

Acceso de grandes bulkcarriers al Muelle de Minerales (Puerto de Gijón)

JOSE RAMON IRIBARREN ALONSO (*)
JOSE MARIA MONTERO MONTALVO (**)

RESUMEN. El Puerto de Gijón es uno de los más importantes de España en lo que se refiere a tráfico de carbón y mineral de hierro. Sus instalaciones fueron ampliadas con objeto de recibir buques mineraleros de hasta 200.000 TPM en el Nuevo Muelle de Minerales. La Junta del Puerto solicitó al CEPYC y a DELFT HYDRAULICS (Holanda) un estudio conjunto para determinar las condiciones en las que los grandes bulkcarriers pueden acceder con seguridad al nuevo muelle. En este sentido, se analizaron dos aspectos: maniobrabilidad de los buques y profundidad del canal. La maniobra se estudió utilizando un modelo matemático con piloto automático (SHIPMA) y un simulador de radar (SHIMARE). El canal fue evaluado por medio del programa CHOP, basado en ensayos con modelo reducido. Como resultado del estudio, se desarrollaron normas precisas de acceso al muelle para bulkcarriers de gran tamaño.

ACCESS OF LARGE BULKCARRIERS TO THE ORE QUAY (PORT OF GIJON)

ABSTRACT. Gijón is one of the major iron ore and coal ports in Spain. The harbour was enlarged to cope with bulkcarriers of up to 200,000 DWT, in the new Ore Quay. The Port Authority of Gijón Authorities asked the CEPYC and DELFT HYDRAULICS to determine the conditions under which large bulkcarriers can safely enter the harbour. With a view to this, two aspects of this question were analyzed: ship manoeuvring and channel depth. The aspects related to ship manoeuvring were studied with both the fast-time simulation program SHIPMA and a radar bridge simulator (SHIMARE). The channel depth study was conducted using the CHOP program, based on scale model tests. The results of these two aspects were combined, to provide entrance rules for very large vessels.

1. INTRODUCCION

Entre las obras de ampliación del Puerto de Gijón realizadas en los últimos años destaca la construcción del Muelle de Minerales, proyectado para uso por bulkcarriers de hasta 200.000 TPM.

La entrada a este muelle está restringida por las dimensiones horizontales y verticales de la zona de navegación en relación con la maniobrabilidad de los buques y sus movimientos verticales provocados por el oleaje.

Existen posturas contrapuestas respecto a la accesibilidad de este muelle con buques de gran porte en diferentes condiciones meteorológicas. Por este motivo, la Junta del Puerto solicitó un estudio con el objetivo de fijar el margen de seguridad, concretado en el espacio

de maniobra disponible y la profundidad requerida en el canal.

El estudio constó de cuatro partes diferenciadas:

1. Estudio de clima marítimo y propagación del oleaje (Modelo REFDIF10).
2. Maniobrabilidad de buques (Modelo de maniobra con autopiloto SHIPMA).
3. Maniobrabilidad de buques (Simulador de maniobra en tiempo real SHIMARE).
4. Profundidad en el canal (Modelo de movimientos verticales de buques CHOP).

El Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX tuvo a su cargo la coordinación entre las diversas fases del proyecto y desarrolló los puntos 1 y 2. El centro holandés Delft Hydraulics llevó a cabo los puntos 3 y 4.

Como resultado del estudio se elaboraron normas precisas de acceso al Muelle de Minerales para buques de diversos tamaños bajo condiciones meteorológicas adversas, especificando los niveles de marea mínimos

(*) Director de Programa de Experimentación Portuaria. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (MOPTI).

(**) Técnico Superior de Proyectos. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (MOPTI).

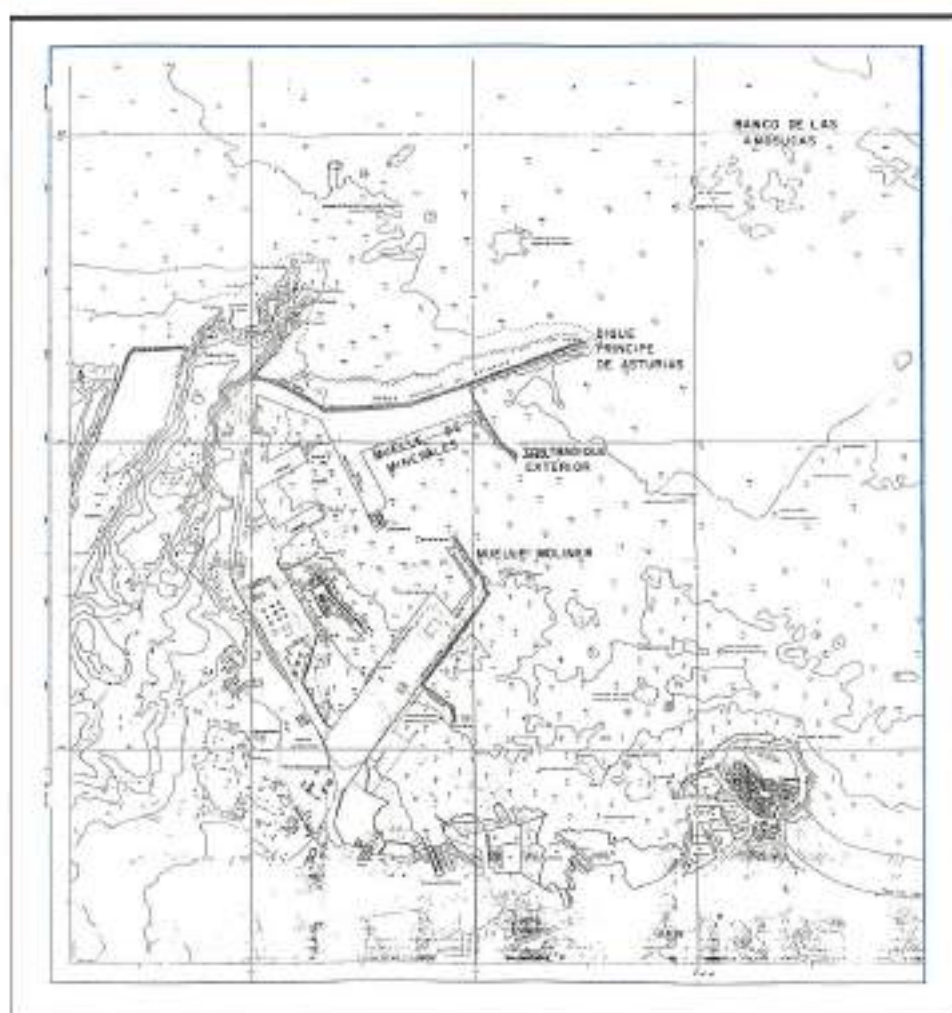


FIGURA 1. Disposición general del Puerto de Gijón.

para un acceso seguro, las dificultades existentes en cuanto al espacio de maniobra y la potencia de remolque necesaria.

BULKARRIER 184.000 TPM	
ESLORA TOTAL	297,0 m
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	285,0 m
MANGA	49,0 m
PUNTAL	24,3 m
CALADO A PLENA CARGA	16,7 m
DESPLAZAMIENTO A PLENA CARGA	205.000 t
PESO MUERTO	184.000 t

TABLA 1. Características del bulkcarrier de 184.000 TPM.

2. BUQUES ANALIZADOS

Para la primera fase del estudio se consideraron tres bulkcarriers a plena carga, de 65.000 TPM, 125.000 TPM y 184.000 TPM. Un peso muerto cercano a las 200.000 toneladas y un calado de 18 metros marcan el límite superior de los barcos que pueden acceder al muelle. La tabla 1 presenta las dimensiones principales del buque de tamaño intermedio.

En el estudio con el simulador se desechó el buque de menor tamaño, añadiéndose un bulkcarrier de

PESO MUERTO (TPM)	CALADOS (m)
100.000-150.000	15,5, 16,5, 17,5
150.000-200.000	15,5, 16,5, 17,5
200.000-250.000	15,5, 16,5, 17,5, 18,5

TABLA 2. Clases de buques analizados en el estudio de calados.

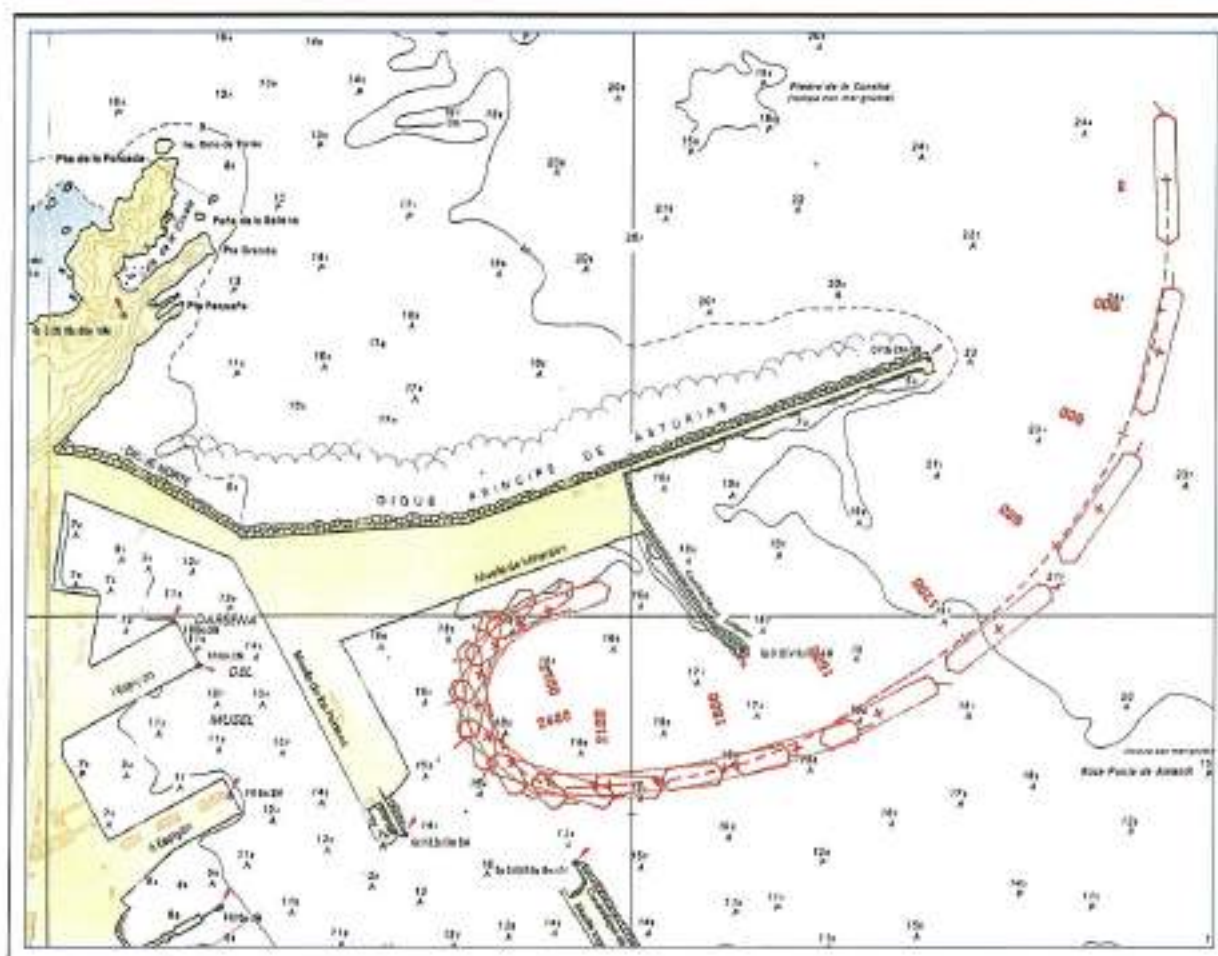


FIGURA 2. Esquema general de la maniobra de acceso al Muelle de Minerales.

230.000 TPM a plena carga, así como el de 184.000 TPM a media carga, con el fin de analizar la influencia combinada del oleaje y el viento.

El estudio de calados se realizó para tres clases de buques en distintas condiciones de carga (Tabla 2):

3. SEGUIMIENTO DE MANIOBRAS REALES

Con el objetivo de definir detalladamente la maniobra de acceso al Muelle de Minerales, se realizó un seguimiento a bordo de la entrada del buque «Elbe Ore» por parte de personal del CEPYC, en fecha 10 de marzo de 1991.

El «Elbe Ore» es un OBO (transporte mixto de mineral, grano y petróleo) de 77.250 TRB, construido en el año 1972, que navega bajo bandera liberiana. A continuación se presentan sus dimensiones principales:

ELBE ORE	
ESLORA TOTAL	299,0 m
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	285,0 m
MANGA	44,0 m
PUNTA	24,0 m
CALADO A PLENA CARGA	17,6 m
PESO MUERTO	160.571 t

TABLA 3. Características del «Elbe Ore».

El calado en el momento de la maniobra era de 16,5 metros. La situación de partida fue un fondeo frente a la Punta de San Lorenzo, a 2 millas al Este del puerto,



FIGURA 3. Entrada del «Elbe Ore» (10-3-91). Comienzo del giro hacia el interior del Puerto.



FIGURA 4. Entrada del «Elbe Ore» (10-3-91). Paso por el Contradique.



FIGURA 5. Entrada del «Elbe Ore» (10-3-91). Giro en la dársena, con ayuda de remolcadores.



FIGURA 6. Entrada del «Elbe Ore» (10-3-91). Aproximación al muelle.

de donde el «Elbe Ore» salió hacia el Norte describiendo un amplio giro para aproximarse al muelle con rumbo Sur, en zona de mayores calados.

Las condiciones meteorológicas eran buenas, con amplia visibilidad, brisa floja del Noroeste y oleaje de la misma dirección, con altura estimada de 1,0 a 1,5 m en el exterior del puerto.

El buque contó con el auxilio de cinco remolcadores: dos de 30 t de tiro con cabos por proa y popa, otros dos de 20 t empujando por la amura de babor y uno más de 25 t empujando por la aleta de estribor. La maniobra comenzó unas tres horas antes de la pleamar, a fin de disponer de la máxima profundidad de agua en el transcurso de la entrada. Durante su desarrollo, de aproximadamente una hora de duración, se tomaron fotografías desde el puente y se registraron rumbos, referencias de posición, velocidades, órdenes a máquina y timón, etc.

Los datos recogidos permitieron estimar la trayectoria seguida por el buque y las distancias de paso con relación al Dique Príncipe de Asturias y al Contradique Exterior, así como algunas enfilaciones de referencia. Se analizó también con detalle el trabajo de los remolcadores.

Acciones de seguimiento como ésta demostraron ser de gran utilidad para el análisis de la maniobra de acceso, por lo que es muy recomendable que se realicen en otros casos futuros, de forma más exhaustiva (registro detallado de velocidades, rumbos, órdenes de máquina y timón, etc.), junto con la determinación de la trayectoria desde tierra. Como es lógico, estos estudios tienen un interés mucho mayor en condiciones meteorológicas adversas, en las que existen más dificultades para la maniobra. En estos casos, sería necesario registrar además información fiable acerca de la dirección e intensidad del viento, así como de la dirección, altura y períodos del oleaje.

4. FASES DEL ESTUDIO

4.1. CLIMA MARITIMO

Tras el análisis de la información ofrecida por el Servicio Meteorológico, datos visuales de oleaje y medidas de

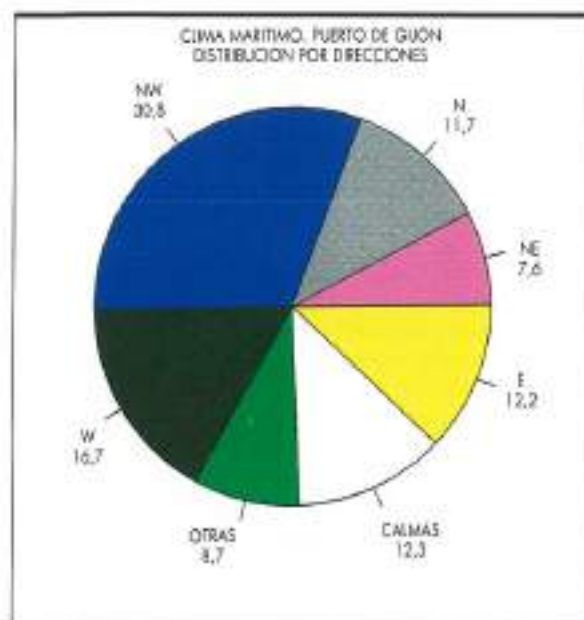


FIGURA 7. Direcciones de oleaje en Gijón.

la boya REMRO de Gijón, se definieron nueve condiciones meteorológicas tipo.

Se consideraron tres direcciones de temporal (Noroeste, Norte y Nordeste) a cada una de las cuales se asoció su dirección de viento correspondiente. Dentro de

CONDICION DURA						
TEMPORAL	DIAS/AÑO	OLEAJE			VIENTO	
		Dir	T_p (s)	H_s (m)	Dir	Vel (m)
NW	5	NW	16	4,0	N	25
N	2	N	14	3,0	NE	25
NE	3	NE	10	3,0	NE	25

TABLA 4. Condición meteorológica dura (5 % excedencial).

CONDICION MEDIA						
TEMPORAL	DIAS/AÑO	OLEAJE			VIENTO	
		Dir	T_p (s)	H_s (m)	Dir	Vel (m)
NW	12	NW	16	3,0	N	12
N	4	N	14	2,5	NE	12
NE	7	NE	10	2,0	NE	12

TABLA 5. Condición meteorológica media (10 % excedencial).

CONDICION NORMAL						
TEMPORAL	DIAS/AÑO	OLEAJE			VIENTO	
		Dir	T_p (s)	H_s (m)	Dir	Vel (m)
NW	65	NW	16	1,0	N	5
N	30	N	14	0,5	NE	5
NE	35	NE	10	0,5	NE	5

TABLA 6. Condición meteorológica normal (50 % excedencial).

cada temporal, se definieron tres grados de dificultad, denominados «condición dura», «condición media» y «condición normal», asociados al 5, 10 y 50 % de excedencia anual para cada dirección.

4.2. PROPAGACION DE OLAJE

Los oleajes seleccionados en el estudio de clima marítimo fueron propagados hasta el puerto utilizando el modelo matemático REFDF10, desarrollado en el CEPYC. Como es sabido, los datos visuales sobre los que se construyó el Clima Marítimo están referidos a aguas profundas. Si se desea conocer con detalle las condiciones de oleaje en la zona de maniobra es necesario aplicar un modelo de propagación suficientemente preciso. En este caso, el modelo parabólico permite reproducir los efectos de la difracción y la refracción del oleaje.

Las figuras 8 y 9 presentan, respectivamente, la posición de los frentes de ola y las líneas de isoagitación para el temporal de dirección Norte y $T_p = 14$ s, utilizando oleaje regular.

Los resultados del modelo permiten valorar la influencia de las obras de protección del puerto (Dique

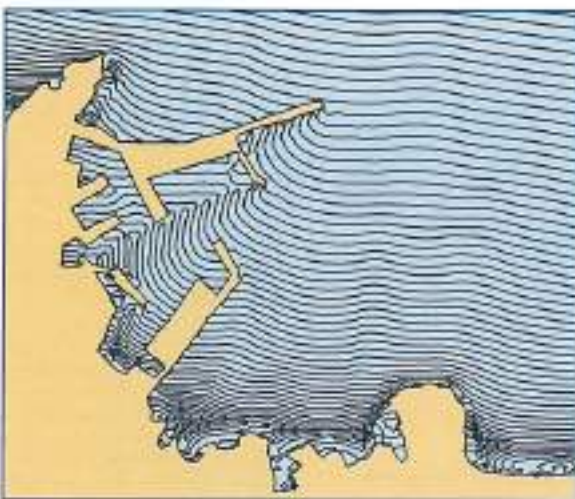


FIGURA 8. Oleaje Norte $T_p = 14$ s. Frentes de ola.



FIGURA 9. Oleaje Norte $T_p = 14$ s. Líneas de isogración.

Príncipe de Asturias, Contradique Exterior y Muelle Moliner), así como la influencia de los bajos de las Amosucas, situados en las proximidades de la bocana. Las alturas y direcciones del oleaje obtenidos se aplicaron en las fases posteriores del estudio.

4.3. MODELO DE MANIOBRA SHIPMA

Esta fase del estudio se llevó a cabo utilizando el modelo matemático de maniobra de buques SHIPMA, desarrollado por Delft Hydraulics (Holanda) y adquirido en 1987 por el CEDEX.

El objetivo del modelo es representar el comportamiento durante la maniobra de un buque sometido a la acción del viento, el oleaje y la corriente, y auxiliado por remolcadores. El modelo matemático calcula la trayectoria del centro de gravedad del buque, el rumbo y las acciones del timón, la máquina y los remolcadores, buscando describir una trayectoria predefinida por el usuario mediante la aplicación de un algoritmo de control (piloto automático).

Tras llevar a cabo una maniobra del barco, el programa proporciona información acerca de las variables que la definen (distancia recorrida, ángulo del timón, revoluciones del motor, velocidad del barco, etc.), en forma de tablas o gráficos. Otro resultado útil es un gráfico de la trayectoria seguida por el buque.

Este modelo no es interactivo. La actuación del práctico (decisiones acerca del uso de la máquina, timón y remolcadores) está simplificada mediante un algoritmo matemático simple. Por esta causa, su comportamiento es determinista. Bajo estas premisas, se valoran de forma más objetiva, en términos de comparación, maniobras realizadas bajo condiciones diferentes (distinto oleaje, buque o remolcadores, por ejemplo). No debe olvidarse, sin embargo, que en este modelo se eliminan factores que pueden influir de forma importante en el desarrollo de una maniobra (percepción de distancias, estrategia de actuación, sensación de riesgo, etc.).

Combinando los buques objeto de estudio y las diferentes condiciones meteorológicas, resultaron veintinueve casos a analizar. En la mayoría de las situaciones se utilizaron cuatro remolcadores, con una capacidad total de 126 t (tres actuales, con 20, 25 y 36 t de tiro y uno de nueva adquisición, con 45 t de tiro). Para los casos

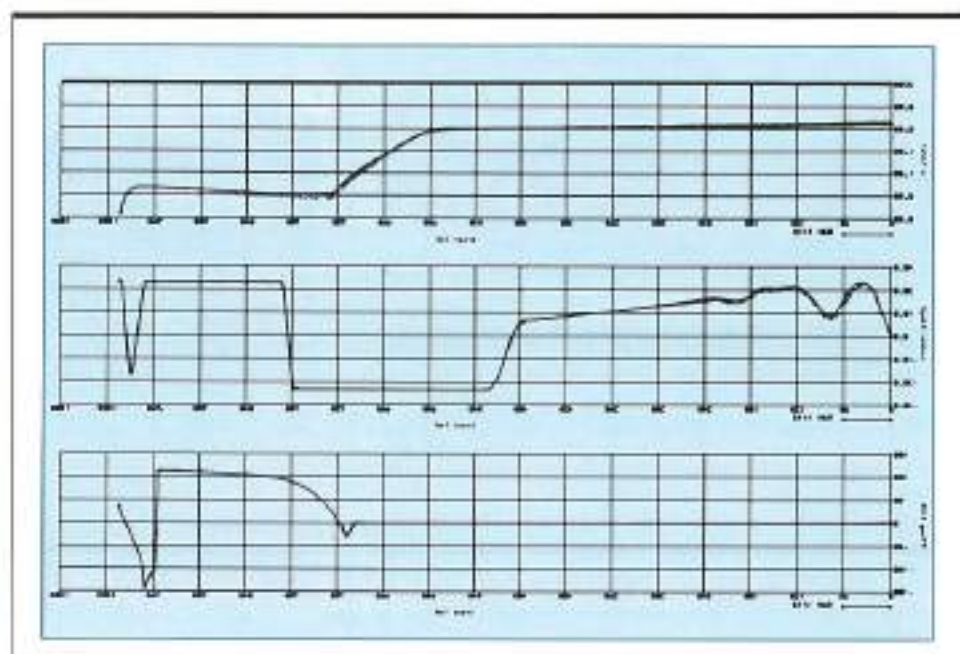


FIGURA 10. Velocidad del buque, ángulo de timón y fuerzas de remolcadores a lo largo de la maniobra.

BUQUE	TEMPORAL	CONDICION	REMOLCADORES
65.000 TPM	NW N NE	DURA MEDIA NORMAL	126 t
125.000 TPM	NW N NE	DURA MEDIA NORMAL	126 t
184.000 TPM	NW N NE	DURA MEDIA NORMAL	126 t 150 t INW duro 200 t INW duro

TABLA 7. Casos analizados con el modelo SHIPMA.

más complicados se emplearon también otras dos formaciones con 150 y 200 t (tres remolcadores de 50 t y cuatro remolcadores de 50 t).

Las conclusiones más relevantes de este estudio fueron:

- En ninguna situación los buques invaden las zonas de seguridad definidas en pleamar, permaneciendo bajo control asistidos por los remolcadores. Se observa, sin embargo, una dificultad importante para realizar la maniobra en caso de existir otro buque atracado en el extremo Oeste del muelle, pues supone una marcada reducción del espacio disponible para el movimiento de los remolcadores.
- La entrada del **bulkcarrier de 65.000 TPM** se realiza sin mayores dificultades. En cualquier condición meteorológica, los remolcadores disponen de potencia suficiente para manejar bien al buque y mantenerlo en la trayectoria prevista. La fuerza máxima aplicada por los remolcadores, en las condiciones más duras de temporal, no sobrepasa las 40 toneladas.
- En la entrada del **bulkcarrier de 125.000 TPM** se aprecian ciertas dificultades. El calado del buque a plena carga (15,5 m) da lugar a un limitado resguardo bajo la quilla, que aumenta el riesgo de varada y disminuye las facultades de maniobra. Se aprecia una cierta caída a babor cuando el oleaje y el viento provienen del NE, la dirección más desfavorable. Esta deriva dificulta el primer giro y puede requerir el auxilio de la máquina para aumentar la capacidad de gobierno del buque. En este caso, se produce un incremento de velocidad que dificulta la llegada al contradique en buenas condiciones.
- El **bulkcarrier de 184.000 TPM** presenta, por sus grandes dimensiones, una sensibilidad más acusada a la acción del viento y del oleaje. En el caso del temporal del Noroeste, el buque se mantiene en la trayectoria prevista. Solamente en la condición dura se observa una cierta caída del buque a babor. Con viento del Nordeste, asociado a los temporales del Norte y Nordeste, el buque tiene tendencia a girar a

babor, apartándose del centro del canal. Esta caída es más fuerte en las condiciones media y dura. La corrección de esta situación pasa por aumentar el ángulo de timón a estribor y dar avance, lo que incrementa la velocidad y puede complicar la llegada al contradique. En la zona sudoeste de la dársena exterior, la popa del buque invade el área de seguridad en bajamar. De ahí la necesidad de efectuar la entrada al menos con media marea ascendente.

- Empleando tres remolcadores de 50 toneladas de tiro se reducen tanto el espacio necesario para el giro dentro de la dársena como el tiempo de maniobra, que pasa de 30 minutos con los remolcadores iniciales a unos 20 con las nuevas formaciones de remolcadores. La aproximación a la dársena no se ve afectada.

4.4. SIMULADOR EN TIEMPO REAL

Esta tercera etapa del estudio se llevó a cabo en De Voorst (Holanda) utilizando el simulador SHIMARE (Delft Hydraulics) en su versión de radar. Varios prácticos holandeses realizaron las maniobras basándose en la información proporcionada por prácticos locales.

El simulador utiliza el mismo modelo matemático que SHIPMA para el cálculo de la trayectoria del buque. Sin embargo, SHIMARE es un simulador en tiempo real, lo que quiere decir que un práctico experto actúa de forma interactiva con el sistema, tomando decisiones acerca del uso del timón, la máquina y los remolcadores en función de la información recibida (radar, indicadores de rumbo, velocidad, sonda, etc.). Para ello, en una habitación de tamaño reducido se reproduce un puente de buque real con la mayor parte de la instrumentación necesaria para la ejecución de la maniobra.

La aplicación de un simulador es más adecuada para casos complejos, en los que las decisiones humanas son muy relevantes en el desarrollo de la maniobra, o cuando se requiere un estudio más profundo. Para la interpretación de los resultados debe tenerse en cuenta, en primer lugar, que los resultados presentan una cierta desviación aleatoria, debida a la actuación de diferentes prácticos y a la imposibilidad de repetir exactamente la misma maniobra. Se reproducen maniobras más realistas y detalladas, contando además con la opinión de los expertos que las han llevado a cabo, por lo que puede realizarse una estimación estadística de la seguridad de cada maniobra a partir de los resultados obtenidos.

En total se realizaron 119 simulaciones, al combinar los distintos buques y condiciones, teniendo en cuenta que cada maniobra se repitió varias veces para obtener resultados significativos. Se ensayó además una segunda ruta de aproximación desde el Este, para temporales del Nordeste.

Las conclusiones obtenidas durante el estudio con simulador se concretaron en los siguientes aspectos:

- El grado de dificultad de la maniobra aumenta de forma moderada con el tamaño del barco, para los márgenes considerados.



FIGURA 11. Reproducción del puente del buque en el simulador.

- Durante la **maniobra de aproximación**, el principal problema consiste en aplicar una velocidad suficientemente reducida como para mantener al buque bajo control a la vez que se dispone de gobierno para contrarrestar las fuerzas de deriva debidas al viento y al oleaje.
- Con temporales de gran altura de ola, los remolcadores sólo pueden actuar a **resguardo del Dique Príncipe de Asturias**. Si el buque llega a esa zona con velocidad controlada, puede terminarse la maniobra con éxito en todos los casos.
- La dirección de temporal más crítica es la **Nordeste**, por la falta de protección del dique. Con aproximación desde el Norte, el oleaje dificulta el giro a estribor en el canal. La nueva aproximación propuesta, desde el Este, presenta el defecto contrario, con cierta tendencia a derivar hacia estribor, por la acción combinada de viento y olas. Con todo, la aproximación Este resulta ligeramente más favorable que la Norte para temporales del Nordeste.
- Las dimensiones y **formaciones de remolcadores** analizadas son suficientes para recibir grandes bulkcarriers de hasta 250.000 TPM, siempre que se cumplan las recomendaciones de acceso que se recogen en la figura 12.

4.5. ESTUDIO DE CALADOS

Para la predicción de los movimientos verticales de los buques por efecto del oleaje se utilizó el modelo matemático CHOP (Delft Hydraulics), basado en los resultados de ensayos en modelo físico. El objetivo fue el cálculo de la profundidad requerida en los distintos tra-

mos del canal para realizar las maniobras de acceso con suficiente seguridad, tanto en lo que respecta al riesgo de varada como a la limitación de maniobrabilidad. Como consecuencia del estudio, se elaboraron normas precisas de acceso (nivel de marea requerido para cada tamaño y condición de carga de los buques) en cada condición meteorológica.

El nivel de agua requerido para garantizar una maniobra segura se calculó teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Tamaño y calado del buque.
- «Squat».
- Movimientos verticales inducidos por el oleaje.
- Imprecisión de medida en el calado del buque.
- Imprecisión de medida en la profundidad.

El «squat» es el aumento de calado y trimado del buque debido a la modificación de flujo alrededor del casco por efecto de la navegación en aguas restringidas. Su valor aumenta con la velocidad del buque y es mayor cuanto más reducido es el resguardo bajo quilla. En este caso se estimó mediante el método de Tuck y Huusks, aplicable a buques de formas muy llenas. Para ello, se descompuso el canal en diferentes tramos de calados y velocidades aproximadamente constantes, entrando en los cálculos con la velocidad real del buque medida durante las simulaciones.

Los **movimientos verticales** inducidos por el oleaje se estimaron a partir de ensayos en modelo físico con buque libre, combinando distintos tipos y tamaños de buques, así como espectros, alturas y ángulos de incidencia del oleaje. De este modo, se obtuvieron las fun-

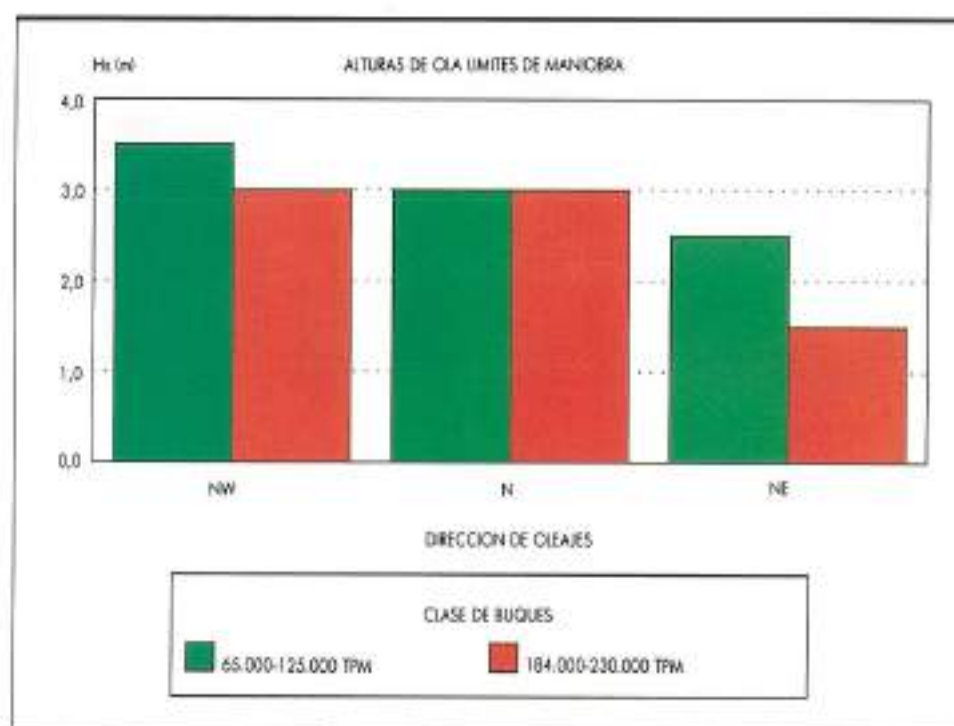


FIGURA 12. Limitaciones de acceso por condiciones de maniobra.

ciones de transferencia del oleaje a los movimientos verticales críticos del buque, que dan lugar a las mayores reducciones de calados. En este caso particular, se analizaron las condiciones locales (altura, período, ángulo de incidencia) en diferentes tramos del canal, estimándose el máximo movimiento esperable en función del tiempo de paso.

Las imprecisiones de medida en el calado del buque y la profundidad reflejada en la carta se tuvieron en cuenta en los cálculos, estimándose el error medio en un pie para cada uno de los conceptos.

Como consecuencia, se estimó el resguardo neto bajo la quilla (debido al calado y el «squat», sin considerar el efecto del oleaje) a lo largo de la trayectoria. Este valor se limitó a un mínimo de 1 metro por consideraciones de maniobrabilidad, estimando que valores inferiores reducen de manera acusada la capacidad de gobierno de un buque.

Por otra parte, el incremento de calado debido a los movimientos inducidos por el oleaje da lugar a un riesgo de varada. Como criterio de seguridad, se fijó como admisible un valor del 1 % (probabilidad de impacto con el

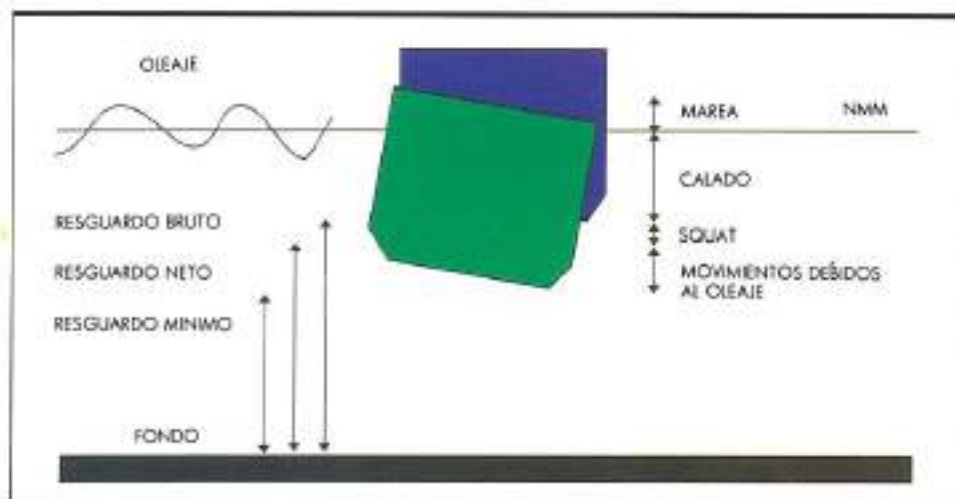


FIGURA 13. Factores que determinan la profundidad de un canal.

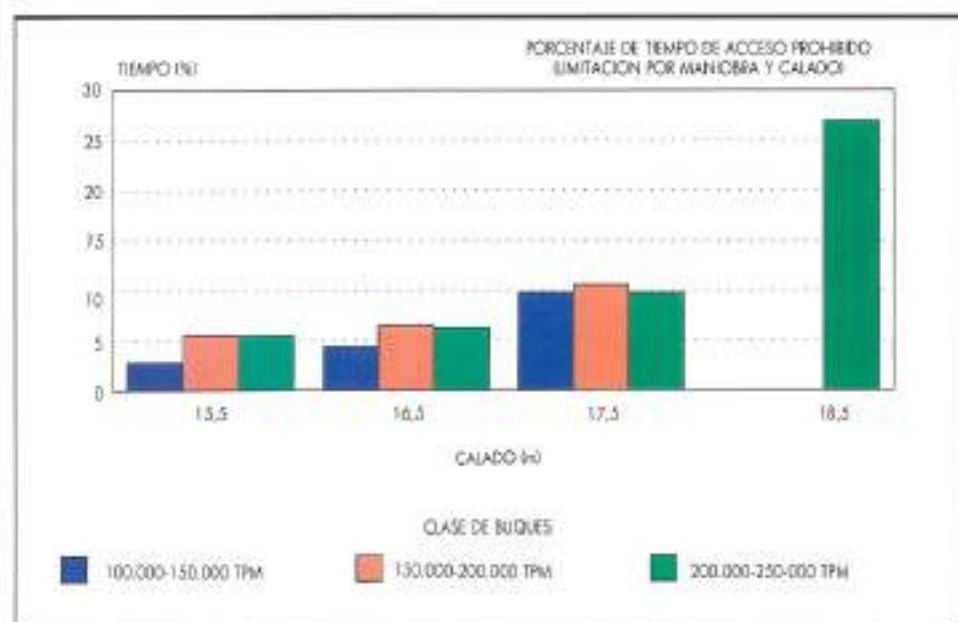


FIGURA 14. Porcentaje de tiempo de acceso prohibido. Resultados globales de maniobrabilidad y calados.

fondo en una entrada de cada cien bajo cada condición meteorológica). Este valor se determinó teniendo en cuenta tanto el tipo de fondos —que influye en el riesgo de accidente grave en caso de varada— como el tipo de carga en cuestión, que influye en la magnitud de los efectos de un derrame de carga.

En resumen, se calculó para cada barco (de 100.000 a 250.000 TPM), en cada condición de carga (calados de 15,5 a 18,5 m), el nivel de agua necesario para realizar el acceso al Muelle de Minerales bajo condiciones meteorológicas específicas con seguridad suficiente tanto desde el punto de vista de la maniobra como del riesgo de varada.

Los resultados del estudio de calados se resumen en la figura 14, que recoge el porcentaje de tiempo de acceso prohibido para cada buque, considerando la máxima altura de ola admisible incluyendo los aspectos de la maniobra (Fig. 12). Las conclusiones principales fueron:

- La accesibilidad al Muelle de Minerales aumenta ligeramente con el tamaño de los barcos, para el mismo calado, dada la menor sensibilidad a la acción de las olas, si no se tiene en cuenta la limitación por capacidad de maniobra.
- La influencia de la limitación por maniobrabilidad en los tiempos de acceso prohibido es pequeña para los buques de 100.000 a 150.000 TPM. Por el contrario, los buques mayores son muy sensibles a este factor, aumentando al doble el tiempo de acceso prohibido.

5. CONCLUSIONES

El estudio permitió definir unas **normas objetivas de acceso** al Muelle de Minerales para bulkcarriers de

100.000 a 250.000 TPM y calados de 15,5 a 18,5 m, teniendo en cuenta consideraciones tanto de espacio de maniobra y necesidad de remolcadores como de seguridad frente a la varada. En estos cálculos no se consideraron otros aspectos, como limitaciones por tráfico, ocupación de muelles, etc.

En términos de seguridad, se obtuvieron dos parámetros de estimación para cada combinación de buque, condición de carga, dirección, altura y período de oleaje: Por una parte, el **mínimo nivel de agua** para el que se permite el acceso (exigiendo condiciones admisibles de maniobra, un resguardo neto bajo la quilla superior a 1 m y una probabilidad de varada inferior al 1 %), y por otra, la **probabilidad de varada** en cada condición de marea.

Como ejemplo, se recoge a continuación el cuadro correspondiente a un buque de la clase 100.000-150.000 TPM con un calado de 17,5 m, entrando con oleaje de dirección NW.

La **aplicación práctica de las normas** para determinar las condiciones de acceso consta de las siguientes etapas:

1. Determinación del tamaño y calado del buque.
2. Determinación de las condiciones de oleaje durante la maniobra mediante estimación visual, información meteorológica o datos de la boya REMRO: Dirección del oleaje, período, altura de ola.
3. Determinación del nivel de agua mínimo requerido y del margen de seguridad, consultando la tabla correspondiente.
4. Programación de la maniobra, mediante las tablas de mareas.

H_s (m)	PERIODO DE PICO T_p (s)						
	0-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-22
0,5	-2,10 0,13E-25	-2,10 0,66E-14	-2,10 0,14E-9	-2,10 0,63E-5	-2,10 0,23E-7	-2,10 0,61E-7	-2,10 0,12E-7
1,0	-2,10 0,26E-14	-2,10 0,61E-5	-2,10 0,44E-3	-2,10 0,0022	-2,10 0,0060	-2,10 0,0066	-2,10 0,0030
1,5	-2,10 0,79E-8	-2,10 0,0014	-1,90 0,0074	-1,70 0,0087	-1,30 0,0068	-1,50 0,0092	-1,60 0,0071
2,0	-2,10 0,42E-5	-1,90 0,0056	-1,40 0,0084	-1,10 0,0092	-0,90 0,0096	-0,80 0,0090	-1,00 0,0091
2,5	-2,10 0,12E-3	-1,60 0,0068	-0,80 0,0067	-0,40 0,0073	-0,20 0,0095	+0,00 0,0076	-0,20 0,0083
3,0	-2,10 0,0010	-1,20 0,0085	-0,30 0,0086	+0,20 0,0090	+0,60 0,0077	+0,80 0,0086	+0,80 0,0088
3,5	-2,10 0,0047	-0,80 0,0067	+0,30 0,0080	+0,90 0,0083	+1,30 0,0092	*****	*****

TABLA 8. Reglas de acceso al Muelle de Minerales. Buque de 100.000-150.000 TPM $T = 17,5$ m. Oleaje NW.

- Valor superior: Mínimo nivel de agua sobre NMM para realizar la maniobra.
- Valor inferior: Probabilidad de varada con ese nivel de agua.

Como ejemplo, para el buque anterior, con oleaje del NW, si el período es de 9 s y la altura 1,0 m, la tabla 8 indica que el nivel mínimo de entrada es -2,10. Este valor corresponde a la BMVE, por lo que la entrada con este tipo de buque en la condición de carga especificada (17,5 m de calado) será posible en cualquier momento del ciclo de mareas. La probabilidad de varada resultante, por efecto del «squats» y los movimientos verticales debidos al oleaje, es de 0,61 E-5. Es decir, tendrá lugar un contacto con el fondo cada 164.000 entradas realizadas en estas condiciones.

Si, por el contrario, el período del oleaje es de 15 s y

la altura 3,0 m, el nivel mínimo de agua es +0,60 sobre el nivel medio. Es decir, será necesario esperar a una pleamar de al menos 60 cm para acceder con seguridad al muelle. En este caso, la probabilidad de varada es de una vez en cada 130 entradas (1/0,0077). Si se realiza la entrada con una pleamar mayor, la seguridad se incrementa de forma importante.

Un último ejemplo: Si el oleaje alcanza los 3,5 m, con un período de 17 s, la tabla indica que la entrada no es posible en ninguna condición de marea. Los movimientos esperables en este caso superan el resguardo bajo quilla neto, por lo que no es posible acceder al puerto manteniendo simultáneamente suficiente capacidad de maniobra y una probabilidad de varada limitada al 1 %.

Estas normas de acceso están siendo aplicadas en el puerto de una manera progresiva. Al mismo tiempo se están realizando medidas durante la entrada de diversos buques, a fin de verificar los resultados de los modelos. La campaña de seguimiento topográfico de la maniobra está siendo ejecutada por la propia Autoridad Portuaria y se extiende desde febrero de 1992 hasta junio de 1993. Sus resultados permitirán no sólo calibrar la bondad de los modelos empleados, sino actuar con un mayor conocimiento de causa en la explotación del puerto.

Como conclusión final, la tabla 9 recoge de forma global los resultados obtenidos (nivel de agua mínimo e inverso de la probabilidad de varada) para algunos barcos típicos, en las condiciones más rigurosas para cada dirección de oleaje:

El número de entradas entre varadas sucesivas es siempre superior a 100 (criterio de probabilidad admisible de varada 1 %) y se refiere exclusivamente a la entrada en las condiciones de oleaje y los niveles de agua expuestos. Esto es así incluso para buques de hasta 18,5 m de calado, si entran con temporales de NW de 3 m de altura con un nivel de agua superior a +1,10 m. La reducción de la altura de ola o el aumento de la profundidad da lugar en todos los casos a un rápido aumento de la seguridad.

BÚQUE (TPM)	CALADO (m)	OLEAJE (Dir- T_p)	H_s (m)	NIVEL MÍNIMO (m SOBRE NMM)	NUMERO DE ENTRADAS ENTRE VARADAS
125.000	15,5	NW 14	3,5	-0,80	127
		N 12	3,0	-2,10	400
		NE 10	2,5	-0,80	120
200.000	17,5	NW 14	3,0	+0,30	130
		N 12	3,0	-0,90	114
		NE 10	1,5	-1,20	167
250.000	18,5	NW 14	3,0	+1,10	116
		N 12	3,0	+0,80	122
		NE 10	1,5	-0,40	114

TABLA 9. Nivel de agua mínimo y probabilidad de varada con los oleajes más rigurosos.

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Puerto de Gijón y a la Corporación de Prácticos su interés y la colaboración prestada para el desarrollo de este trabajo, especialmente en lo que se refiere al seguimiento a bordo de la maniobra de entrada del buque «Elbe Ores».

Igualmente, se agradece a la empresa Delft Hydraulics y especialmente al ingeniero señor Jos van Doorn su autorización para publicar los resultados de su estudio parcial, así como las facilidades para el intercambio de información durante el desarrollo del proyecto.

7. REFERENCIAS

- «Estudio de maniobrabilidad para el acceso al Muelle de Minerales (Puerto de Gijón). CEPYC-CEDEX. Informe 21-464-5-010. Mayo 1991.
- VAN DOORN, J. (1992). «Estudio náutico del Puerto de Gijón». DELFT HYDRAULICS. Informe H-1272. Febrero.
- «Capability of ship manoeuvring simulation models for approach channels and fairways in harbours». PIANC PTC II. Grupo de Trabajo núm. 20. Informe Final, 1992.
- «Simulation methods applied to maritime traffic». ACTION COST 311. Draft Interim Report. Junio 1990.
- «Navigation simulator for CEPYC». Oferta. Delft Hydraulics. Marzo 1989.

DE VRIES, W. A. (1990). «Nautical risk analysis in port and fairway design». Delft Hydraulics. Diciembre.

VAN DE BEEK, H. (1990). «Considerations on the analysis of data generated by simulation models». MARIN, Wageningen.

VAN DE BEEK, H. (1990). «Validation of a ship manoeuvring simulator. A methodological view». MARIN, Wageningen.

STRATING, J.; SCHILPEROORT, T., y BLAAUW, H. G. (1983). «Optimization of depths of channels». International Shipbuilding Progress, vol. 30, núm. 342.

VAN DER KAA, E. J. (1984). «Safety criteria for channel depth design». 3rd. Meeting on Dredging and related Technologies. Charleston, South Carolina. September.

BLAAUW, H. G., y VAN DER KNAAP, F. M. C. (1983). «Prediction of squat of ships sailing in restricted waters». 8th International Harbour Congress. Antwerp, Belgium. June.

VAN DOORN, J. T. M. «The depth of access channels». Port Access '85. Launceston, Australia.

SCHILPEROORT, T., y STRATING, J. (1985). «An integrated approach towards depth design and operational use of navigation channels». International Shipbuilding Progress, vol. 32, núm. 371.



**NO ES FRUTO DE LA CASUALIDAD
ES FRUTO DE LA CALIDAD**
la presencia de aditivos **Sika**
en obras de envergadura

¿Un buen ejemplo?
La Torre de Collcerola
Barcelona

¿Qué productos?
SIKAMENT-FF3
(Superfluidificante para hormigón)
SIKAMENT 200R
(Superfluidificante de efecto retardado)
+ PRODUCTOS AUXILIARES



Sika, S.A.

Ctra. Fuencarral, 72 - 28100 Alcobendas
Tel.: 91/862 18 18 - Fax: 862 19 38

