

MODELO REDUCIDO DE LA DARSENA DE ESCOMBRERAS (PUERTO DE CARTAGENA). ALGUNOS ASPECTOS DE INTERES EN HIDRAULICA PORTUARIA

GREGORIO GOMEZ PINA (*)
ALFONSO CAJIGAS DELGADO (**)

«Está tan guardado de los vientos, y recogido este puerto, con ser capaz de infinitos vientos, que suelen decir los marineros, por común proverbio, para significar la gran calma y quietud suya, que los navíos están seguros, y libres de borrasca en Junio, Julio y Agosto, y en el puerto de Cartagena.» (Virgilio)

RESUMEN. Dentro del estudio sobre la Ampliación de la Dársena de Escombreras (Puerto de Cartagena) realizado en el CEPYC, por encargo de la Dirección General de Puertos y Costas, se analizaron diversas alternativas de obras para proteger el Muelle de Fertilizantes. Este estudio que aparentemente podría resultar bastante común, mostró sin embargo algunos aspectos de gran interés, desde el punto de vista conceptual y práctico, al analizar los efectos hidráulicos inducidos por las nuevas obras: difracción y reflexión del oleaje. El efecto de protección por difracción de las soluciones alternativas ensayadas resultó ser poco eficiente en la reducción de la agitación del Muelle de Fertilizantes, demostrándose asimismo la gran sensibilidad de la dársena frente a la reflexión del oleaje producida por las obras de ampliación propuestas.

Del estudio complementario sobre el comportamiento de uno de los buques atracados en el Muelle de ENAGAS se confirmó la gran importancia que tiene la actuación sobre el sistema de amarras y defensas en la reducción de los movimientos del buque atracado, y por tanto en su operatividad, obteniéndose mejoras considerables del movimiento de vaivén al variar la configuración geométrica de las amarras, así como sus pretensiones.

ABSTRACT. *The purpose of this paper is to show some interesting aspects in harbour hydraulics (wave diffraction and reflection) as a result of a study regarding the extension of Escombreras basin (Cartagena harbour, Spain).*

The diffraction sheltering effect caused by the alternative solutions was not efficient enough to reduce wave agitation at the above mentioned quay. Furthermore, the basin appeared to be very sensitive to wave reflection caused by the proposed final harbour extension works. The methodology used for studying wave agitation at the basin, consisting in dividing the whole basin area in a number of characteristic zones (10 zones, 72 points), allowed the authors to detect wave concentration areas caused by wave reflection, as well as wave crossing patterns, both of which were crucial for considering the proposed protective works unsuitable.

Ship mooring model tests were also carried out to analyze ship behaviour at the «ENAGAS quays». Changes in the mooring geometry and pretensions were shown to be important parameters to obtain significant reduction in the surge movement, as well as a better mooring line loading distribution.

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. MSc Ocean Engineering (Univ. Hawaii). Jefe de la División de Experimentación Portuaria del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEDEX).

(**) Ingeniero Técnico de Obras Públicas del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEDEX). Actualmente Jefe de la Sección de Control II. Dirección General de Puertos y Costas (MOPU).

1. INTRODUCCION

Con objeto de estudiar la influencia que podría tener la construcción del nuevo Muelle de Graneles sobre la agitación de la Dársena de Escombreras, así como el comportamiento de un buque tipo atracado en la zona de mayor agitación de dicho muelle, la Dirección General de Puertos y Costas encargó al CEPYC la realización del «Estudio sobre la Dársena de Escombreras», que abarcaba las siguientes partes: «I: Clima Marítimo» (Refer. 6),

«II: Propagación del Oleaje» (Refer. 1), «III: Ensayos de Agitación» (Refer. 4), «IV: Comportamiento de un Buque Tipo Atracado en el Nuevo Muelle de Graneles» (Refer. 5).

Una vez analizada la escasa influencia que tenía la construcción del Nuevo Muelle de Graneles (conjuntamente con la ampliación del dragado necesario para los nuevos calados), se planteó, de común acuerdo con la Dirección del Puerto de Cartagena, la posibilidad de compaginar la obtención de

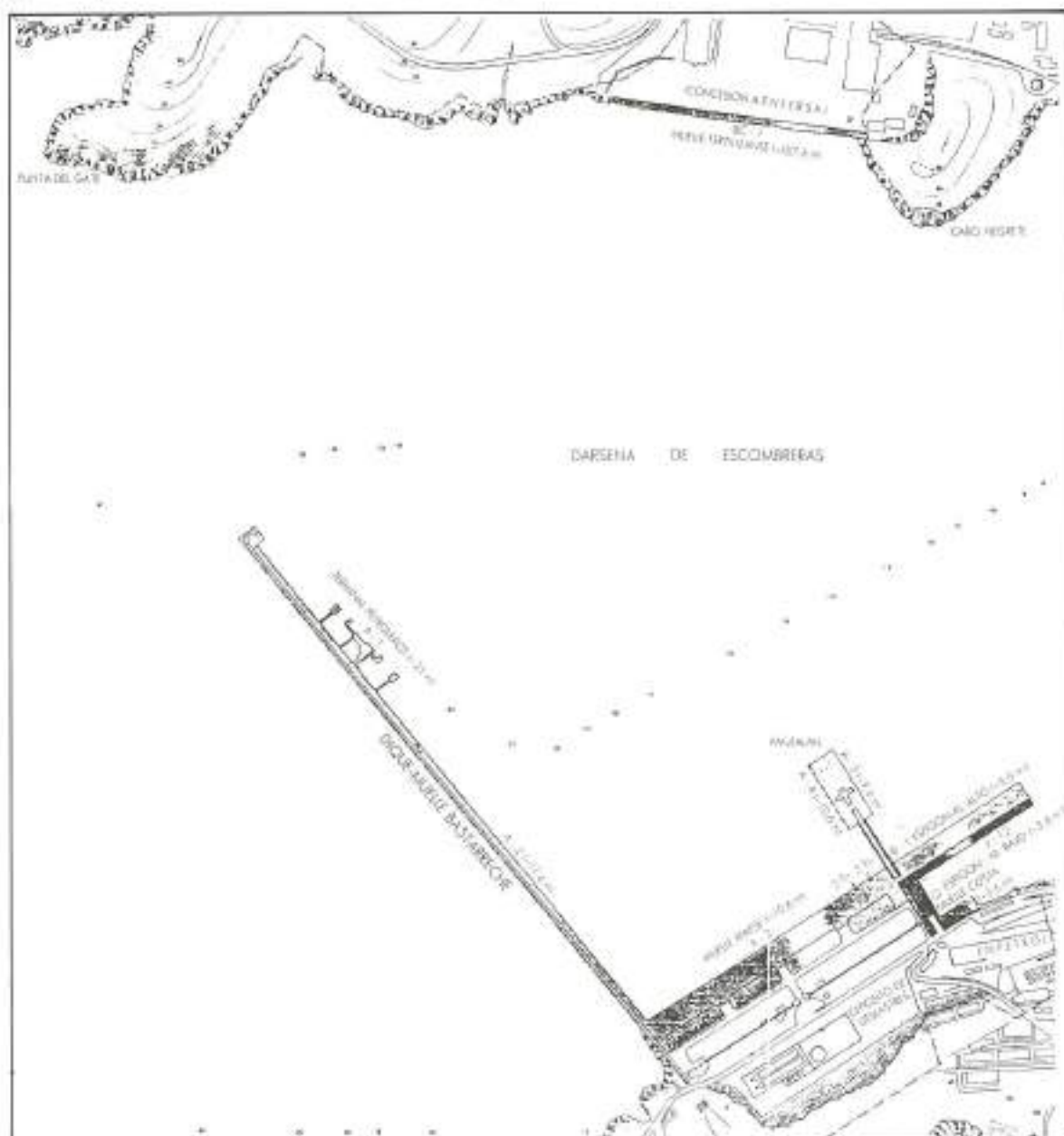


FIGURA 1. Dársena de Escombreras Puerto de Cartagena. Situación actual (en ampliación).



FIGURA 2. Visto del Nuevo Muelle de Granitas (en construcción). (Cortesía de la Junta del Puerto de Cartagena.)



FIGURA 3. Muelle de Fertilizantes.



FIGURA 4. Zona de ostrilidos.

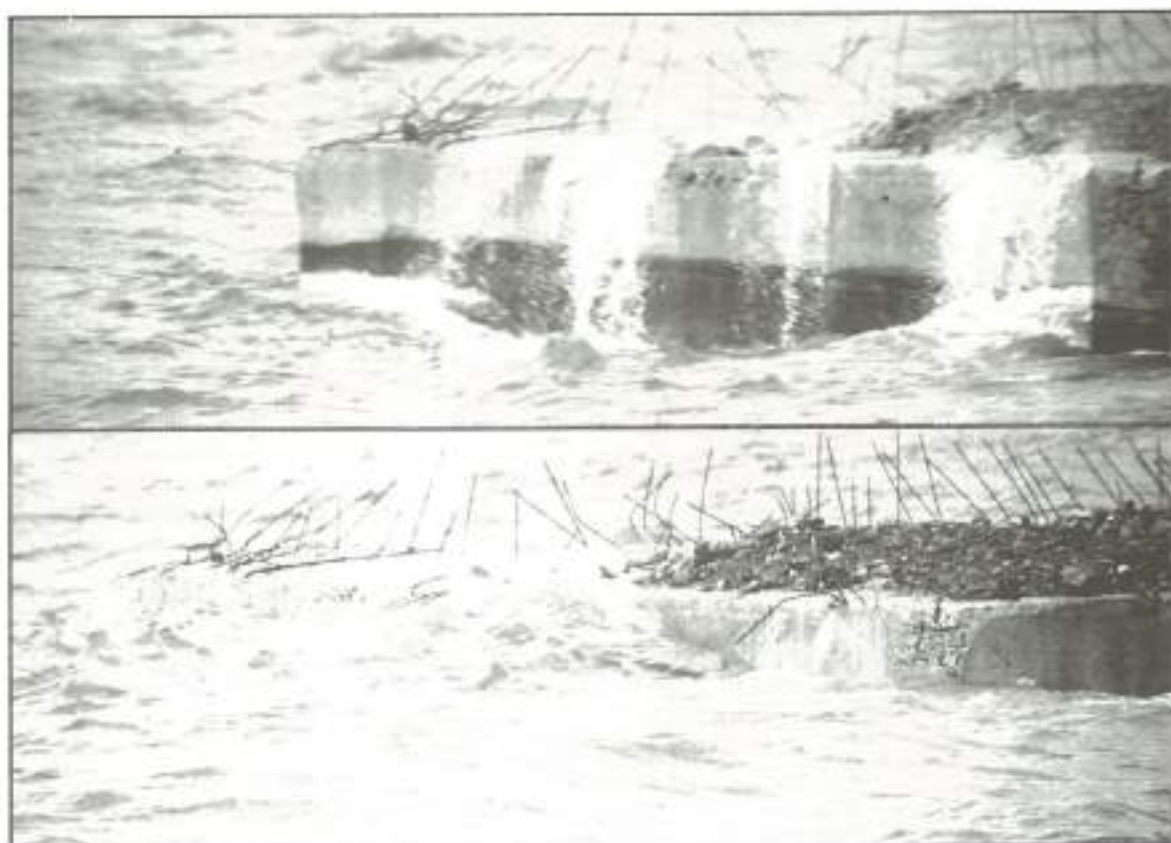


FIGURA 5. Agitación en la zona del Nuevo Muelle de Gravelles en construcción, con fender tetrapod.

un mayor abrigo en el Muelle de Fertilizantes, abierto a los temporales de Lebeche (ver figuras 1-5), con la ampliación de una zona contigua a dicho muelle, con el fin de estudiar la visibilidad de posibles obras de ampliación de la dársena.

El objeto principal de este artículo es el de resaltar algunos aspectos de interés en Hidráulica Marítima, que aparecieron en los ensayos encaminados a proteger el Muelle de Fertilizantes. Dichos aspectos, relacionados fundamentalmente con los fenómenos de reflexión y difracción del oleaje, así como con el comportamiento del buque atracado, deben ser tenidos en cuenta, no sólo en el caso particular analizado, sino, en general, en cualquier dársena portuaria.

2. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE AGITACION

Los ensayos se realizaron a la escala 1/100, sin distorsión, de acuerdo con la ley de Froude. Debido a la importancia que podría tener el efecto reflectante del muelle en claraboya de Fertilizantes, se realizaron ensayos previos bidimensionales sobre la variación del coeficiente de reflexión de dichas claraboyas, a dos escalas distintas, la del modelo (1/100) y otra más grande (1/20), considerada suficientemente representativa de las condiciones en prototipo.

Como oleaje de ensayo se consideró únicamente el conocido localmente como «Lebeche», cuyas características se obtuvieron del estudio previo realizado sobre el clima marítimo de la zona (Refer. 6), en base a datos visuales y registros de boyas, habiéndose seleccionado únicamente los días de claro temporal de Lebeche, a efectos de su parametrización con un espectro teórico tipo JONSWAP, resultando un oleaje de las siguientes características:

DIRECCION	T_p (seg)	DIRECCION	λ	$K_{ext. Muelle}$
(Aguas profundas) S-58-O	7	(Sit. puertos -40 m) S-58-O	2,2	0,97

3. ASPECTOS DE INTERES RELACIONADOS CON LA DIFRACCION Y REFLEXION DEL OLAJE

3.1. DIFRACCION

Una vez analizada la influencia de la construcción del Nuevo Muelle de Graneles, se intentó proteger el Muelle de Fertilizantes, mediante algún tipo de obra compatible con la navegabilidad general de la dársena. Como extensión máxima de esas obras se

tomó, de acuerdo con las indicaciones de la Dirección del Puerto de Cartagena, la correspondiente al límite del dragado.

El abrigo de una zona de atraque se consigue obteniendo alturas de ola que sean sensiblemente menores, con direcciones del frente de onda difractado que no empujen el comportamiento del buque atracado. Esto puede resultar a veces complejo, dependiendo del tipo de movimiento crítico del buque y de las características del oleaje. Así, por ejemplo, si el movimiento crítico es el de vaivén, la reducción en altura de ola pudiera no ser tan importante, ya que el buque atracado suele ser más sensible a la excitación motivada por los períodos del oleaje próximos al período natural del movimiento. En este caso, la difracción actúa positivamente si se logra «enviar», hacia la zona a proteger, un frente de onda al que previamente se le ha «sustraído» (mediante un resonador, por ejemplo) las componentes de onda larga capaces de excitar el movimiento crítico.

En el caso particular del Muelle de Fertilizantes, una reducción de altura de ola por difracción produciría una mejora considerable en el comportamiento del buque atracado, al ser el movimiento de alzada el más perjudicial para la operatividad del buque, no conociéndose por otro lado problemas de excitación por onda larga en dicha dársena.

Dada la orientación del Muelle de Fertilizantes, así como las características del oleaje incidente de Lebeche, que penetra directamente, el obtener una reducción de su agitación por difracción, que no resultara excesivamente costosa, y que, a su vez, fuera compatible con la navegabilidad, pareció, desde el principio, difícil.

Ello se basó, principalmente, en la observación del modelo físico, al que se le añadieron, de forma puramente experimental, «obras de protección», analizándose cualitativamente sus resultados. Complementariamente se realizaron estudios gráficos simplificados de difracción, basados en los ábacos de Wieguel y en la espiral de Cornu, confirmando la dificultad existente en disminuir la agitación por efecto de la difracción de obras situadas entre el Muelle de Fertilizantes y la bocana.

Siguiendo esta filosofía, y con el condicionante antes explicado de extensión máxima de las obras, se estudiaron una serie de soluciones alternativas (7) (figura 7), consistentes, básicamente, en la construcción de contradiques de distintas longitudes, en la zona comprendida entre la bocana y el Muelle de Fertilizantes, con el fin de intentar mejorar las condiciones de abrigo al amortiguar la propagación del oleaje, provocando, además, que



FIGURA 6. Solución alternativa 5. Penetración del oleaje. (Refer. 4).

mediante la difracción alrededor de los morros, el frente de onda fuera desviado hacia zonas donde el oleaje amortiguara su energía, sin ocasionar problemas (zona de acantilados, por ejemplo), dándosele para ello un talud muy tendido a los morros.

En el estudio de las soluciones alternativas se analizaron, exclusivamente, los valores de los coeficientes de agitación en cuatro puntos, a lo largo del Muelle de Fertilizantes, denominándose Zona 5 a la zona representativa de dicho atraque (figura 8). De acuerdo con la metodología seguida en los estudios de agitación, se estimaron los coeficientes de agitación medio ($\bar{K}$), máximo (K^{max}), y la desviación estándar (σ_K) de los cuatro puntos representativos de dicha zona, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 1.

	$\bar{K}$	K^{max}	σ_K
Solución inicial	0,41	0,58	0,12
Soluciones alternativas			
1	0,45	0,54	0,06
2	0,41	0,54	0,10
3	0,44	0,52	0,10
4	0,28	0,39	0,07
5	0,22	0,26	0,03
6	0,30	0,37	0,06
7	0,41	0,48	0,10

TABLA 1. Coeficientes de agitación en la zona 5 (Muelle de Fertilizantes). Número de puntos de medida: 4.

Del estudio de estas soluciones alternativas se vio que, para mejorar las condiciones de agitación en el muelle de Fertilizantes, sería necesario ir a

soluciones parecidas a las alternativas números 4, 5 y 6. (figura 7).

De entre ellas, la más favorable resultó la número 5, que presentaba la mayor longitud de contradique exterior (380 m), compatible con el límite del dragado. Reducciones en la longitud del contradique proporcionaban aumentos de la agitación, como se observa en las soluciones número 6 (330 m) y número 7 (200 m).

A pesar de ser la solución número 5 la más favorable, hay que resaltar su mayor incidencia económica, además de ser la más conflictiva en cuanto a la ruta de entrada más común de los buques, no obteniéndose, por otro lado, valores del coeficiente de agitación que garanticen una completa protección.

Del análisis de los resultados hasta ahora expuestos cabrían resaltar algunos aspectos de interés en hidráulica portuaria, desde el punto de vista de protección de obras de atraque por efecto de la difracción:

A. La protección de obras de atraque por efecto de la difracción puede, en determinadas ocasiones, ser poco eficaz, dependiendo fundamentalmente de la dirección del oleaje, su longitud de onda, y la posición de la zona de atraque. Así, por ejemplo, el método gráfico de la espiral de Cornu, muestra aplicaciones de la altura inicial de hasta el 34 %, rebajándose este valor al 17 % para el caso de un único dique. Algo similar cabría decir de la inspección de los ábacos de Wiegell, en donde, para 90° de incidencia del oleaje, por ejemplo, aparecen zonas de claro aumento del coeficiente de difracción (1,14, 1,10, 1,05). En el caso particular de este estudio, los resultados del modelo físico, conjuntamente con la aplicación de los métodos gráficos anteriores, mostraron poca eficacia relativa de la difracción para obtener una reducción de la agitación en el Muelle de Fertilizantes.

B. El empleo de métodos gráficos (ábacos de Wiegell, espiral de Cornu, por ejemplo), ábacos (Penny y Price), o incluso modelos matemáticos relativamente sencillos, que permitan estimar, aunque de forma cualitativa, las zonas de poca reducción de la difracción, o incluso de amplificación, puede ser una herramienta eficaz para la ubicación de zonas de atraque, así como para el análisis de los resultados de los modelos físicos.

C. El estudio experimental y matemático de los diversos parámetros de los morros (forma en planta, tipos de sección, taludes, rugosidad) en la difracción del oleaje (amplitud de la onda y dirección del frente difractado) es un tema de enorme importancia en hidráulica portuaria, no habiéndose investigado (en opinión de los autores) lo suficien-

te en este campo, para poder ser aplicado de una forma práctica en el diseño de zonas de atraque. La utilización de métodos gráficos y/o analíticos (una vez calibrados con los experimentos) que introdujesen dichos parámetros, resultarían no solamente de gran ayuda para el prediseño de zonas de atraque, sino también como herramienta complementaria en la explotación de los modelos físicos y/o matemáticos. Hay que destacar, en esta línea de investigación, los estudios recientemente llevados a cabo por Vidal y Losada en la Universidad de Santander (Refer. 9).

3.2. REFLEXION

Una vez analizadas las soluciones alternativas, se pasó a ensayar la llamada FASE I, propuesta por la Junta del Puerto de Cartagena. Esta solución permitía disponer de una línea de atraque de 205 m, así como de proporcionar una superficie horizontal de unas 5,5 Ha. Con el fin de disminuir las reflexiones de esta nueva obra se utilizó un paramento exterior de escollera muy tendido (3:1) (figura 9).

Del análisis de la solución FASE I, se vio el efecto de reflexión importante introducido por esta obra en el Muelle de Maese, y también en el Pantalán de Petroleros del Muelle de Bastarache (ver figura 1 y/o 9 para su ubicación). Con el fin de detectar claramente esta focalización de la reflexión, se realizaron ensayos complementarios, sustituyendo el talud tendido de escollera por uno vertical, comprobándose un aumento general de la agitación en las zonas antes mencionadas, detectándose específicamente en el Muelle de Maese aumentos considerables de los coeficientes de agitación.

Como consecuencia, se modificó esta solución por otra (Fase IM, figura 9), en la que se le dio una forma parabólica al paramento de mayor longitud de la obra con el fin de intentar esparcir los frentes de ondas reflejados en una mayor superficie. Esta solución presentaba, en consecuencia, una disminución de superficie horizontal de un 30 % con respecto a la anterior. Los resultados obtenidos tampoco resultaron aceptables, en cuanto se produjeron, también, zonas de concentración de energía del oleaje, como se explicará más adelante.

El haber dividido la dársena de estudio en diversas zonas (9) (figura 8), cada una de ellas con entidad suficiente para permitir criterios en base a condiciones de agitación, permitió detectar las zonas de concentración de energía y de cruce de ondas por reflexión. Asimismo, el haber empleado 72 puntos de medida dentro de la dársena, permitió el

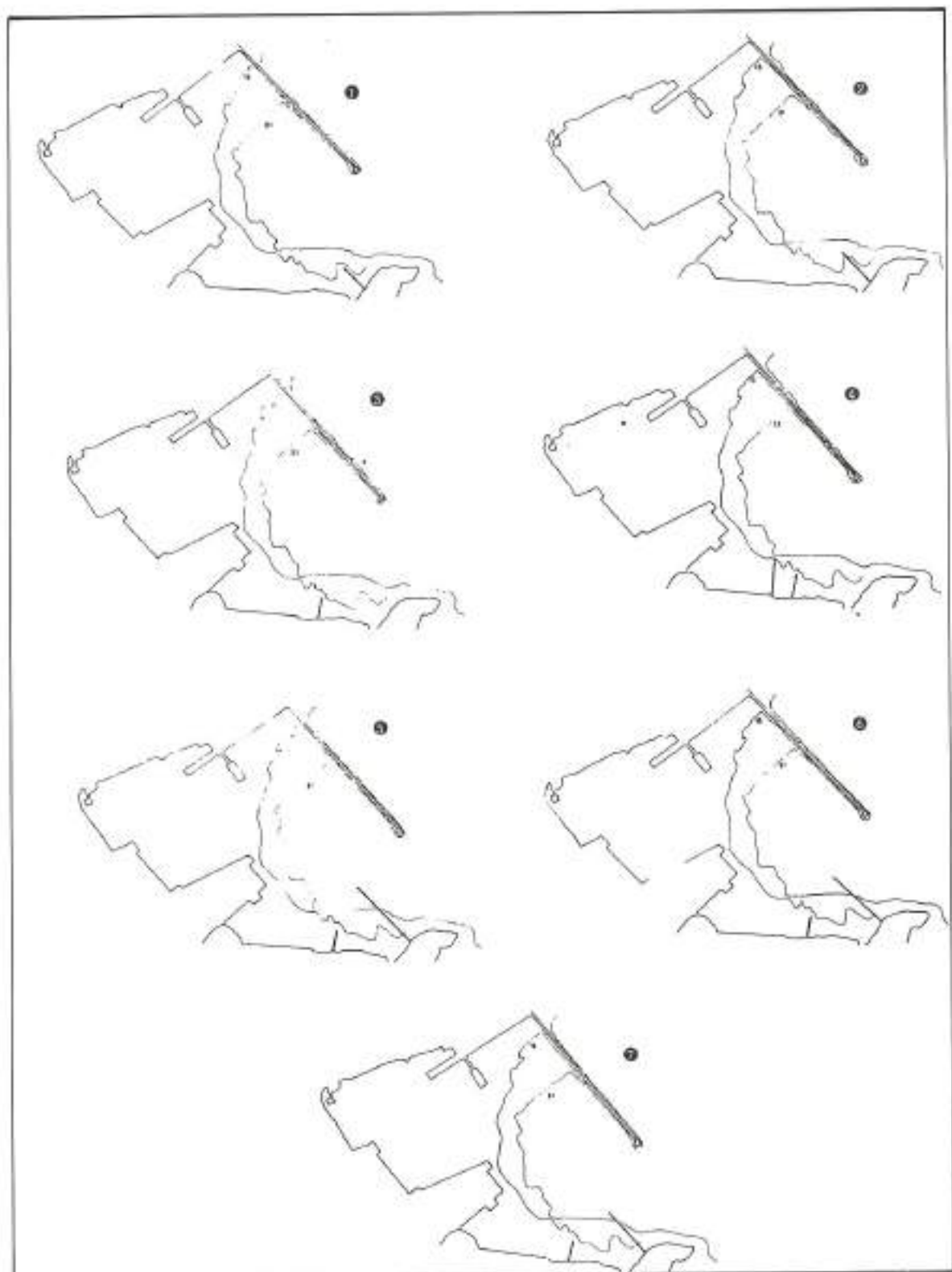


FIGURA 7. Soluciones alternativas ensayadas. (Refer. 4)

dibujo de líneas de isoagitación, de gran ayuda para poder comparar las condiciones de abrigo de las soluciones ensayadas.

En la figura 8 se presenta un esquema de las zonas de estudio:

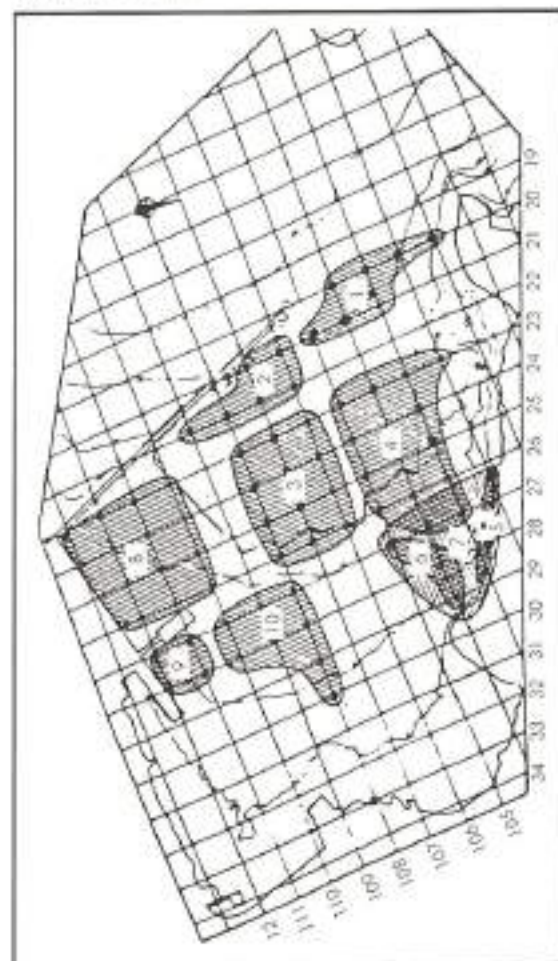


FIGURA 8. Esquema de las zonas de estudio en el modelo. (Ryder, 4).

Cuando una onda se aproxima a una superficie reflejante, se cumplen las leyes de reflexión de Mach, cuya expresión más general predice que cuando el ángulo de incidencia está comprendido entre 20° y 45° , se origina una onda tipo «corredera» («stem»), además de la reflejada, de ancho variable, que puede llegar a experimentar incrementos de altura de ola de hasta el doble de la altura de ola incidente (figuras 11 y 12). Con el fin de interpretar el comportamiento de las reflexiones en la Dársena de Escombreras, para la situación actual y para las obras futuras, presentamos en la figura 13 un esquema simplificado de los rayos incidentes y reflejados.

En la tabla 2 se indican los valores obtenidos de los coeficientes de agitación en las zonas anteriormente citadas de focalización de energía: Muelle de Maese (zona 8) y Pantón de Petroleros en el Muelle de Bazarreche (zona 2), así como de cruces de ondas (zonas 3 y 4), de acuerdo con la figura 8, con el fin de comparar cuantitativamente el aumento de agitación, y la trayectoria de los frentes reflejados. La desviación estándar del coeficiente de agitación (σ_k) en cada zona, puede ser un parámetro indicativo del fenómeno de cruces de ondas, ya que en esas zonas se producen ampliificaciones y reducciones de las ondas cruzadas, según estén, o no, en fase.

ZONAS	$\bar{K}$	$K_{máx}$	σ_k
SITUACION INICIAL			
8 (Muelle de Maese)	0,15	0,18	0,02
2 (Pantón Petrol.)	0,20	0,20	0,00
3	0,19	0,22	0,02
4	0,55	0,93	0,22
10 (Dársena interior)	0,15	0,19	0,02
FASE I			
8 (Muelle de Maese)	0,30	0,39	0,08
2 (Pantón Petrol.)	0,27	0,30	0,02
3 (Cruce de ondas)	0,37	0,68	0,13
4 (Cruce de ondas)	0,63	0,91	0,18
10 (Dársena interior)	0,15	0,18	0,03
FASE III			
8 (Muelle de Maese)	0,27	0,34	0,05
2 (Pantón Petrol.)	0,36	0,43	0,06
3 (Cruce de ondas)	0,27	0,44	0,06
4 (Cruce de ondas)	0,58	0,92	0,20
10 (Dársena interior)	0,21	0,28	0,04

TABLA 2.

De la conservación del flujo de energía podemos expresar (fondo constante) la siguiente relación entre las energías incidentes (E_i), reflejada (por reflexión, E_r , y corredera, E_c), y disipada (E_d):

$$E_i = E_r + E_c + E_d$$

Un mecanismo, por tanto, para disminuir la focalización del oleaje producido por la energía reflejada (E_r) en un punto, puede consistir en aumentar la energía de la onda corredera (induciendo a su formación mediante las condiciones de ángulos de incidencia anteriormente mencionadas), provocando un aumento de la energía disipada E_d (por

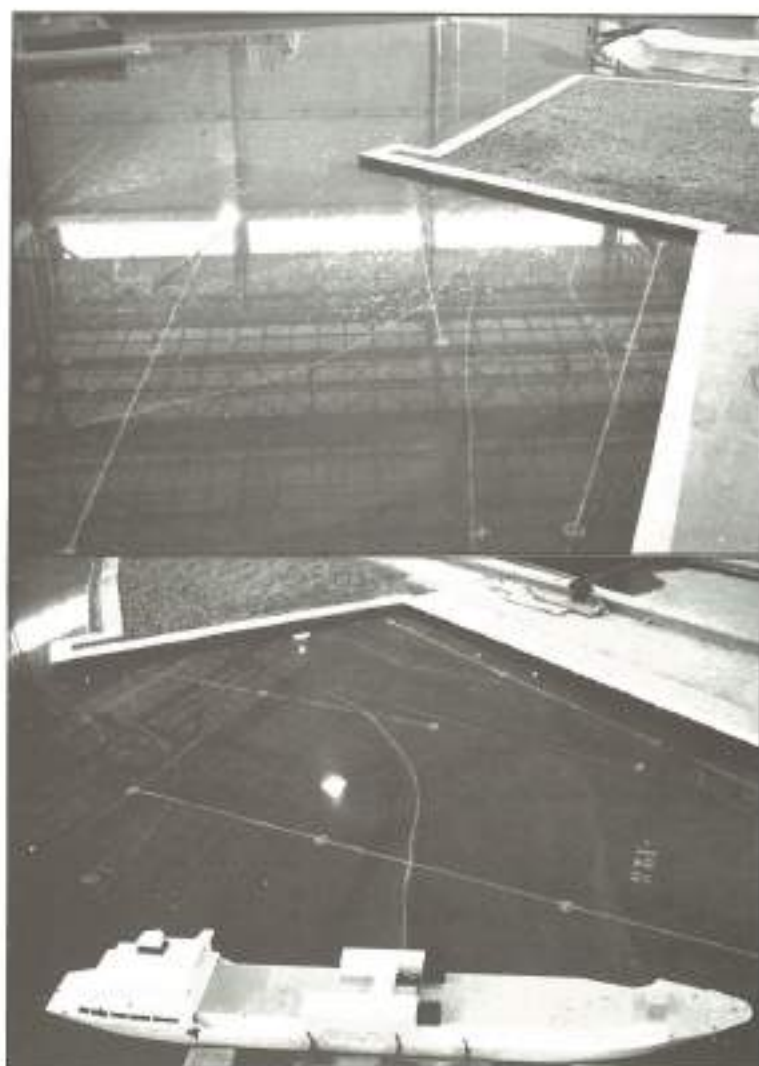


FIGURA 9. Fotografías de las obras de oscilación: Fase I, y Fase II, (Refer. 4)

rotura, fricción, turbulencia, percolación, en general) en el propio paramento, o posteriormente.

La zona de acantilados de bocana («Punta del Gate», figura 1 y/o 13) resultó ser muy sensible a este tipo de fenómenos, según se deduce de la «historia» de la dársena en sí, y de los resultados comparativos obtenidos de los ensayos, concluyéndose que dicha zona inducía fenómenos de reflexión apreciables en el Muelle de Maese. De hecho, en esa zona de acantilados se tuvieron que disponer bloques de hormigón, con el fin de disminuir la agitación de dicho muelle. A raíz de la acción de fuertes temporales de Lebeche, se produjeron deslizamientos en los bloques, lo que repercutió en un incremento de los movimientos de algún buque atracado en el Muelle de Maese (Consignatario Sánchez Solé, Comunicación personal).

Esto último fue confirmado, de forma cualitati-

va, en los ensayos, de una forma muy simple: amortiguando dichos acantilados con mantas de fibra de coco y midiendo de nuevo la altura de ola en la «Punta del Gate», así como en la zona de acantilados entre ésta y el Muelle de Fertilizantes, obteniéndose valores inferiores del coeficiente de agitación. Del esquema de la figura 13 se aprecia el efecto reflejante de estas zonas.

El reemplazar por tanto los bloques dañados por otros de mayor peso y con un paramento lo más tendido posible, tendrá un efecto positivo sobre las ondas reflejadas y sus correderas asociadas. Asimismo, la disposición de bloques o escolera, con taludes tendidos en la zona de acantilados comprendida entre la bocana y el Muelle de Fertilizantes, produciría igualmente un efecto beneficioso en la agitación general de la dársena.

En la figura 13 puede verse el distinto compor-

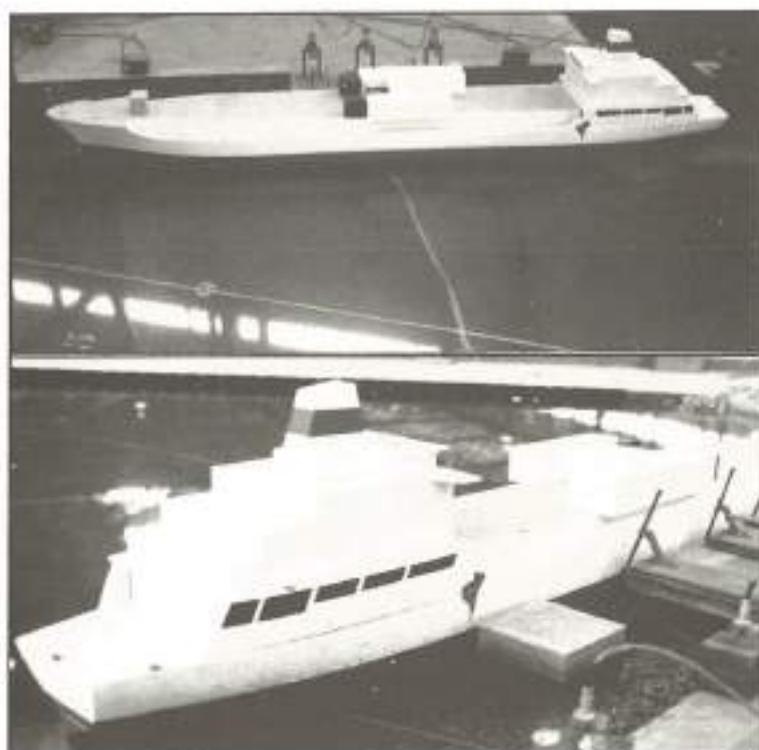


FIGURA 10. Ataque en el Nuevo Muelle de Gónales. (Refer. 4)

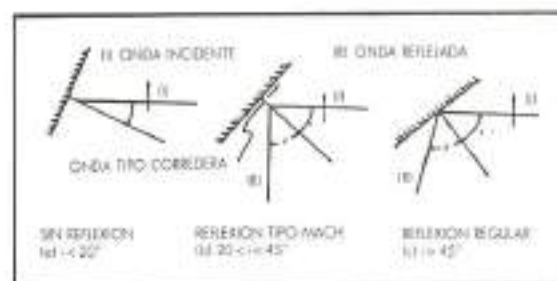


FIGURA 11. Tipos de reflexión. (Refer. 3)

tamiento reflejante inducido por las soluciones FASE I y FASE IM. La solución inicial de ampliación propuesta (FASE I), produce ondas correderas en la mayoría de sus rayos, focalizándose los rayos reflejados, prácticamente por completo, en el Muelle de Maese (según la conocida relación $i = \hat{r}$). Ello repercute, principalmente, en un aumento del coeficiente de agitación, en dicho muelle, del orden de 50 %.

Por tal motivo, se ensayó la solución FASE IM, modificación de la anterior, de planta tipo parabólica, con el fin de producir un abanico de rayos re-

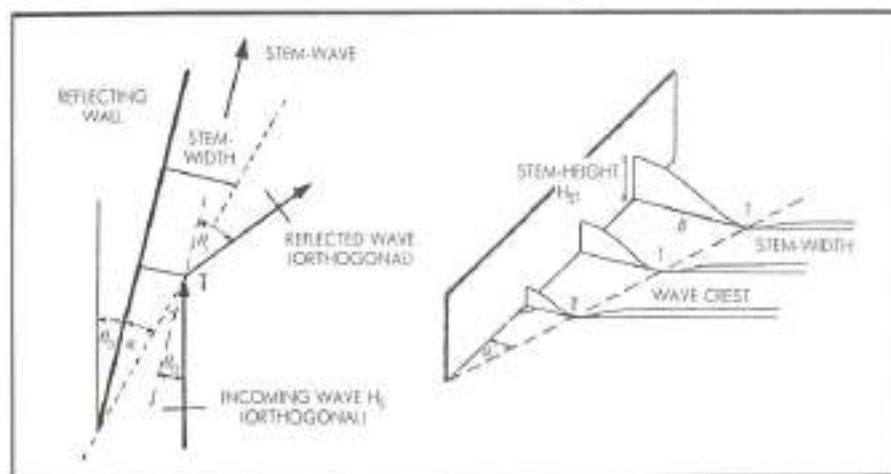


FIGURA 12. Reflexión tipo Mach. (Refer. 2)

flejados más amplio que disminuyese la concentración de energía en el Muelle de Maese. Los resultados de los ensayos confirmaron esa reducción, del orden del 10 % (valores medios), y del 13 %, con respecto a la solución anterior. Hay que destacar que esta reducción de la agitación en el Muelle de Maese, iba acompañada de un aumento de la agitación, del orden del 25 % (valores medios) y del 30 % (valores máximos), en el Pantalán de Petroleros del Muelle de Bastarreche. Estos resultados se interpretan más fácilmente analizando la trayectoria del rayo i_2-r_2 que incide en dicho pan-

talán. Asimismo, el nuevo rayo re-reflejado r'_2 es enviado hacia la parte más interior de la dársena (zona 10, figura 8), lo que se manifiesta en un aumento del coeficiente de agitación en esa zona del 28 % (valores medios) y del 30 % (valores máximos).

Queda finalmente por analizar, dentro de los elementos capaces de inducir reflexiones en la dársena, el efecto reflejante inducido por el mogote del acantilado interior contiguo al Muelle de Fertilizantes y al atraque de ENAGAS (figura 13). Este acantilado, actualmente escollera, parece no ejercer un efecto negativo sobre la agitación del

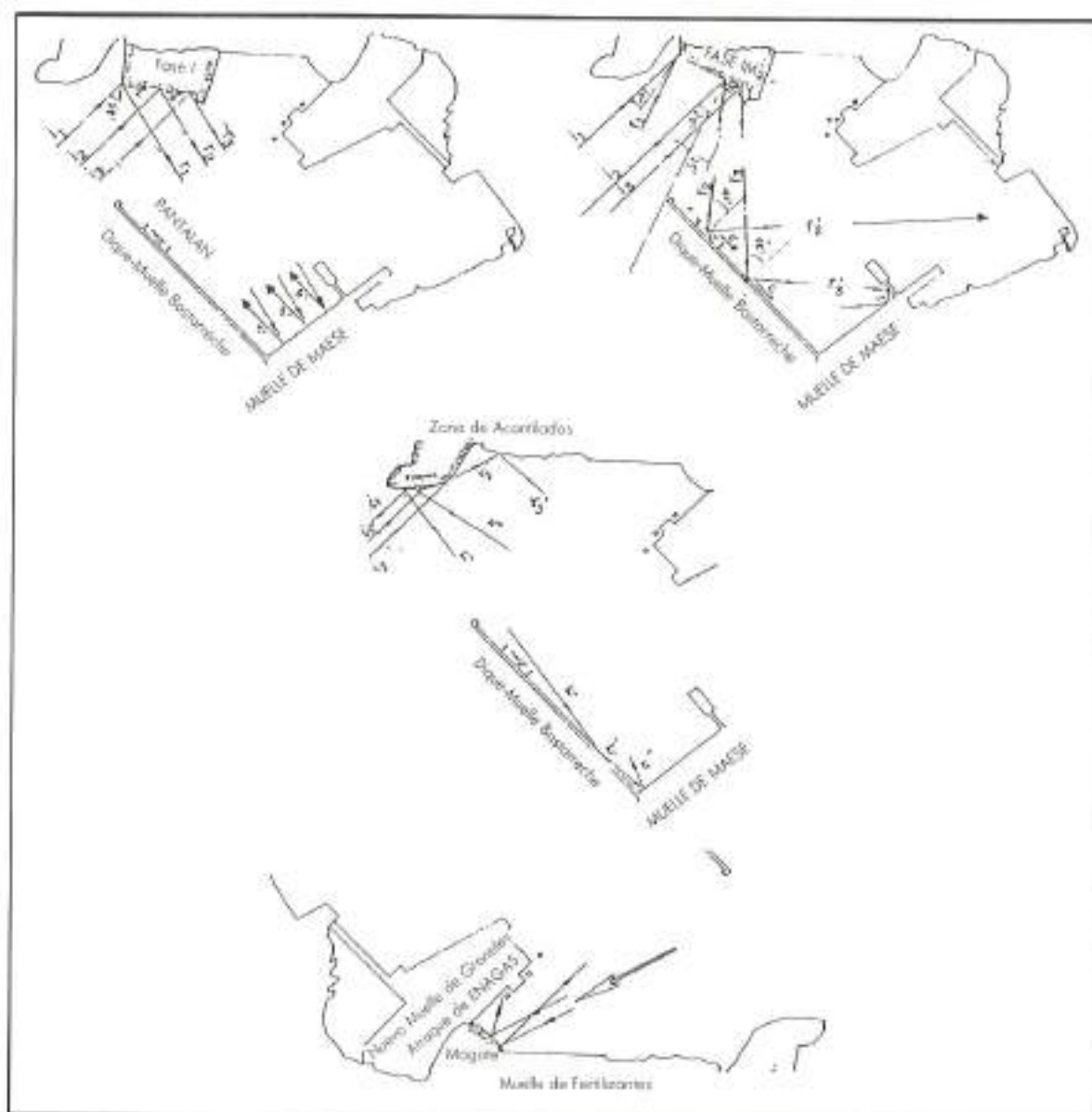


FIGURA 13. Esquema simplificado de reflexiones en diversos contornos de la Dársena de Escambreras. (Refer. 4)

Muelle de Fertilizantes, ya que dada su forma convexa en planta, tiende a formar un abanico disperso de ondas reflejadas que no interfieren con dicho muelle. Estas ondas reflejadas sí que podrían, sin embargo, empeorar las condiciones de agitación en la zona destinada al atraque de graneles líquidos, por la proximidad y carácter reflejante de dicho muelle (vertical). Dado que el relleno del Nuevo Muelle de Graneles va a ser obtenido precisamente de ese mogote, parece razonable aconsejar el retranqueo hacia el interior (en todo lo posible) de dicho mogote, dándosele un talud lo más tendido posible y manteniendo una forma en planta de tipo convexo, con el fin de no empeorar las condiciones de agitación del Muelle de Fertilizantes.

De todo lo anteriormente expuesto, podríamos resaltar los siguientes aspectos de interés en hidráulica portuaria, en lo referente a la reflexión del oleaje:

A. El efecto de reflexión tipo Mach del oleaje, es un parámetro muy a tener en cuenta en el diseño de obras portuarias, así como en la explotación de los atraques. Esquemas sencillos de reflexión, como los indicados en la figura 13, pueden ayudarnos a comprender la influencia de las obras de ampliación, desde un punto de vista cualitativo, así como a interpretar los resultados de un modelo físico, e incluso, a confirmar las interpretaciones dadas por gentes de la mar, de determinados fenómenos o situaciones.

B. Recomendaciones «tan simples» como las explicadas en el estudio de la Dársena de Escombreras, consistentes básicamente en disminuir el coeficiente de reflexión de las zonas potencialmente capaces de producir ondas reflejadas y correderas (mediante taludes más tendidos, por ejemplo), pueden en muchas ocasiones ser las únicas soluciones capaces de producir mejoras considerables en la agitación portuaria.

C. Caso de producirse concentraciones de energía reflejada, el empleo de superficies parabólicas con taludes tendidos (por ejemplo: 3:1), puede, en ocasiones (aunque desgraciadamente no sucedió así en este estudio, en particular) ser un mecanismo eficiente al actuar como «repartidor» de energía reflejada (E_r).

D. El «actuar» con los términos antes explicados de las energías correspondientes a las ondas reflejadas (E_r), correderas (E_c), y disipadas (E_d), ($E_t = E_r + E_c + E_d$), es, sin duda, un reto para el ingeniero portuario (altamente especializado), máxime si esa «actuación» debe hacerse, en muchas ocasiones, en términos de energía asociada a frecuencias bajas del oleaje (más que a alturas de ola), capaz de excitar al buque atracado.

E. El empleo de modelos físicos para el estudio de zonas portuarias con fenómenos importantes de reflexiones es, en opinión de los autores, la herramienta actual más potente y fiable para cuantificar dichos fenómenos. Esto requiere, sin embargo, la realización, en muchos casos, de ensayos previos bidimensionales en canal o tanque, a distintas escalas, para reproducir lo mejor posible la curva representativa del coeficiente de reflexión del elemento reflejante, sobre todo si se trata de muelles tipo claraboyas. La realización de ensayos complementarios de tipo cualitativo, para detectar zonas de concentración de energía (aumentando o disminuyendo la capacidad reflejante de los paramentos de estudio), es una metodología muy eficaz, a la vez que instructiva, aplicable durante el desarrollo de cualquier modelo físico.

4. ENSAYOS COMPLEMENTARIOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE UN BUQUE TIPO ATRACADO EN EL NUEVO MUELLE DE GRANELES

Complementariamente a los ensayos de agitación se realizaron ensayos en modelo reducido aprovechando el modelo físico de agitación existente (Refer. 4). El número total de ensayos realizados fue de 14, habiéndose hecho principal hincapié en la mejora de los sistemas de atraque, debido a la fijeza del buque tipo elegido (ISABELLA/ANABELLA) en el atraque de la terminal de ENAGAS, emplazada en el Nuevo Muelle de Graneles. A continuación se presenta una fotografía de los ensayos realizados con el buque tipo atracado:



FIGURA 14. Fotografía del modelo del buque atracado (ISABELLA/ANABELLA). (Refer. 4)

Debido a lo complejo que resultaría el tratar de resumir este tipo de ensayos (descripción de ensayos, configuraciones de atraque ensayadas, reproducciones de amarras y defensas, metodología, etc.), queremos únicamente resaltar la importancia que tienen estos estudios, principalmente si son aplicados a una terminal en la que va a ir atracado un buque de características bien definidas, ya que permiten, para unas condiciones de agitación fijas (que podrían ser las óptimas del estudio previo de agitación), el mejorar el comportamiento del buque tipo atracado, actuando simplemente sobre su sistema de amarras y defensas. Dicho de otra forma un tanto más científica: al considerar el buque atracado como un sistema oscilatorio, sometido a una fuerza variable (oleaje, vientos y corrientes), cualquier actuación sobre sus formas naturales de oscilación (periodos naturales y amortiguamientos) que haga que disminuya su capacidad resonante, redundará positivamente en el comportamiento general del buque atracado (disminución de fuerzas y movimientos). Ello se consigue, en general, manteniendo los periodos naturales críticos de oscilación lo más alejados posibles del periodo de excitación del oleaje, así como haciendo que el buque atracado se comporte «de la forma más lineal» (cosa bastante difícil de conseguir debido al carácter altamente no lineal de las curvas de deformaciones de amarras y defensas, así como al acoplamiento existente entre movimientos). Para una descripción más detallada del comportamiento del buque atracado, así como de los ensayos realizados, ver Refer. 3.

Siguiente esta filosofía, se ensayaron cinco configuraciones de atraque, a partir de la configuración habitual del buque atracado, obteniéndose mejoras considerables, principalmente en el movimiento más crítico (vaivén). Así, por ejemplo, se obtuvieron reducciones del orden del 31 % en el movimiento máximo (extrapolado según Rayleigh) de vaivén, al pasar de la llamada configuración inicial (1), a la final (5). Dentro de la configuración 5, un incremento de pretensión en todas las líneas de amarre de 3 a 6 Tn produjo mejoras en dicho movimiento del 24 %, equivalente a un 54 % con respecto a la solución inicial propuesta, obteniéndose una distribución mucho más adecuada de las fuerzas en las amarras (a proa y popa) y defensas. En base a estos ensayos y a los estudios del clima marítimo, se elaboraron también un conjunto de recomendaciones específicas para dicho atraque, así como criterios de operatividad más realistas que los que se obtendrían de los ensayos de agitación.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean mostrar su agradecimiento a la Dirección General de Puertos y Costas, por permitir la utilización de los resultados de los ensayos sobre la Dársena de Escombreras, realizados en el CEPYC.

Este artículo no hubiera podido ser escrito sin la colaboración de un número grande de personas, que participaron, de distintas formas, en el «Estudio sobre la Dársena de Escombreras (Puerto de Cartagena)», compuesto de las siguientes partes: I. Clima Marítimo; II. Propagación del Oleaje; III. Ensayos de Agitación; IV. Comportamiento de un Buque Tipo Atraque en el Nuevo Muelle de Graneles.

La dirección de los trabajos I y II correspondió a don Ignacio Berenguer Pérez y a don Javier Martínez Aranzabal, respectivamente. En la realización de los estudios III y IV tuvieron una parte muy relevante los señores Lozano Pedroche (ensayos con barco), Pérez Díaz y Fernández Mozo (construcción del modelo), Gimeno Vázquez y la señorita Hernández Gómez (realización de los ensayos).

Los comentarios relacionados con estos ensayos de don Vicente Sánchez Naveas y de don José María Berenguer Pérez fueron extremadamente valiosos para el desarrollo de los mismos.

La información suministrada por la Consignataria Sánchez Solé sobre el comportamiento de los buques en la Dársena de Escombreras fue de gran utilidad práctica para la interpretación y comprobación de algunos de los resultados de los modelos.

Queda finalmente por agradecer el interés y la colaboración mostrada durante la realización de estos estudios por don Julio González Suárez, director del Puerto de Cartagena, y por don José García Rodríguez, Jefe de la Sección de Planeamiento y Explotación. Gracias a la cooperación del Puerto de Cartagena se pudieron realizar una serie de estudios complementarios (correlación de datos de boyas y direcciones de oleaje, determinación de curvas de deformación de defensas de neumáticos en prototipo, y definición de las rutas de entrada de los buques en la Dársena) que fueron extremadamente útiles no solamente para este estudio en particular, sino para otros también realizados en el CEPYC.

6. REFERENCIAS

- BERENGUER PEREZ, I., 1986, «Estudios sobre la Dársena de Escombreras (Puerto de Cartagena). II. Penetración del Oleaje». CEPYC (CEDEX). Clave: 214139023. (Sin publicar.)

2. BERGER, U., y KOHLHASE, S., «Mach-Reflection as a Diffraction Problem», Proc. Coastal Engineering, Chapter 46.
3. GOMEZ PINA, G., 1985, «El Buque y las Obras Marítimas», Curso sobre Proyecto y Construcción de Obras Marítimas (CEDEX).
4. GOMEZ PINA, G., 1986, «Estudios sobre la Dársena de Escombreras (Puerto de Cartagena). III. Ensayos de Agitación», CEPYC (CEDEX). Clave: 214139023. (Sin publicar.)
5. GOMEZ PINA, G., 1986, «Estudios sobre la Dársena de Escombreras (Puerto de Cartagena). III. Ensayos sobre el Comportamiento de un Buque Tipo Atracado», CEPYC (CEDEX). Clave: 214139023. (Sin publicar.)
6. MARTINEZ ARANZABAL, J., 1986, «Estudios sobre la Dársena de Escombreras (Puerto de Cartagena). I. Clima Marítimo», CEPYC (CEDEX). Clave: 214139023. (Sin publicar.)
7. SANCHEZ SOLE, S., Consignataria, 1986, Comunicación Personal.
8. SVENDSEN, I. A., y JONSSON, I. G., 1976, «Hydrodynamics of Coastal Regions», Technical University of Denmark.
9. VIDAL, C., y LÓSADA, M., 1988, Comunicación Personal. Departamento de Oceanografía e Ingeniería de Puertos. E.T.S. Ingenieros, Caminos y Puertos. Universidad de Santander.


 PEDIDOS: Contra reembolso ☐ — Cheque adjunto ☐
RELIABILITY AND OPTIMIZATION OF STRUCTURAL SYSTEMS. (PP)

 Thott, P. —4073—
 1987 ed. 470 págs. 10.494 pts.

CONTENIDO: On the application of a nonlinear finite element formulation in structural systems reliability. Fatigue life estimation under random overloads. Application to marine structures of asymptotic vector process methods. Reliability analysis of discrete dynamic systems under non-stationary random excitations. Reliability of partly damaged structures. Uncontrolled unreliable process with explicit or implicit breakdowns and mixed executive times. Etc..

RELIABILITY BASED DESIGN IN CIVIL ENGINEERING.

 Harr, M.E. —5745—
 1987 ed. 290 págs. 11.438 pts.

CONTENIDO: Elements of probability. Further concepts. System reliability. Reliability analysis. Gaining information.

REGLEMENTATION FRANCAISE ET ETRANGERE EN GEOTECHNIQUE. (PP)

 Magnan, J.P. —7039—
 1987 ed. 141 págs. 4.350 pts.

BUILDING STRUCTURAL DESIGN HANDBOOK

 White, R.N. —2226—
 1987 ed. 1.197 págs. 18.550 pts.

CONTENIDO: Introduction to the Handbook. Loads. Design philosophies. Mechanical and electrical systems. Vertical transportation structural aspects. Welding. Related considerations in building design. Structural walls and diaphragms. How they function. Structural form. Preliminary design of low-rise buildings. Tall buildings load effects and special design considerations. Preliminary design of high-rise buildings. Preliminary design of single-story open-space buildings. Preliminary design of shells and folded plates. Etc..

QUALITE DES SOLS METHODES D'ANALYSE. (PP)

 As. Fr. Normalisation —20465—
 1987 ed. 135 págs. 7.208 pts.

CONTENIDO: Definitions. Sampling - Test samples. Physico-chemical tests. Analysis methods.

SIXTEENTH CONGRESS ON LARGE DAMS 4 Vols.

 Cigb/ICOLD. —8489—
 1988 ed. 5.400 págs. 63.070 pts.

VOLUME 1: Questions discussed at preceding congress. Questions for the 16th congress. recap table of papers per countries submitted to the 16th congress. Global comparison of papers submitted to the last nine congress. Etc..

VOLUME 2: Wording of question 61. Table of contents of papers on question 61. Papers on question 61. General report question 61.

VOLUME 3: Wording of question 62. Table of contents of papers on question 62. Papers on question 62. General report question 62. Table of contents of communications. Communications.

VOLUME 4: Wording of question 63. Table of contents of papers on question 63. Papers on question 63. General report on question 63.

SOIL-STRUCTURE INTERACTION. Vol. 43

 Cakmak, A.S. —5609—
 1987 ed. 373 págs. 19.928 pts.

CONTENIDO: Effects on an irregular soil profile on site amplification. Earthquake response of nonlinear building-foundation systems. Dam-foundation interaction under spatially correlated random ground motion. Recursive evaluation of interaction forces of unbounded soil in frequency domain. Etc..

SPACE STRUCTURES FOR SPORTS BUILDINGS.

 Lan, T.T. —9037—
 1987 ed. 662 págs. 17.278 pts.

CONTENIDO: General. Continuous shells. Space trusses. Reticulated shells. Cable structures. Membrane structures.

STOCHASTIC METHODS IN STRUCTURAL DYNAMICS.

 Schueller, G.I. —7054—
 1987 ed. 218 págs. 12.296 pts.

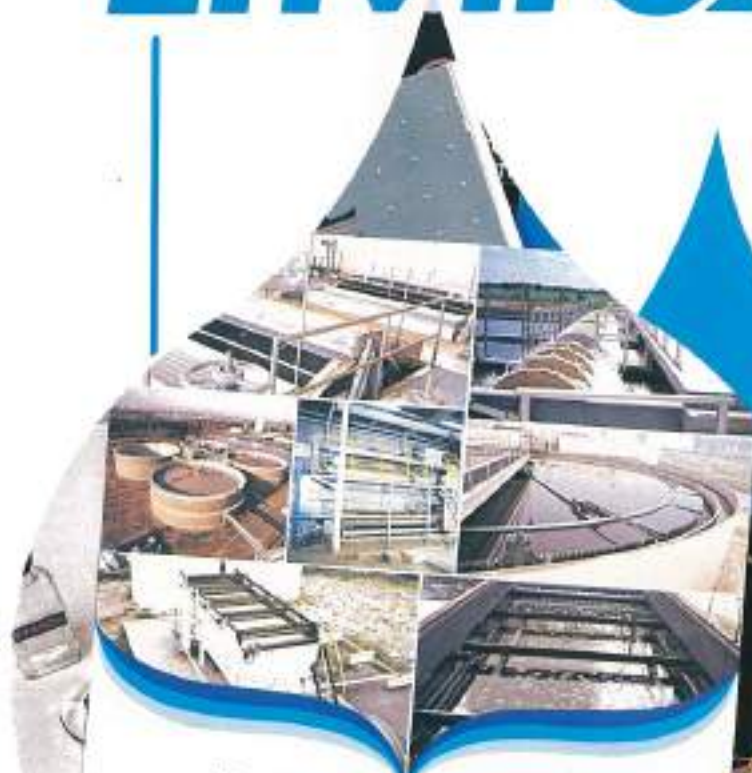
CONTENIDO: Basic principles of probability, stochastic processes and reliability methods. Stochastic dynamic analysis of linear systems. Stochastic fields and their digital simulation. Application of markov process theory to nonlinear random vibration problems. Approximate methods in non-linear stochastic dynamics. Seismic damage analysis of reinforced concrete buildings.

SOLO LA MAS ACTUAL Y EXPERIMENTADA TECNOLOGIA PERMITE SER

Nº 1 en USA

Envirex

ESTACIONES
DEPURADORAS
DE AGUAS
RESIDUALES



IMAGINATIVE IDEAS:

Wastewater treatment that doesn't waste a cent.

Imaginative solutions for wastewater treatment facilities are the hallmark of the American Envirex Corporation. Many years ago, Envirex began with the development of a new type of wastewater treatment system. The result was the Envirex system, a truly innovative and efficient wastewater treatment system. The Envirex system is a truly innovative and efficient wastewater treatment system. The Envirex system is a truly innovative and efficient wastewater treatment system.

Imaginative solutions for wastewater treatment facilities are the hallmark of the American Envirex Corporation. Many years ago, Envirex began with the development of a new type of wastewater treatment system. The result was the Envirex system, a truly innovative and efficient wastewater treatment system. The Envirex system is a truly innovative and efficient wastewater treatment system.

Envirex
a Rexford Company



CIDA HIDROQUIMICA, S.A.
TRATAMIENTO DE AGUAS

Gran Via de les Corts Catalanes, 645
Tel. 301.30.18
Telex 50521 - CYDA - E
08010 BARCELONA

DELEGACION CENTRO: Gran Via, 88
Edificio España, Gr. 3, Pl. 3, Of. 11
Tel. 248.33.95
28013 MADRID

AGUA

VIVA

El agua padece múltiples agresiones contaminantes
en su recorrido natural.

Es imprescindible que llegue al usuario con
el tratamiento adecuado.

CADAGUA está presente allí donde se exige la mejor agua.



Depuradora de Butarque - Madrid



cadagua, s.a. Damos vida.

EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES PRODUCIDOS POR LOS VERTIDOS AL MAR

FERNANDO RUIZ BAUZA (*)

RESUMEN. Los estudios de contaminación de las aguas litorales requieren la unificación de criterios para valorar las distintas situaciones que se presentan por la incidencia de los vertidos así como predecir el impacto sobre el medio de los vertidos dimanantes de las instalaciones marítimas en proyecto.

El trabajo presenta la metodología de evaluación de impacto ambiental producido por los vertidos sobre la calidad de las aguas costeras. Como primer paso se han considerado veinte indicadores ambientales atendiendo a su importancia, representatividad, incidencia sobre el medio, peligrosidad y medibilidad.

Estos indicadores son ponderados espacialmente para la obtención de un valor representativo para toda la zona del estudio. Para ello previamente se discretiza la zona y se clasifican las celdas en función de sus usos y características quedando fijado un valor de ponderación para cada indicador en cada una de las celdas.

Se ha realizado en base a datos de diferentes estudios, normativas, etc., las funciones de equivalencia que nos transforman el valor físico del indicador ambiental en su respectivo índice de calidad, valor adimensional comprendido entre 0 y 10 que nos permite comparar la incidencia de los diferentes parámetros así como sumar sus efectos. Se define para el cálculo de EIA, la ponderación relativa de los índices de calidad y las unidades de impacto.

Dos aspectos fundamentales queremos abordar. Uno es la evaluación del impacto ambiental ante un proyecto que incida sobre la calidad de las aguas costeras de forma que puedan ser evaluadas las alternativas de dicho proyecto y minimizados por sus efectos sobre el entorno. Es evidente su aplicación a los proyectos de emisarios submarinos. En base a los resultados obtenidos por medio de los modelos de transporte y dispersión que nos dan la predicción de las situaciones futuras de la zona, en las distintas alternativas que consideramos, se podrá aplicar la presente metodología que nos cuantificará los efectos degradantes sobre el medio, en cada caso.

De otra parte conviene resaltar la importancia de las unidades de impacto que sirven para determinar el grado de incidencia de los vertidos de una zona sobre la calidad de las aguas costeras y posibilidad de comparación por un método sistemático las distintas zonas del litoral.

ABSTRACT. *The contamination works of the coastal waters require the unification and clarification of the criteria for the evaluation of the different situations appearing by the incidence of the disposals as well as the forecast of the impact on the environment because of the future disposals deriving from the maritime works in project.*

In the present study it is developed a model systemizing the methodology to assess, on one side, the incidence of the already existing disposals in a zone and, on the other, the prediction of the environmental physical impacts produced by the disposals on the sea environment.

At present, in order to optimize the project of a submarine sewage outfall it is only considered the influence of the disposal through it from a bacteriological point of view. Although in many cases this is sufficient, nevertheless certain projects attending to the contaminating charge to be disposed and to the particular features of the coastal stretch may put forward the necessity of viewing other parameter.

We will proceed describing the present state of the model on which we are working on to widen and optimizing it. We include a list of twenty environmental indicators studying their influence on the medium.

(*) Licenciado en Ciencias Físicas. Jefe de la División de Contaminación del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEDEX).

The methodology for the assessment of the impact begins with the discretization of the zone being the object of the study and classification of every cell in which it gets divided in function of its uses and characteristics.

Initially, it must be obtained a value for every indicator and cell statistically representative, which bears a series of determinations in nature all time long. Once those values have been determined average values spatially weighted are obtained, used on the typification of every cell, all throughout the study.

A fundamental part of the present model are the equivalence functions. They provide us with quality indexes in function of the physical values of the indicators. These quality indexes varying from 0 to 10 homogenize all the parameters in such a way that they can be measured among themselves. To carry out these functions national and international studies have been considered and analyzed, the toxicity of the indicators and norms in force as well in Spain in other countries.

Finally an specific ponderation of the quality indexes is carried out by means of an evaluation of them among themselves in based on their relative importance and the unities of environmental impacts are calculated as well as the evaluation of the environmental impact comparing the unities of impact with and without project.

1. INDICADORES AMBIENTALES

Inicialmente se han elegido veinte indicadores de la influencia de los vertidos, tanto urbanos como industriales, sobre la calidad de las aguas. Estos veinte parámetros han sido elegidos en función de su representatividad como indicadores de la perturbación de la calidad de las aguas, por su importancia específica, toxicidad, persistencia, y, en general, por su incidencia clara en el desequilibrio de los ecosistemas marinos y su posibilidad de medida.

Es evidente que son muchos los parámetros que se pueden contemplar, si bien habrá que considerar que sean relativamente exclusivos para evitar introducir de forma reiterada la misma perturbación.

Indicadores ambientales considerados:

- pH.
- Transparencia.
- Oxígeno disuelto.
- Sólidos en suspensión.
- Ortofosfatos.
- Amonio.
- Nitratos.
- Coliformes fecales.
- Clorofila a.
- Fenoles.
- Cromo.
- Cadmio.
- Plomo.
- Cobre.
- Níquel.
- Zinc.
- Arsénico.
- Mercurio.
- Incremento de temperatura del agua.
- Detergentes aniónicos.

2. DATOS DE ENTRADA. DETERMINACION DE ZONAS ESPECIFICAS EN EL LITORAL. PONDERACION ESPACIAL

Inicialmente se dividirá la zona a estudiar en celdas o subzonas de igual tamaño, éstas deberán ser lo más pequeñas posible siendo limitadas por la capacidad operativa y analítica del equipo investigador. En cada celda se analizarán los indicadores ambientales en la columna de agua, obteniéndose un valor representativo para la misma.

Dadas las grandes variaciones existentes en el tiempo para los parámetros indicadores, deberá de obtenerse una muestra lo más amplia posible, que en función de las características que presente, distribución, dispersión de los valores, etc., recibirá el tratamiento estadístico adecuado para obtener el valor más representativo. Este será la entrada al modelo de evaluación.

DETERMINACION DE ZONAS LITORALES. PONDERACION ESPACIAL

Es evidente que los indicadores ambientales que estamos considerando adquieran una importancia diferente según las zonas de litoral contempladas desde el punto de vista de sus usos y de la dispersión que se alcanza en ellos. Así la presencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal es más grave en zonas de playas y cultivos marinos que en otras de diferentes usos o la presencia de sustancias bioacumulables en zonas de cultivos marinos.

A estos efectos se han considerado en el litoral respecto a sus usos y características cuatro apartados:

- A. Zonas de baños.
- B. Zonas de cultivos marinos.

C. Zonas de poca renovación de las aguas.

D. Aguas litorales.

En el apartado de baños se comprenden aquellas zonas utilizadas para el uso y disfrute por el hombre, como son las playas, zonas de deportes náuticos y todos aquellos lugares donde existe un contacto directo habitual del hombre con las aguas.

Las zonas de cultivos marinos son aquellas dedicadas a los usos que su propio nombre indica. Pueden ser artificiales como los polígonos de bateas de mejillones o bancos naturales como los de almejas entre otros.

A efectos de no realizar excesivos apartados en la zonificación del litoral hemos introducido dos grandes grupos como son las zonas de aguas de poca renovación y las litorales. En las primeras incluimos aquellas que por las características topográficas naturales del litoral o por obras realizadas por el hombre presentan una renovación lenta de sus aguas, lo cual dependerá también de la dinámica de éstas en la zona. Estas características se presentan en puertos, bahías, rías, etc. No toda una bahía tiene por qué ser zona de poca renovación, ello dependerá de su bocana o comunicaciones con aguas libres, batimetría, naturaleza y circulación de las corrientes marinas. Es evidente que una fuerte corriente mareal produce una alta renovación en las aguas de estas zonas, sin embargo es habitual encontrarse «vórtices» que introducen una alta permanencia de las aguas en las zonas afectadas. Es por ello que para la correcta aplicación de la ponderación espacial a considerar se debe de realizar un estudio de las corrientes marinas y de estructura de las masas de agua que nos describan un conocimiento profundo del medio receptor de las sustancias contaminantes.

En el apartado de aguas litorales introduciremos aquellas zonas que por sus usos, características topográficas y dinámicas no presentan ninguna singularidad. Estas aguas son las que normalmente discurren paralelas a la costa siguiendo los vaivenes típicos de las corrientes litorales.

Así para obtener los valores representativos de la zona del estudio para cada indicador ambiental se procederá inicialmente a la división de ésta en celdas o subzonas de igual tamaño, asignándosele a cada una de ellas el tipo al que pertenecen dentro de los cuatro descritos anteriormente.

Dentro de cada tipo de zona se le han asignado a los indicadores ambientales unos valores que oscilan entre 1 y 4 en función de su importancia específica, para la ponderación espacial de los mismos y obtención del valor medio ponderado de cada uno de ellos para toda la zona a evaluar.

Si una misma subzona presenta diferentes aspectos a considerar, el valor que tome la ponderación de cada uno de los indicadores será el mayor de los existentes en los tipos considerados. Así si una zona es de baños y cultivos marinos las ponderaciones consideradas se realizarían en base a los valores dados para zonas de cultivos por ser mayores en su totalidad.

Como puede observarse en la tabla 1 se ha asignado el valor 1 a todos los parámetros en la zona de aguas litorales. En la zona de aguas de poca renovación se han considerado como más importantes, con valor 3 la transparencia, oxígeno disuelto, ortofosfatos, nitratos, clorofila, estos indicadores reflejan la influencia de la carga orgánica sobre el medio y el posible desequilibrio del mismo. Al igual se consideran los metales pesados más tóxicos cadmio, plomo y mercurio.

En las zonas de baño se consideran de máxima importancia, valor 4, los coliformes fecales como indicadores de contaminación fecal y probabilidad de presencia de bacterias patógenas, así como la transparencia de las aguas.

Las zonas de cultivos marinos son las que presentan unos índices mayores dado que son las zonas más peligrosas, pues a través de la cadena trófica es como pueden llegar al hombre productos tóxicos, sobre todo por medio de filtradores.

	BAÑOS	CULTIVO	POCA RENOVACION	AGUAS LITORALES
p1-pH	3	3	2	1
p2-Transparencia	4	4	3	1
p3-Oxígeno disuelto	2	4	3	1
p4-Sólidos suspensión	3	3	2	1
p5-Ortofosfatos	1	3	3	1
p6-Amonio	1	2	2	1
p7-Nitratos	1	3	3	1
p8-Coli fecales	4	4	2	1
p9-Clorofila a	2	4	3	1
p10-Fenoles	2	4	2	1
p11-Cromo	1	4	2	1
p12-Cadmio	2	4	3	1
p13-Plomo	2	4	3	1
p14-Cobre	1	4	2	1
p15-Níquel	1	4	2	1
p16-Zinc	1	4	2	1
p17-Arsénico	1	4	2	1
p18-Mercurio	2	4	3	1
p19-Temperatura agua	2	3	2	1
p20-Detergentes	3	3	2	1

TABLA 1. Ponderación espacial (1, 2, 3, 4 = al)

3. FUNCIONES DE EQUIVALENCIA. INDICES DE CALIDAD

Una vez obtenido el valor medio ponderado para cada indicador en base a los datos representativos de cada subzona en la que se ha dividido el ámbito