque (m)
Tw	= Período de las olas ( s )
V	= Velocidad del buque sobre el agua (m/s )
W	= Ancho del espejo de agua (m), ver ecuación (iii) y (iv)
WBg	= Distancia al banco (veril) del lado verde del canal (m), ver Tabla 4) figuras 5 y 11
WM	= Espacio básico de maniobra (m), ver Tabla 1 y Figura 1
WBr	= Distancia al banco (veril) del lado rojo del canal (m), ver Tabla 4 y Figuras 5 y 11
Wi	= Ancho adicional por viento, corriente, etc., ver Tabla 2
W.L.	= Línea de Agua
Wm	= Espacio de maniobra (m)
Wp	= Distancia de cruce (m), ver Tabla 3 y Figuras 3 y 11

## 9. Términos de referencias

PIANC / IAHP JUNTA DE TRABAJO GRUPO 30

### DIMENSIONES DE CANALES Y PASOS UNA GUIA PRACTICA

- A. Sobre la base de documentos existentes y en particular con referencia al reporte sobre calado de PIANC PTC II Grupo de Trabajo 7, deberá determinarse si hay suficiente información en este documento para permitir la preparación de una guía práctica preliminar con respecto a ancho y el trazado del canal.
- B. Para formular recomendaciones para el diseño y la subsecuente utilización de canales navegables, teniendo en consideración la existencia de conocimiento, experiencia y existencia de técnicas analíticas, con particular referencia a:
- Comportamiento y equipamiento de buques;
  - Condiciones físicas y ambientales locales;

- Factores humanos;

Practicaje, asistencia de remolcadores y ayudas a la navegación para llevar adelante esta tarea será necesario:

1. Cotejar y revisar la información existente y las herramientas disponibles (en todo el mundo) sobre diseño de canales de entrada, tales como métodos de estudio de oficina, modelos y simuladores físicos y matemáticos incluyendo trabajos de investigación en proceso; esto puede incluir un repaso de trabajos relevantes ya completados por los Grupos de Trabajo PIANC
2. Establecer y mantener conexión con instituciones investigadoras de hidrología y buques en relación con el comportamiento de estos en una variedad de condiciones físicas y ambientales.
3. Desarrollar y circular un cuestionario para ser entregado a todas las autoridades portuarias y otros organismos interesados o de relieve en orden de obtener información sobre:
  - 3.1 Condiciones físicas, ej. dimensión de la marea, naturaleza del lecho del mar/río;
  - 3.2 Parámetros y criterios utilizados para el diseño del canal, teniendo en consideración de las condiciones físicas locales.
  - 3.3 Número y tamaño de los buques que usan dicho canal y en qué condiciones ambientales y operacionales;
  - 3.4 Estadística completa del comportamiento de los buques;
  - 3.5 Reporte detallado de accidentes / colisiones en el / los canal/es de acceso.
4. Análisis de las respuestas recibidas al cuestionario para proveer un inventario sistemático de los prototipos destacados de información en forma normalizada. El objeto del análisis deberá ser para convalidar los modelos de maniobra y establecer las bases para actualizar las guías existentes para diseño de canales.
5. Analizar los métodos utilizados para la definición de profundidad náutica, basada (aparte de otros factores) en la densidad y la viscosidad. Tratará de describir los diferentes métodos y arribar ya sea a uno normalizado o recomendar un procedimiento de interpretación que facilite la comparación cuantitativa de varios métodos. Se recomendará el criterio para ser publicado como una guía práctica para la profundidad náutica de entrada
6. Desarrollar una metodología para conciliar los aspectos económicos y de seguridad para el diseño y uso del canal.
7. Establecer guías prácticas para el diseño de canales.
- C. La implementación exitosa de los hallazgos del estudio requerirán el apoyo de las organizaciones de armadores y de los gobiernos en la seguridad de que el equipo necesario abordo se provee para optimizar el uso de los canales.