7. ESTUDIO DE MANIOBRAS PORTUARIAS

La configuración y dimensiones en planta, necesarias en las diferentes Áreas de Navegación y Flotación es función directa del tamaño, dimensiones y características de maniobrabilidad de los buques y los factores relacionados con los barcos, incluida la disponibilidad o no de remolcadores, de los que depende la superficie necesaria para la realización de la navegación, maniobras o permanencia de los buques en el Área que se considere.

Se han seguido en el desarrollo del presente estudio de las maniobras portuarias en las ampliaciones propuestas para el recinto del Puerto Caleta Paula, las recomendaciones del ROM 3.1.99 que ha sido el resultado de un largo proceso de estudio, que se materializó fundamentalmente en los trabajos realizados a lo largo de casi 3 años por una Comisión Redactora formada por 19 especialistas, constituida por Ingenieros del Sistema Portuario, Técnicos de Marina Mercante, Responsables de Operaciones Náuticas en Puertos, Capitanes de Buques, Prácticos, Especialistas en Simuladores, Especialistas en Modelos Hidrodinámicos, Responsables de Flota e Ingenieros Consultores, que aportaron conocimientos muy diferentes sobre esta materia, que, tras numerosos debates, han podido concretarse en un texto que concilió los diferentes enfoques.

Se analizan fundamentalmente las maniobras de arribo y atraque, dado que el zarpado de los buques de los muelles, para el recinto ampliado en las dos etapas propuestas, no presenta mayores inconvenientes que condicionen las dimensiones de los recintos analizados.

Para el análisis de dichas maniobras se han tenido en cuenta:

- ✓ Características de los buques que influyen en su maniobrabilidad, ya sean sus dimensiones geométricas y de desplazamiento, como los sistemas de propulsión, máquinas, hélices, timones, amarras, anclas y cadenas y también el análisis de las características de masa e inercia que afectan al movimiento.

- ✓ Las acciones externas sobre el buque por efecto de los vientos, oleajes y corrientes, así como la incidencia en estas condiciones de maniobra de las bajas profundidades, de la proximidad a las márgenes o de la interacción con otros barcos amarrados o en navegación.

Las dos maniobras fundamentales del buque de proyecto analizadas a continuación y sobre las que se basó el dimensionamiento de las Áreas de

Navegación y Flotación, son la curva evolutiva del buque o maniobra que realiza a potencia y ángulo de timón constante, y la maniobra que se efectúa para parar el buque.

7.1. Buque de proyecto.

El Buque de Proyecto es el que se utiliza para el dimensionamiento de los accesos y Áreas de Flotación. Dado que estas áreas serán utilizadas normalmente por distintos tipos de buques, cuyas dimensiones y otras características de maniobrabilidad pueden ser muy diferentes, normalmente será necesario definir como Buque de Proyecto un conjunto de varios buques representativos de los diferentes tipos de barcos y condiciones de carga con las que operarán en el Área que se analice, con objeto de asegurar que el dimensionamiento realizado permita la operación en condiciones de seguridad de cualquiera de ellos, así como de los otros buques que tengan que operar en simultaneidad con ellos en tales áreas.

Se hace notar que las dimensiones geométricas en planta o en alzado de las Áreas de Navegación y Flotación dependen fundamentalmente de parámetros diferentes del buque (calado, eslora, manga, superficie expuesta al viento, condiciones de maniobrabilidad, etc), por lo que será necesario considerar como Buques de Proyecto aquellos asociados a las condiciones más desfavorables de las características que sean determinantes en cada caso.

Dado que todas las maniobras esperables son función de las dimensiones de los buques que la realizan, el primer paso es definir los mayores buques que operarán en los recintos ampliados de cada una de la etapas propuestas.

Para la etapa I de la ampliación propuesta, se analizarán las maniobras de buques de 152 m y 166 m de eslora, es decir portacontenedores o mercantes de 15000 Tn TPM y mercantes de 20000 Tn TPM.

Para la Etapa II de ampliación propuesta, completando el recinto hacia el sur con el segundo muelle principal sur, se analizarán las maniobras de atraque de buques de hasta 174 m de eslora, es decir portacontenedores de 20000 Tn TPM.

En la siguiente Tabla 7.1 se muestran las características de las posibles embarcaciones de mayor tamaño que operarán en el puerto.

BUQUES TIPO

	TPM Tn	Des. Tn	L (m)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	Cb
Portacontenedor	20000	27000	174	165	26.2	9.2	0.68
Portacontenedor	15000	20000	152	144	23.7	8.5	0.69
Portacontenedor	10000	13500	130	124	21.2	7.3	0.7
Mercante carga	20000	28000	166	158	24.8	10	0.71
Mercante carga	15000	21500	152	145	22.6	9.2	0.71
Mercante carga	10000	14500	133	127	19.8	8	0.72

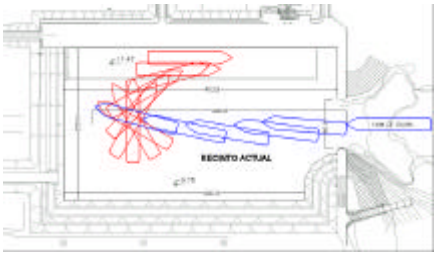
Tabla 7.1.- Buques de Proyecto

7.2. Maniobras en recinto actual

El actual recinto portuario tiene una longitud este-oeste de 453 m útiles y un ancho útil de 250 m, con el muelle principal norte de 450,0 m más un pequeño muelle auxiliar para embarcaciones chicas en el lado este, situado en el lado interior del cofferdam norte que integra la entrada al puerto.

Prefectura Naval autoriza este puerto para mercantes de 140 m de eslora, teniendo en cuenta una longitud de frenado de aproximadamente 3 veces la eslora, a partir de la obra de entrada, que es el punto a partir del cual el mercante empezaría su operación de frenado.

En la siguiente Figura 7.1 se esquematiza en azul la maniobra de frenado y en rojo la de atraque, para la máxima embarcación autorizada a operar en el recinto actualmente.



Maniobra de frenado Maniobra de atraque

Figura 7.1.- Maniobra de frenado y atraque en recinto actual

Las dimensiones del recinto actual permiten una dársena de giro pequeña con dimensiones menores a dos esloras, tal como se detalló en los primeros estudios del proyecto de la obra, pero admitiendo una maniobra de atraque por babor, que permite una salida del buque cargado lo más directa posible.

La maniobra puede ser ayudada con un ancla por estribor, que facilita la detención y giro del buque, pudiéndose realizar este más cerca de la obra de entrada. El resultado graficado es coincidente con las peores situaciones que ocurrieron en el recinto con el frenado del buque a unos 50 m de la costa oeste. Cálculos similares a los desarrollados luego, para las futuras embarcaciones a operar en los recintos ampliados, confirman que la maniobra actual mantiene un coeficiente de seguridad próximo a 1,5.

Un factor que puede incomodar la maniobra son los persistentes vientos del oeste, efecto que se reduce considerablemente en los buques con dos hélices en popa, que son mucho más maniobrables al permitir un par actuando sobre el buque.

7.3. Cálculo de las distancia de frenado

Para el cálculo de la distancia de frenado de las distintas embarcaciones analizadas en las dos etapas de ampliaciones de recinto estudiadas, se han seguido los criterios expuestos en el ROM 3.1-99 "Proyecto de la Configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación".

Tal como se expresa en la citada publicación muchas de las fuerzas que intervienen en los cálculos son variables en función de múltiples condiciones tales como la profundidad de agua, el estado del mar, el clima marítimo, la orientación del buque, etc.

Por otra parte, un gran número de las fuerzas dependen de la voluntad del maniobrista, quién puede hacerlas cambiar continuamente del modo que estime más favorable para la maniobra que esta desarrollando.

Con estos supuestos, los estudios teóricos de las trayectorias o movimientos que se desarrollan en el presente punto quedan limitados a unos cuantos casos normalizados, que deberán ser contrastados con curvas experimentales para los distintos barcos que puedan operar.

Cuando el proceso de frenado se realiza parando las máquinas, se habla de un frenado natural, maniobra poco frecuente, máxime para nuestro caso donde, habitualmente, se cambia el sentido de empuje de las hélices, para actuar en marcha atrás, realizando un frenado forzado.

Antes de iniciarse el frenado, las únicas fuerzas que intervienen son el empuje propulsor Tp y la resistencia al avance Ra, que serán iguales y de sentido contrario.

Al desarrollarse la maniobra de parada, la fuerza del propulsor será opuesta al avance, generándose un movimiento variable de desaceleración.

La distancia de frenado será función de la velocidad inicial, su desplazamiento, su estado de carga, la forma y condiciones de limpieza de su carena, la profundidad del agua, los efectos de viento, el mar y las corrientes y su sistema de propulsión.

La presencia de profundidades de agua reducida produce un efecto de frenado importante, al aumentar la resistencia al avance, que se manifiesta en nuestro caso para los buques grandes, con poco margen de agua debajo de la quilla.

Cuando la maniobra se realiza sin ayuda de remolcadores, se consideran dos parámetros fundamentales: La resistencia del buque al avance "Ra" y el Empuje propulsor "Tp". A altas velocidades predomina la resistencia al avance Ra, mientras que para las velocidades normales en áreas portuarias, es más importante el empuje del propulsor en marcha atrás.

Para las áreas de navegación y flotación objeto del ROM, en los que la velocidad no excede de 6 m/s (~12 nudos), la distancia de frenado o parada puede calcularse con el método de Chase simplificado, con la siguiente expresión:

$$Df = (1/2)\ (Des/g).\ Cm\ .\ Vo^2\ \{\ 1 - 0{,}32(Rao/Tp)\}.(1/Tp) + (Tn.Vo)\ /\ 2$$

Donde:

Df = distancia de frenado o parada
Des = desplazamiento
G = aceleración de la gravedad
Cm = coeficiente de masa hidrodinámico, que se adopta en Cm = 0,8
Vo = velocidad absoluta al iniciar la maniobra
Rao = resistencia del buque al avance al inicio de la maniobra
Tp = empuje del propulsor en marcha atrás durante la maniobra
Tn = tiempo de reacción para invertir el empuje del propulsor

La ecuación anterior requiere que se cumplan las dos condiciones siguientes:

$$Tp > Ra$$

$$(Rao.Tn.\ g)\ /\ (Des\ .\ Cm\ .\ Vo) < 0{,}6$$

Condiciones que normalmente se cumplen en las áreas de maniobra como la analizada.

Una estimación del empuje del propulsor en marcha atrás, durante la maniobra de parada normales podrá evaluarse como 1/3 del empuje del propulsor con máquina avante a velocidad de servicio. En el caso de maniobras de emergencia se puede adoptar un régimen de máquina "todo atrás"con un valor 2/3 del empuje del propulsor con máquina avante.

El empuje del propulsor con máquina avante a velocidad de servicio se calcula como:

$$Tp = W\ /\ Vr$$

Donde:

W es la potencia eficaz sometida por la máquina y puede calcularse como:

$$W = Wo\ (Des/1000)^{2/3} .\ (Vr/10)^2$$

Siendo:

Vr es la velocidad relativa del buque con respecto al agua, en nudos
Wo es la potencia del buque semejante que para buques moderadamente rápidos como los portacontenedores o mercantes que operan en el puerto varía entre 250 CV y 400 CV

Los cálculos realizados con procedimientos matemáticos como los desarrollados permiten obtener resultados aceptables para la etapa de estudios que estamos desarrollando.

Los factores más importantes son el desplazamiento y la velocidad inicial, por tal razón se realizaron los cálculos variando las velocidades iniciales entre 4 m/s y 6 m/s y los desplazamientos entre 21000 y 28000 Tn.

Las velocidades de entrada calculadas son ambas mayores que las habitualmente utilizadas por los buques actualmente en Caleta Paula, con el objeto de trabajar en las peores condiciones esperables o cubriendo el caso de tener que incrementar la velocidad por algún efecto metereológico en la maniobra de entrada.

Se logran así conservadoras condiciones de análisis, o coeficientes de seguridad adicionales para esta etapa de los estudios, en cálculos que deberán ajustarse en la futura etapa de proyecto, con verificaciones de las operaciones mediante ensayos en modelo o estudios con simulador.

Para cada caso analizado se presenta a continuación las Tablas 7.2 a 7.5 que resume los cálculos y resultados obtenidos.

Tabla 7.2.- Distancia de frenado para Vo = 6 m/s y Des.= 28000 Tn

Vo =	6	m/s
Tn =	20	seg.
Tn *Vo /2 =	60	m
Cm =	1.08	

Des =	28000	Ton
Rao =	139	Ton
Vr =	12.0	nudos
Tpa=	431.5	Ton
W =	5178.4	Ton
Tp=1/3Tpa=	144	Ton
Tp=2/3Tpa=	288	Ton

Rao*g*Tn/((Des*Cm*Vo)<0.6

Tpa = W / Vr
W=Wo.(Des/1000)^2/3.(Vr/10)^3
Wo=(250/400) 325

Df 1/3=	327	m
Df 2/3=	223	m
med =	275	m
Coef. Seg.	2	
Df max	653.4	m

3.8 esloras del portacontenedor
3.9 esloras del mercante

Df med	550	m

3.2 esloras del portacontenedor
3.3 esloras del mercante

Tabla 7.3.- Distancia de frenado para Vo = 6 m/s y Des.= 21000 Tn

Vo =	6	m/s
Tn =	20	seg.
Tn *Vo /2 =	60	m
Cm =	1.08	

Des =	21000	Ton
Rao =	104	Ton
Vr =	12.0	nudos
Tpa=	356.2	Ton
W =	4274.7	Ton
Tp=1/3Tpa=	119	Ton
Tp=2/3Tpa=	237	Ton

Rao*g*Tn/((Des*Cm*Vo)<0.6

Tpa = W / Vr
W=Wo.(Des/1000)^2/3.(Vr/10)^3
Wo=(250/400) 325

Df 1/3=	312	m
Df 2/3=	211	m
med =	261	m
Coef. Seg.	2	
Df max	624.4	m

4.1 esloras del portacontenedor
4.1 esloras del mercante

Df med	523	m

3.4 esloras del portacontenedor
3.4 esloras del mercante

CONTRATO DE OBRA	EXP.	HOJA Nº

PROVINCIA: **SANTA CRUZ**
TITULO: **ANTEPROYECTO PRELIMINAR DE LA AMPLIACION DEL PUERTO CALETA PAULA**
EXPERTO: **ING. WOLFGANG LANGBEHN**

Tabla 7.4.- Distancia de frenado para Vo = 4 m/s y Des.= 28000 Tn

Vo =	4	m/s
Tn =	20	seg.
Tn *Vo /2 =	40	m
Cm =	1.08	

Des =	28000	
Rao =	62	Ton
Vr =	8.0	nudos
Tpa=	191.8	Ton
W =	1534.4	Ton
Tp=1/3Tpa=	64	Ton
Tp=2/3Tpa=	128	Ton

Rao*g*Tn//(Des*Cm*Vo)<0.6

Tpa = W / Vr

W=Wo.(Des/1000)^2/3.(Vr/10)^3

Wo=(250/400) 325

Df 1/3=	307	m
Df 2/3=	203	m
med =	255	m
Coef. Seg.	2	
Df max	613.4	m

3.5 esloras del portacontenedor
3.7 esloras del mercante

Df med	510	m

2.9 esloras del portacontenedor
3.1 esloras del mercante

Tabla 7.5.- Distancia de frenado para Vo = 4 m/s y Des.= 21000 Tn

Vo =	4	m/s
Tn =	20	seg.
Tn *Vo /2 =	40	m
Cm =	1.08	

Des =	21000	
Rao =	46	Ton
Vr =	8.0	nudos
Tpa=	158.3	Ton
W =	1266.6	Ton
Tp=1/3Tpa=	53	Ton
Tp=2/3Tpa=	106	Ton

Rao*g*Tn//(Des*Cm*Vo)<0.6

Tpa = W / Vr

W=Wo.(Des/1000)^2/3.(Vr/10)^3

Wo=(250/400) 325

Df 1/3=	292	m
Df 2/3=	191	m
med =	241	m
Coef. Seg.	2	
Df max	584.4	m

3.8 esloras del portacontenedor
3.8 esloras del mercante

Df med	483	m

3.2 esloras del portacontenedor
3.2 esloras del mercante

En resumen los valores obtenidos de distancias de frenado con un coeficiente de seguridad dos, es decir el doble de la requerida, se encuentran prácticamente entre 3 y 4 esloras.

Los valores mas próximos a las tres esloras corresponden a las velocidades de entrada menores analizados, considerando siempre una condición media que no incluye toda la potencia en reversa disponible.

Se presentan y esquematizan a continuación las maniobras de frenado y posterior atraque que pueden realizarse en las ampliaciones de los recintos propuestos.

En las distintas variantes analizadas se ha trabajado con las diferentes embarcaciones máximas propuestas para operar en cada caso.

7.4. Maniobras de frenado y atraque en recinto ampliado Etapa I

Se propuso la Etapa 1 de ampliación del recinto a efectos de incrementar la longitud de muelle y mantener mayor seguridad en las distancias de frenado.

Se observa consecuentemente en la siguiente Figura Nro. 7.2, la maniobra de frenado y atraque de un buque de 152 m de eslora.

Se esquematizó en azul una distancia de tres esloras para realizar normalmente una maniobra de frenado segura y de manera similar a las figuras previas, se esquematiza en rojo la continuación de una posible maniobra hasta el atraque en la zona central del muelle

Al igual que lo aclarado previamente el giro esquematizado figura en una condición extrema, normalmente este se produce en una zona más cercana al centro del recinto, dado la ayuda del ancla y la menor velocidad de entrada que normalmente se presenta.

Nótese sin embargo, que aún en estas condiciones, queda una revancha de algo mas de una eslora hasta la nueva margen oeste ampliada.

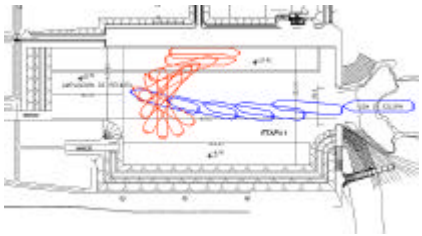


Figura 7.2.- Maniobra de frenado y atraque en recinto Etapa I (L152m)

En la siguiente Figura 7.3. se muestra una maniobra similar para una embarcación de 166 m de eslora.

Valen aquí los mismos comentarios sobre las condiciones esquematizadas, notándose que se reduce la revancha adicional hasta la nueva margen oeste ampliada, pero se mantiene la actual relación de espacio disponible para el frenado que tiene en el actual recinto el buque de 140 m de eslora (Fig. 7.1).

De igual manera se muestra en azul la maniobra de frenado hasta una longitud de tres esloras y luego en rojo un giro retrocediendo y el posterior atraque en la zona central del muelle.

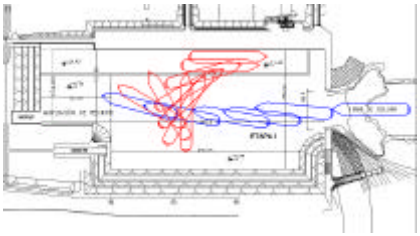


Figura 7.3.- Maniobra de frenado y atraque en recinto Etapa I (L165m)

7.5. Maniobras de frenado y atraque en recinto ampliado Etapa II

La ampliación en Etapa II, además de las lógicas ampliaciones de zona de muelle previamente analizadas permite el arribo a puerto de las máximas embarcaciones que operarán en la zona, tales como Portacontenedores de 20000 Tn TPM y esloras de 174 m de longitud.

Este tipo de embarcación requiere como se analizado previamente distancias de frenado que varían entre 3 y 4 esloras con adecuados coeficientes de seguridad. Tal como especifica el ROM, esta distancia puede ser considerada en curva, habiéndose adoptado una radio de giro de 300 m, tal como se calcula o verifica en el siguiente punto.

La siguiente Figura 7.4 esquematiza las maniobra de frenado y atraque en el muelle sur de la ampliación en Etapa II de la máxima embarcación analizada de 174 m de eslora.

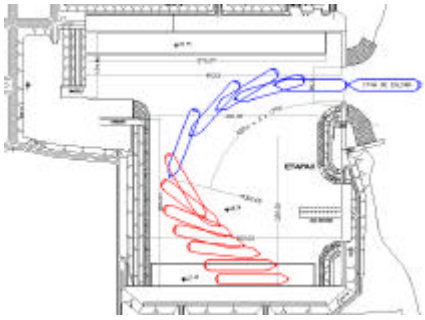


Figura 7.4.- Maniobra de frenado y atraque en recinto Etapa II

De manera similar a lo detallado para los esquemas previos se graficó en azul la maniobra hasta un desarrollo de 3 esloras adoptado como distancia de frenado normal y en rojo el posterior atraque en muelle.

7.6. Radio de giro.

El radio de giro o diámetro del círculo de rotación de una curva evolutiva o trayectoria descrita por el centro de gravedad del buque, cuando al barco se le hace caer con ángulo de timón constante, es función de la forma del casco, del calado, de las condiciones de carga, entre otras variables sin considerar las propias del lugar como corrientes, vientos y olas.

Para su determinación se han utilizado los diagramas del ROM que permiten obtener para distintos ángulos del timón el "Diámetro del Círculo de Rotación" adimensionalizado respecto a la Eslora entre Paralelas Lpp de los buques tipos analizados, en función del coeficiente de Bloque Cb y el Factor de timón Ft, que se calcula como:

$$Ft = St / (Lpp * D)$$

Donde:

Lpp = es la eslora entre perpendiculares
D = es el calado
St = Superficie de la pala del timón, que se calcula como

$$St = (D * Lpp / 100) * \{1 + 25 (B / Lpp)^2 \}$$

Siendo:

B = la manga del buque

Los ábacos citados previamente son aplicables hasta ángulos del timón de 35°, valor hasta el que se considera aceptables las fórmulas de Jossell, y aquél donde se logra el máximo efecto o máximo momento evolutivo para timones convencionales.

Estos ábacos, además, son válidos para aguas profundas y no consideran los efectos de vientos, oleajes y corrientes.

Para profundidades menores se recomienda multiplicar los valores obtenidos por 1,25 para profundidades de agua de 1,5 veces el calado y por 1,75 para profundidades de agua de 1,2 veces el calado del buque.

Los vientos dominantes de la zona son del oeste y tienden a favorecer el giro propuesto para la embarcación en la ampliación de Etapa II y las corrientes deberían ser despreciable, dado que los ingresos se realizan generalmente en estoa.

En la siguiente Tabal 7.6 se resumen los cálculos realizados siguiendo las expresiones antes detalladas y el ábaco de la figura 6.08 del ROM 3.1-99 "Proyecto de la configuración marítima de los puertos; Canales de Acceso y Áreas de Flotación" para los parámetros correspondientes a los principales barcos analizados como buques tipo en el presente estudio.

St = D*Lpp/100[1 + 25(B/Lpp)^2]		Ft = St/[Lpp*D]		1/Ft
St conte20 =	24.749	Ft cont20 =	0.0163	61.3
St carguero20=	25.532	Ft carg.20 =	0.0162	61.9
			Adopto	61.5
St = D*Lpp/100[1 + 25(B/Lpp)^2]		Ft = St/[Lpp*D]		1/Ft
St conte15 =	20.529	Ft cont15=	0.0168	59.62
St carguero15=	21.442	Ft carg.15=	0.0161	62.22
			Adopto	61.00

Con Cb = 0,7 de fig 6.08 Diámetro de giro =	3 * Lpp =	3* 165 =	495	m	
Para aguas medias	Rgiro15/20=	309	m		
Para aguas altas	Rgiro15/20=	248	m		
Se adopta	**Rad. giro**	**300**	**m**		

Tabla 7.6. radio de giro

Los resultados obtenidos verifican los valores previamente adoptados para las maniobras de la Etapa II de ampliación del recinto que se esquematizaron en la anterior Figura 7.5