

PROBLEMAS SEDIMENTARIOS DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS

Por José M.^a BEREQUER PEREZ

Ingeniero de Caminos del Laboratorio de Puertos

La proliferación, en nuestras costas, de obras de refugio para pequeñas embarcaciones de tipo deportivo-recreativo o pesquero durante los últimos años, hace necesario un examen detenido de los efectos inducidos por interferencia en la dinámica litoral. En este artículo se trata de señalar algunos de los problemas fundamentales de las obras de dicho tipo en relación con la dinámica sedimentaria.

1. EFECTOS DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS SOBRE LA DINAMICA LITORAL

La construcción de un puerto deportivo con obras exteriores constituye la intrusión de un nuevo elemento en el medio marítimo que es capaz, en ciertos casos, de modificar la dinámica litoral del entorno próximo. Las acciones producidas por la obra, atendiendo a su origen, se pueden clasificar en:

- Acciones activas: que incluyen todas aquellas modificaciones causadas por la alteración o interrupción de los fenómenos naturales; como son oleaje, corrientes, vientos, etc.
- Acciones pasivas: que comprenden las alteraciones debidas al propio volumen de la obra como barrera física al transporte de arena.

Entre las primeras destacan las modificaciones ejercidas por las obras en el oleaje y que se pueden concretar en:

- difracción
- reflexión
- refracción

Tanto la difracción como la reflexión se originan debido a la presencia directa de las obras del puerto, mientras que su influencia en el proceso de refracción se debe al paulatino cambio de la topografía del fondo como consecuencia de las restantes acciones.

Las acciones pasivas, se centran en la función de barrera que ejerce la obra sobre el movimiento de los sedimentos.

Una estructura, como es el dique de abrigo de un puerto deportivo, puede ser barrera total durante las primeras etapas de su vida. Sin embargo, la corriente de sedimentos es capaz de variar su camino y contornear en parte el obstáculo en el plazo de unos años y convertirlo en barrera parcial. Este ha sido el caso de numerosos puertos construidos en nuestra nación.

Ya sea barrera total o parcial existe un hecho evidente y es que la arena proveniente de aguas arriba, según el sentido de la corriente paralela a la costa, no puede pasar íntegramente, al tramo de costa situado aguas abajo de la obra. Al mismo tiempo, la incidencia del oleaje en esta última zona sigue creando la corriente transportadora y el sedimento de la misma se ve arrastrado a lo largo de la playa. Efectuando un sencillo balance de sedimento en este sector (figura 1) se com-

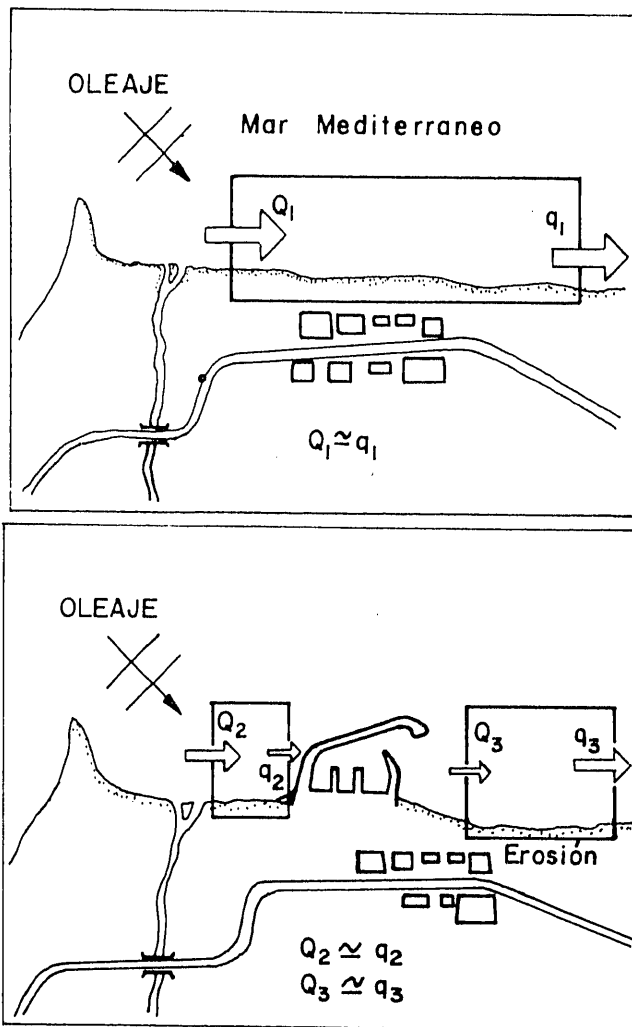


Fig. 1

PROBLEMAS SEDIMENTARIOS DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS

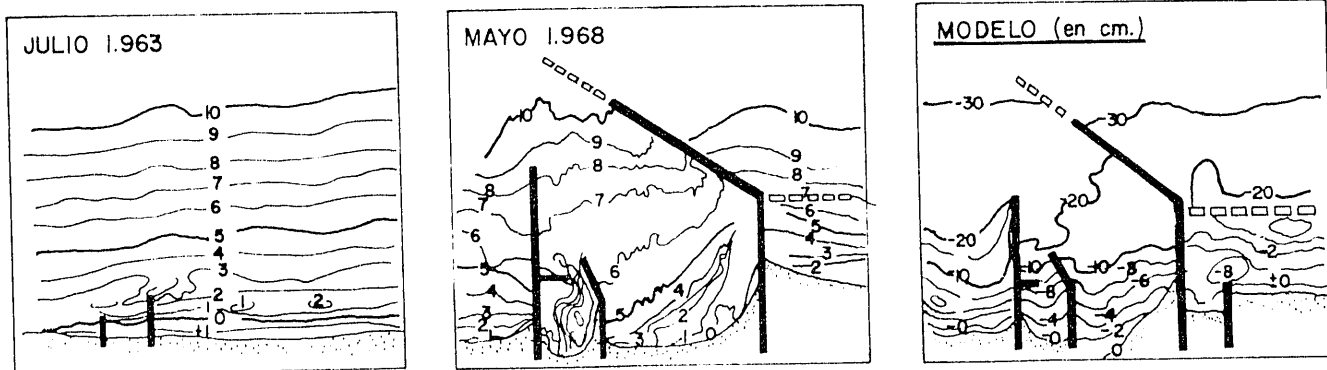


Fig. 2

prueba la existencia de un proceso erosivo al ser mayores las pérdidas que los aportes. Por el contrario, en la zona aguas arriba del puerto el proceso es de acrecimiento al ser los aportes mayores que las pérdidas por detención del sedimento al lado del dique.

De la existencia simultánea de acciones activas y pasivas surge una conjunción de las mismas que no siempre da lugar a una simple suma de efectos ya que en muchos casos se producen interferencias entre ellos.

El fenómeno múltiple, apreciado en detalle es lo suficientemente complejo como para desbordar las posibilidades de los actuales métodos gráficos y analíticos y necesitar la utilización de ensayos en modelo reducido de fondo móvil, cuidadosamente tarados, a fin de lograr una similitud de efectos adecuada.

Sato e Irie (1970) ofrecen una panorámica general de la respuesta del litoral a la construcción de obras exteriores integradas en el proyecto de un puerto. La figura 2 recoge la variación de la topografía de los fondos según se avanzó en la construcción del puerto de Kashima (Japón) y los resultados obtenidos después de la reproducción de los fenómenos en modelo reducido de fondo móvil.

Como se ve en ambos están significados fenómenos tales como la aparición de un bulbo junto a la parte oblicua del dique de abrigo, la erosión en la zona interior del puerto cerca de la pequeña dársena interior, el acrecimiento en el otro extremo interior, y el bajo formado en su parte central donde las batimétricas se curvan hacia el mar, así como la notable sedimentación junto al arranque del dique de abrigo por efecto barrera ante la corriente sólida neta.

De forma análoga, para otros casos, se pueden extractar los siguientes comportamientos del litoral ante obras típicamente portuarias:

- a) Efectos sobre la topografía en la zona exterior a la dársena.

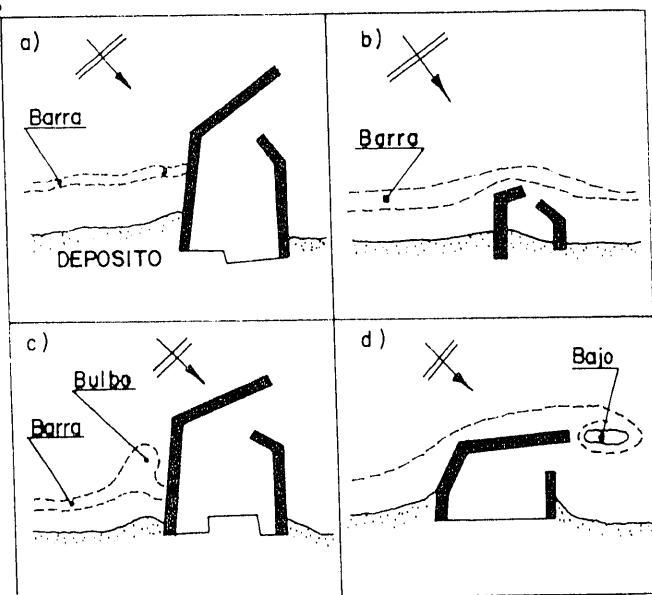


Fig. 3

En el lado de aguas arriba de la dirección del oleaje predominante se pueden encontrar los siguientes efectos:

- Acumulación de arenas junto al espigón que varía según su longitud sobrepase o no la barra sumergida (fig. 3a).
- Dicha barra sumergida trata, si la longitud del dique no es excesiva, de sobrepasarlo curvándose hacia el mar. Si el espigón o dique es suficientemente largo la barra se detiene formando un bulbo en las proximidades del mismo (fig. 3b-c).
- En el caso de que el tramo normal de dique sea corto y el tramo oblicuo sea casi paralelo a la costa el transporte sólido corre paralelo a él formando en su extremo un bajo arenoso muy acusado (fig. 3d).
- En los ángulos del dique y en su extremo, si éste sólo tiene la alineación normal, se producen socavaciones localizadas del fondo.

En el lado de aguas abajo del puerto, según e sentido del transporte de sedimento, se produce en casi todas las ocasiones, un depósito concen

PROBLEMAS SEDIMENTARIOS DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS

trado junto al dique, una forma cóncava de la orilla debido a su erosión, así como un hundimiento general de la plataforma sumergida.

- b) Efectos sobre los fondos interiores de la dársena.

En el interior de la dársena después de formarse las típicas formas de erosión y depósito durante el período de construcción, la situación se estabiliza tendiendo las batimétricas a curvarse hacia tierra en la zona más próxima a tierra y hacia el mar en la zona más profunda (fig. 4). Simultáneamente se manifiesta un acercamiento hacia la orilla de las batimétricas menos profundas y un alejamiento de las más profundas.

- c) Circulación de corrientes en el interior de la dársena.

Si ésta presenta una entrada libre al oleaje, o bien, está en fase de construcción y todavía no ha sido cerrada por el dique de abrigo se produce una circulación de las corrientes tendente a la formación de un remolino principal con polo de velocidad mínima en el centro de la dársena y varios remolinos secundarios localizados en las esquinas y ángulos de la misma.

Todos estos efectos están referidos a dársenas del tipo tradicional cuyas obras exteriores consisten, en esencia, en un dique principal de abrigo y un contradique, ambos conectados a tierra. Es lógico pensar que, ante diversas formas y magnitudes de los diques y dársenas, dichos efectos se modificarán en algunos casos, mientras que en otros simplemente no existirán o se habrán transformado en otros diferentes. Por el contrario, las acciones motoras del movimiento sedimentario serán, prácticamente, las mismas bajo diferentes circunstancias. Por ello, es de esperar que la va-

riedad de efectos antes relatada sea válida, pero de particular aplicación en la mayoría de los casos de instalaciones náutico-deportivas.

Un caso que reúne características muy dispares respecto de las dársenas tradicionales lo constituyen los denominados puertos-isla. Su funcionamiento como obra de abrigo está basado en la disposición de un dique exento, más o menos paralelo a la costa, que proporciona una superficie de agua abrigada a sotavento. Para conseguir el necesario acceso desde la costa se dispone una pasarela o pantalán usualmente sobre pilotes.

Si bien, en un principio, la idea del puerto-isla surgió como solución a los problemas de expansión, tráfico y contaminación de los puertos comerciales tradicionales, en la actualidad se ha extendido su utilización al campo de los puertos pesqueros y deportivos. Con ello se ha tratado de resolver los problemas sedimentarios minimizando la interacción sobre el entorno costero próximo. Dada la transparencia del pantalán que une el dique de abrigo con la costa, el efecto barrera queda muy reducido y por tanto se permite el paso de los sedimentos de un lado a otro según el sentido resultante del oleaje y las corrientes existentes. Las acciones activas, en cambio, siguen existiendo y, en caso de relativa proximidad del dique exento a la línea de costa, adquieren gran importancia. El efecto combinado de la difracción y de la refracción provoca la aparición de corrientes longitudinales de sentido contrario, en la zona posterior al dique. En el caso de hallarse éste, como es lógico, en profundidades reducidas se origina un transporte de sedimento que converge en la zona de intersección de ambas corrientes formándose un depósito en forma de hemi-tómbolo o punta de arena que avanza hacia el dique (fig. 5).

Por otra parte, la reflexión cobra en estos casos caracteres más acusados debido a las ma-

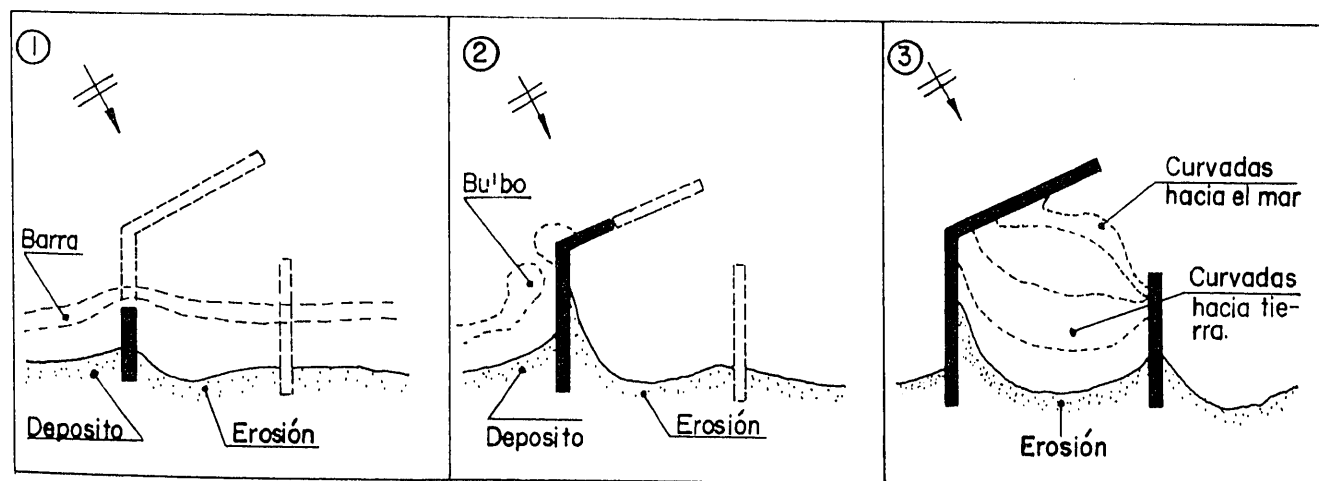


Fig. 4

PROBLEMAS SEDIMENTARIOS DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS

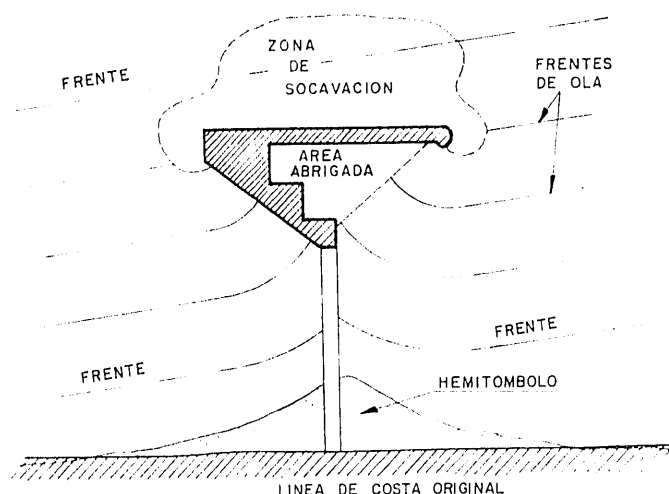


Fig. 5 - Esquema de funcionamiento de un puerto-isla

yores profundidades alcanzadas en el pie del dique, a la ausencia de limitación de altura de ola incidente por fondos y a la disposición frontal del dique de abrigo. Todos estos factores colaboran a aumentar la remoción de los sedimentos frente a la estructura y, consecuentemente a su transporte.

Se puede comprender que la repercusión sobre la costa próxima de un puerto de este tipo será tanto menor cuanto más alejado esté de ella y cuanto menor sea su magnitud como obstáculo. En el caso de que el núcleo de la instalación deportiva, caracterizado normalmente por su dique exterior de abrigo, se ubique a una distancia excesivamente pequeña de la orilla, es muy probable la formación completa del tómbolo. Una vez que la estructura del puerto se ha unido a la costa por una lengua de arena, el puerto-isla pierde su carácter original y pasa a comportarse como un puerto convencional respecto de la dinámica sedimentaria con la particularidad de constituirse en una barrera total de difícil superación. Los problemas que origina siempre una barrera de tipo total sobre las playas próximas se agudiza en este caso, ya que la arena, o sedimento, de constitución del propio tómbolo ha sido extraída por el mar del mismo entorno playero que en el futuro se va a ver afectado por los procesos erosivos originados por la barrera.

2. PROBLEMAS FUNCIONALES EN LOS PUERTOS DEPORTIVOS DERIVADOS DE LA DINÁMICA SEDIMENTARIA

Desde el punto de vista de un puerto deportivo las condiciones que han de cumplirse, respecto de la dinámica del sedimento, son:

- Mantenimiento de los calados en la bocana y vía de acceso necesario para el normal desenvolvimiento de las operaciones de entrada y salida de las embarcaciones.
- Mantenimiento de la estabilidad de las obras exteriores de abrigo.
- Conservación de las playas próximas al puerto.

Mientras que las dos primeras condiciones son inherentes al propio funcionamiento de la instalación náutica, la tercera se refiere a un ámbito, que si bien no se encuentra inmerso en su carácter náutico-deportivo, si representa un factor de atracción conveniente para el complejo y necesario para su disfrute como bien de dominio público.

A) Mantenimiento de los calados.

Para el mantenimiento de los calados en la bocana y vía de acceso hay que tener en cuenta los calados máximos de los tipos de embarcaciones para las cuales está pensado el puerto. Según una clasificación propuesta por D. P. Bertlin (tabla I), los calados necesarios para un puerto de tipo medio capaz de albergar embarcaciones de 18 m. de eslora como máximo, alcanzan valores próximos a los 3 m. Quiere decir esto que hay que prever una ruta de entrada con estos calados de forma estable.

TABLA I

Eslora	VEL A		MOTOR	
	Clase	Calado	Clase	Calado
$L \geq 8$	IS	1.5	IM	1.0
$8 \leq L \leq 10$	IIS	1.6	IIM	1.0
$10 \leq L \leq 12$	IIIS	1.8	IIIM	1.0
$12 \leq L \leq 15$	IVS	2.0	IVM	1.3
$15 \leq L \leq 18$	VS	2.5	VM	1.5
$18 \leq L \leq 25$	VIS	3.0	VIM	2.0
$25 \leq L$	VIIS	4.5	VIIM	2.5

Si la bocana y la vía de acceso están asentadas sobre una plataforma rocosa y en una zona de costa donde no existen fondos de tipo suelto (gravas arenas, limos, etc.) la estabilidad de los cala-

PROBLEMAS SEDIMENTARIOS DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS



dos no presentará ninguna clase de problemas y se pueden adoptar los calados mínimos admisibles para el proyecto.

Sin embargo, éste no es el caso de la mayoría de los puertos deportivos, ya que su ubicación, normalmente por intereses económicos, suele elegirse en zonas de playas con atractivo turístico. Aquí pueden darse, con frecuencia, movimientos del sedimento de fondo que provocan oscilaciones notables de los calados, en la entrada del puerto. Atendiendo al origen de estas variaciones se pueden analizar tres tipos principales de aterramientos de bocana.

1. Por transporte longitudinal del sedimento a lo largo del dique de abrigo.

Este caso se produce cuando el sedimento impulsado por el oleaje consigue sobrepasar el extremo del dique de abrigo. Se acentúa, tal como se vio en el anterior capítulo, en el caso de que la alineación del último tramo del dique forme un ángulo pequeño con la línea de costa. Las formas típicas de este estado son unos bajos arenosos en prolongación, más o menos alineada, del morro (figura 3.d.).

Un ejemplo muy claro de este tipo de aterra-

PROBLEMAS SEDIMENTARIOS DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS

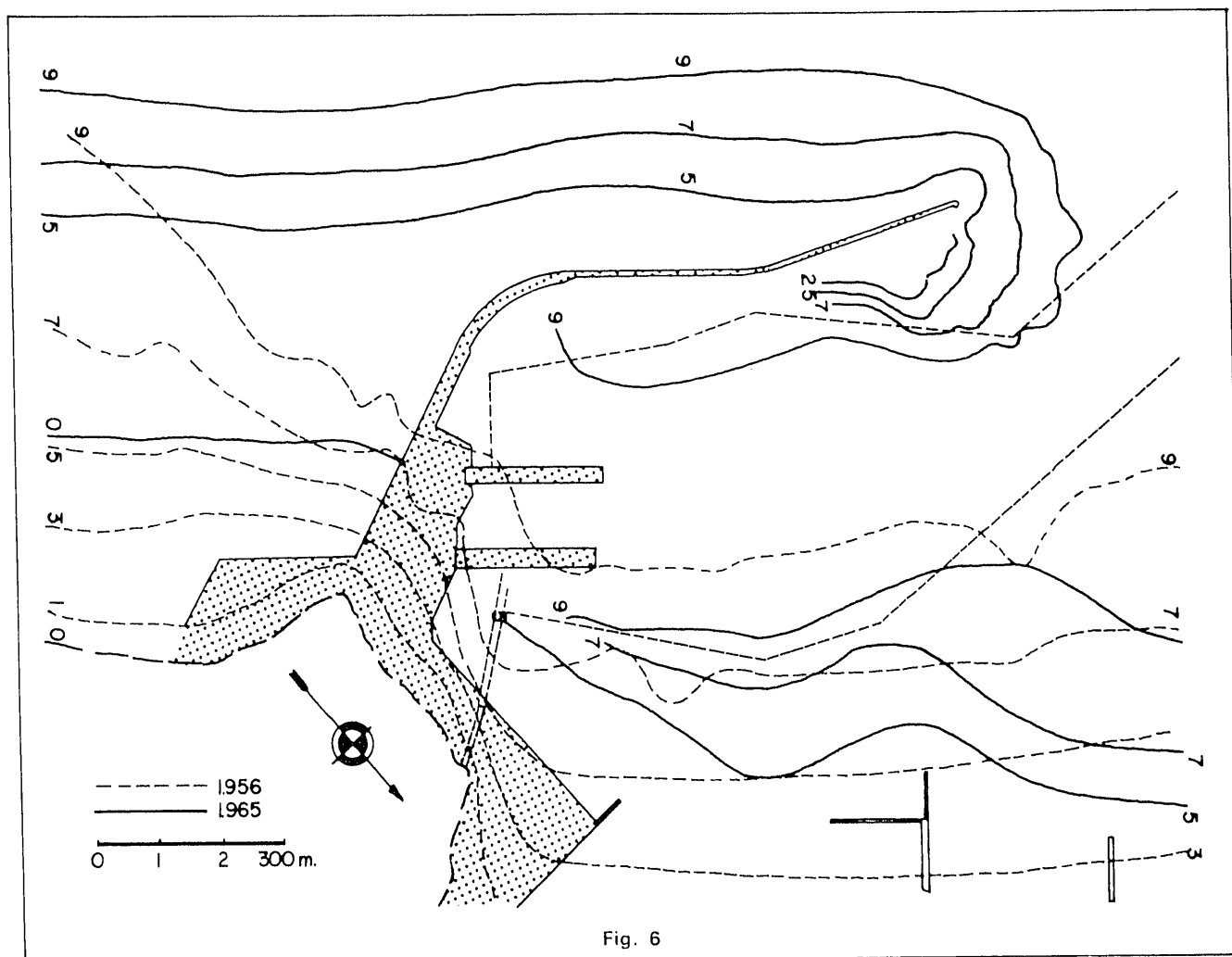


Fig. 6

miento lo constituye el puerto de Salaverry (Perú), donde el importante transporte litoral neto existente, $500.000 \text{ m}^3/\text{año}$ desbordó desde barlovento la protección del dique originando una extensa playa apoyada y una espectacular variación de las líneas batimétricas. Posteriormente como efecto inducido se formó en la costa a sotavento, frente al morro, un hemitómbolo de alguna magnitud (figura 6).

Otro caso muy significativo por la forma espectacular del aterramiento es el del puerto deportivo de Santa Bárbara (California). El caudal sólido rebasó el morro del dique exterior de 850 m. de longitud y formó una lengua que emergía del agua y que dificultaba la entrada a la dársena. En 1957, tras una serie de dragados se decidió no actuar en contra del bajo que se había formado ya que daba una protección suplementaria a la zona de atraques frente al oleaje. Únicamente se efectuaron dragados periódicos para evitar una acumulación excesiva, en la vía de entrada (figura 7).

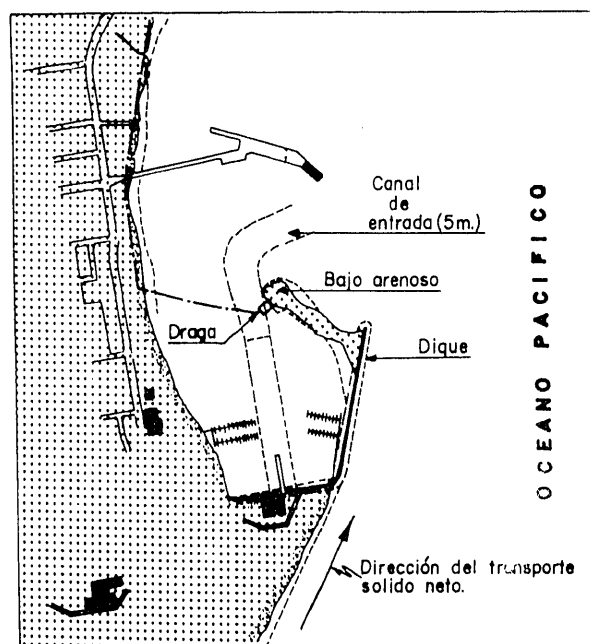


Fig. 7



En análoga situación se encuentran algunos puertos deportivos españoles del litoral mediterráneo, llegándose en varios casos a la inutilización práctica de las instalaciones por existir calados en la bocana, del orden de 0,5–1,0 m.

2. Por entrada directa del sedimento por el lado al que está abierta la bocana.

Normalmente, la bocana de los puertos deportivos está orientada de tal forma que quede protegida respecto del sector de oleaje dominante. Es poco usual que ocurra lo contrario. Si el transporte litoral se concibe originado por el oleaje y sus corrientes inducidas, es lógico pensar que el transporte resultante neto tenga el mismo sentido que el oleaje dominante.

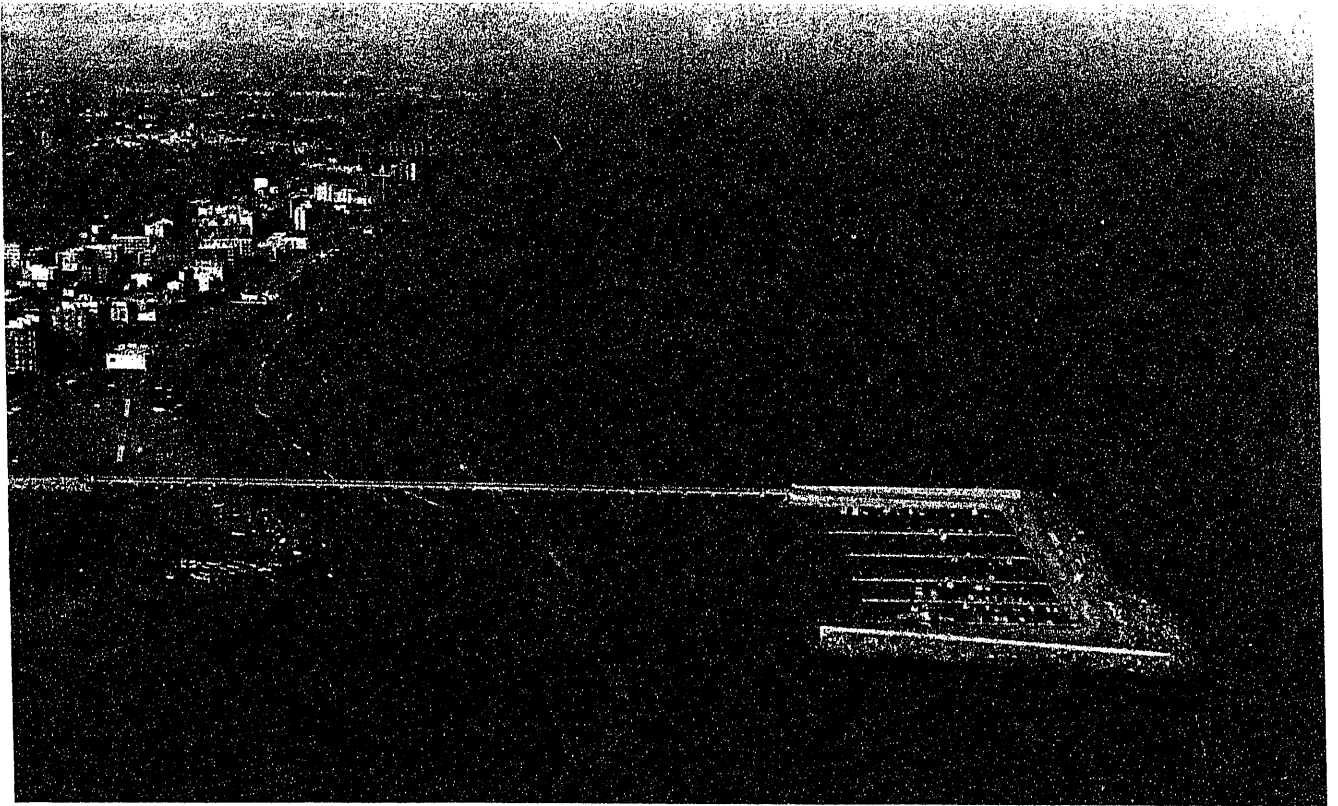
Sin embargo las reglas de las estadísticas no dejan de ser un mero índice de las situaciones generales y ocultan, en ocasiones, la consideración en que se han de tener los fenómenos singulares. Que en un cierto sector de costa exista un sentido de transporte neto resultante no quiere decir que en el otro sentido no se produzcan im-

portantes movimientos de sedimento a lo largo del año o años. Aún más, pueden existir años atípicos que produzcan un sentido resultante contrario al previsto en el año medio.

En tal caso, el contradique del puerto sería la barrera de apoyo un depósito de sedimento de magnitud variable pero superior a la esperada. Si dicho contradique se ha proyectado con una pequeña longitud de coronación y sin ningún elemento de retención, de forma que sólo sea el cerramiento de la dársena interior, es probable que el acrecimiento supere su extremo y se forme un banco de arena en la bocana. Los problemas funcionales que este hecho causa son fáciles de suponer y de consecuencias posibles análogas al caso anterior.

1977 ha sido un año que en buena parte del litoral mediterráneo español, sobre todo en la región andaluza ha tenido los mencionados caracteres atípicos. Para el año medio las estadísticas indican una leve predominancia de los temporales del E y aunque en ambos sentidos, Levante y Poniente, existe una importante capacidad de transporte, se observa un ligero predominio del movi-

PROBLEMAS SEDIMENTARIOS DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS



miento de las arenas hacia Poniente. En el pasado año, en cambio, la frecuencia de presentación de oleaje del O. ha sido muy elevada respecto de la del E. y esto ha motivado el desplazamiento de grandes cantidades de arena hacia Levante. Te-

niendo todos los puertos deportivos de la zona, excepto el de Fuengirola, su bocana abierta al O., se ha producido en varios de ellos el efecto del aterramiento antes mencionado (figura 8).

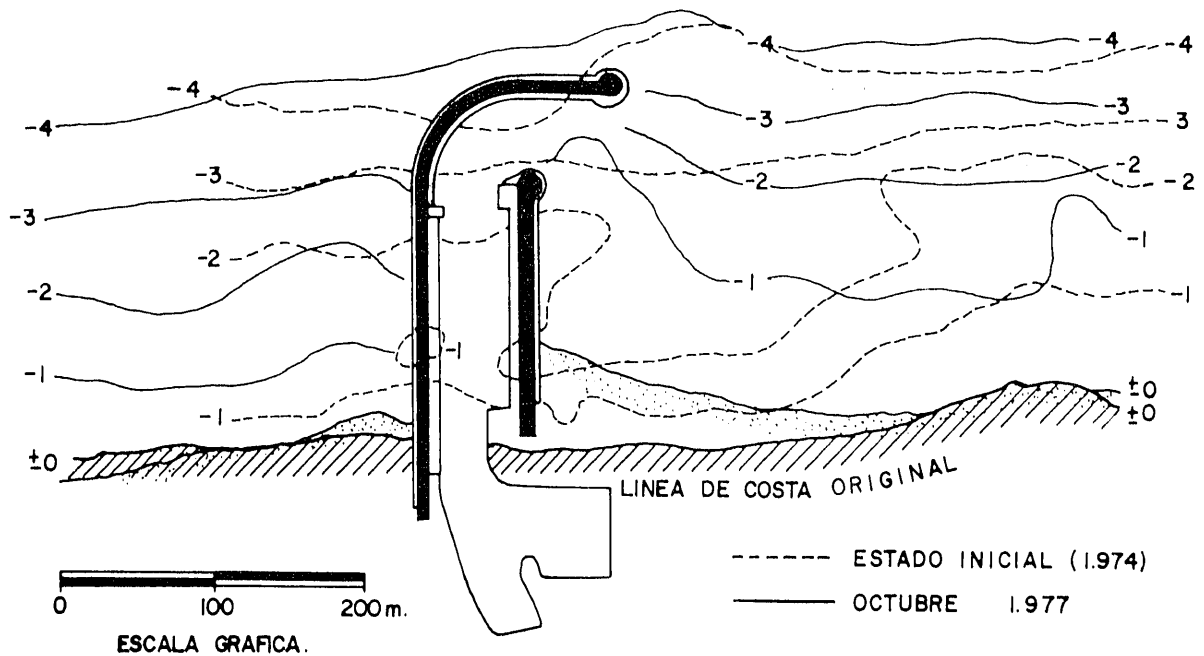


Fig. 8 - Puerto deportivo de Cabo Pino

PROBLEMAS SEDIMENTARIOS DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS

3. Por entrada directa del sedimento en puertos o dársenas de bocana amplia.

En este caso juega un papel fundamental la redistribución del sedimento en la dársena por efecto de las corrientes interiores. Se produce, principalmente en los puertos o dársenas en período de construcción y en aquéllos cuyo cierre por razones económicas, constructivas, etc., es escaso. El aterramiento que se produce no está localizado en la bocana sino, principalmente, en la zona central de la dársena, al ser en este punto donde se anula la velocidad de la corriente y se produce la decantación del sedimento en suspensión (figura 9).

Al mismo tiempo se puede producir, si existe un transporte sólido activo, la acción combinada de los oleajes de distintas direcciones en la que mientras uno forma el bajo junto al morro el otro, en una segunda fase, lo empuja hacia el interior de la dársena.

- B) Mantenimiento de la estabilidad de las obras exteriores.

Como ya se ha dicho, suele elegirse, por otras razones extra técnicas, la ubicación de la mayoría de las instalaciones náuticas en zonas de playas donde la plataforma sumergida, posee una capa de arena o material suelto de cierto espesor.

La capacidad portante de estos materiales, excepción hecha de los limos o arcillas, no creará mayores dificultades que las de un asiento, que siempre deberá ser tenido en cuenta, de las estructuras de los diques o muelles. Este asiento se manifiesta en los primeros tiempos de vida de la estructura y tiende a estabilizarse definitivamente. Por ello es recomendable no iniciar las obras de tipo rígido sobre los diques, (espaldones, muelles, pavimentos, edificaciones) hasta pasado un cierto tiempo en el que se hayan producido algunos temporales de cierta intensidad y tras verificar la casi inexistencia de asientos diferenciales en la estructura flexible del dique o del fondo.

Se ha supuesto, hasta aquí, la inalterabilidad de las formas topográficas del fondo. Ahora bien, esto no corresponde, en absoluto, a la realidad. Además del movimiento propio de las arenas de la plataforma, como resultado de las fuerzas del oleaje y corrientes actuantes sobre ellas, la propia estructura induce una serie de acciones que modifican el perfil del fondo en su entorno. La reflexión y la difracción de las olas, sobretudo la primera, crean situaciones erosivas variables en intensidad de acuerdo con la tipología de los diques. La incidencia frontal y el poder reflejante de los diques aumentan la agitación del sedimento del fondo y favorecen su remoción.

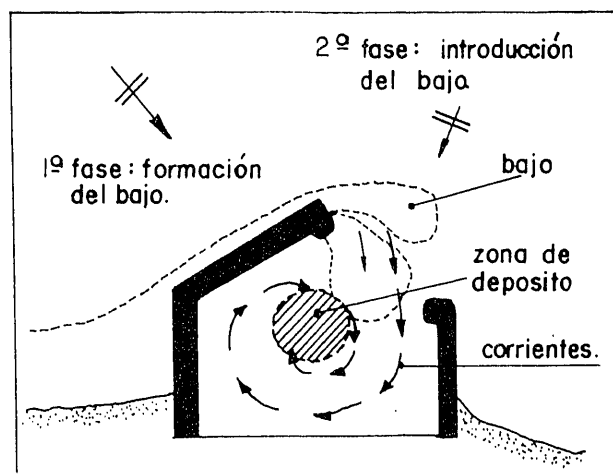


Fig. 9

Una vez que el fondo sobre el que se asienta la estructura del dique se ha socavado, se produce el descalce del mismo y la reorganización de sus partes, si es flexible, o el derrumbamiento de toda la estructura si es una obra rígida.

Sato y Tanaka (1968) investigaron el fenómeno de socavación de fondos por algunos tipos de estructuras en ensayos en modelo reducido y analizando el comportamiento de estructuras reales llegando, entre otras a las conclusiones siguientes:

- Cuando el dique vertical está situado en las proximidades de la línea de rotura se producen grandes socavaciones.
- La relación, profundidad de socavación/altura de ola incidente, para un dique de escollera es generalmente menor que la unidad.
- Existen zonas localizadas en los diques rompeolas en las que la socavación en su pie es más acusada. Estas son: la zona de cruce con las barras litorales y las proximidades de los cambios de alineaciones y el morro (figura 10).
- Además de la agitación creada por la propia ola, las corrientes que bordean el puerto juegan un importante papel en el fenómeno de socavación.

Respecto de la primera conclusión, Hotta y Marui la han completado, en un estudio posterior para diques permeables en laboratorio llegando a la conclusión de que la socavación al pie del dique es pequeña si éste está situado en el punto de rotura. Esta afirmación marca una diferencia respecto a lo dicho para diques verticales. La máxima socavación se produce cuando el dique está situado a la profundidad relativa, $h/h_b = 0.5$, sien-

PROBLEMAS SEDIMENTARIOS DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS

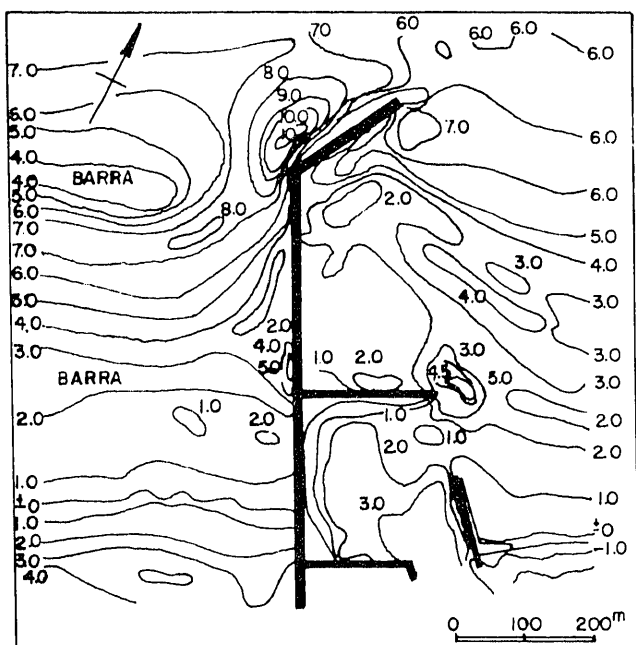


Fig. 10 - Puerto de Nigata

do h la profundidad al pie del dique y h_0 la profundidad de rotura si el dique no existiese.

C) Conservación de las playas próximas.

Vista la experiencia de los puertos deportivos existentes en la actualidad, muchos pueden pensar en la incompatibilidad entre este tipo de obras y las playas próximas. Y en una buena parte no les falta razón ya que las obras exteriores de una instalación náutica, proyectadas y construidas con el único objeto de cumplir la misión de proporcionar abrigo; constituyen, en muchos casos, un factor que desequilibra notablemente la dinámica natural existente en el entorno costero. La toma de conciencia de los conflictos causados en el pasado reciente hace que, hoy día, el proyecto de un puerto o dársena deportiva considere, de forma importante, las modificaciones previsibles sobre dicho entorno y dedique una parte de su presupuesto a la corrección de las mismas.

El litoral se puede considerar dividido en una serie de unidades fisiográficas. Se define unidad fisiográfica como aquel segmento de costa que recibe acciones del mar bajo las mismas características particulares y que es cerrado respecto de la dinámica sedimentaria. Dentro de cada una de estas unidades existirán las fuentes y drenes que proporcionan entradas y salidas al sedimento.

Un puerto deportivo estará, inevitablemente, situado en una de estas unidades autónomas. Por tanto representará en mayor o menor medida un nuevo factor que alterará el funcionamiento sedimentario de la unidad.

Sin entrar en un estudio y análisis de los conceptos de «transporte sólido bruto-neto» y «balance de sedimentos», para el que se remite al lector a la publicación del Laboratorio de Puertos, «Ingeniería de Costas», se puede afirmar de una forma general, que una instalación portuaria constituye un dren retenedor de parte del sedimento existente en la zona costera. Dependiendo de las características del oleaje incidente y de sus direcciones de abordaje predominantes las obras exteriores propias del puerto dan lugar a una redistribución más o menos acusada, de las arenas de las playas existentes en sus proximidades.

Los casos más característicos, y también más frecuentes, son aquéllos en los que, durante el año medio, existe una corriente de arena a lo largo de la playa en un sentido determinado, motivada por la persistencia o predominio de oleaje de componente direccional favorable. En este supuesto se da origen, por el lado de barlovento, a una playa apoyada en el dique de mayor o menor entidad dependiendo del tipo de transporte, de su magnitud y de las características físicas de la playa y de las obras.

En todos los casos se observa, no obstante, una erosión acusada en la zona de playa a sotavento del puerto. Esta erosión que, en un principio, está localizada a una distancia de unos centenas de metros del arranque del dique de sotavento se va extendiendo paulatinamente aguas abajo hasta aproximarse al extremo de la unidad fisiográfica, o al menos hasta las proximidades de la fuente de sedimentos más cercana, donde al efecto de retroceso de la línea de playa se hace menos palpable.

En España existen abundantes ejemplos de erosión de las zonas a sotavento de puertos espigones u otras obras. El puerto deportivo de Arenys de Mar (Barcelona) ejerce un efecto de barrera sobre la corriente de arenas que desde el delta del Tordera fluye hacia el sur. La costa a sotavento ha quedado muy erosionada y este mal ha sido incrementado por la defensa longitudinal del ferrocarril que en un gran tramo corre paralelo a la costa. El óvalo valenciano, dado el carácter rectilíneo de sus playas, es muy sensible a las interferencias causadas por obras artificiales y acusa notablemente sus efectos. Los puertos comerciales del Gao de Castellón, Sagunto, Valencia y Gandía así como los deportivos de Puebla de Farnals y Alboraya dan pruebas de la existencia de una dinámica litoral alterada.

La Marina de Cabo Pino (Málaga) de reciente construcción ha estado sometida en el pasado año a los efectos de los muy frecuentes oleajes de Poniente. La variación de las líneas batimétricas puede dar una idea de la intensa modificación de las condiciones de equilibrio que ha introducido la construcción de las obras exteriores (figura

PROBLEMAS SEDIMENTARIOS DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS

8). Sin embargo no todo el perjuicio ocasionado al litoral cercano debe achacarse a la propia marina. La captación de aguas de los arroyos, el aprovechamiento para la construcción y obras públicas de los áridos de sus cauces y la extinción práctica de las reservas de arena de las playas debido a la urbanización del suelo son causas que vienen, en los últimos años, favoreciendo la paulatina regresión de las playas cercanas. En el balance de sedimentos de la zona existe, entonces, un déficit de aportación que explica la recesión general.

Sirva este caso de aviso a las promotoras y organismos públicos y privados que pretenden la conservación de sus playas por medios artificiales sofisticados y onerosos, habiendo anulado previamente las fuentes naturales de recursos necesarias para el equilibrio de esas playas, con una incontrolada acción urbanizadora.

Análisis aparte merecen, también, los efectos producidos por los denominados puertos-isla.

Como se dijo en el apartado 1 de este artículo las acciones activas generadas por las estructuras de abrigo del puerto provocan, en mayor o menor grado la formación de un hemitómbolo o tómbolo completo, cuya desaparición natural puede ser solamente parcial; de acuerdo con las teo-

rias de C. Garau, basadas en la adaptación de las curvas logarítmicas a las formas en planta correspondientes al vaciado máximo.

El sedimento necesario para la formación del hemitómbolo proviene de las zonas playeras próximas, a ambos lados del puerto transportado por el oleaje incidente y las corrientes generadas. La detención del material sedimentario en la zona a sotavento del puerto-isla no se debe al efecto barrera ya que éste, al ser el pantalán transparente, casi no existe sino, más bien, a la diferencia de capacidad de transporte por el oleaje en las zonas protegida y expuesta.

Los puertos deportivos de Comarruga (Tarragona) y Segur de Calafell (Tarragona) son dos ejemplos de este tipo de instalaciones y aunque de construcción reciente ya se aprecian de forma notable los efectos mencionados (figura 11 y 12).

Las dimensiones de los hemitómbolos varían con las características de los estados de la mar. Tras los fuertes temporales se ha podido constatar un retroceso de la línea de orilla y una rigidización de los taludes en la playa sumergida, mientras que durante las calmas y marejadillas los márgenes han ido avanzando hasta aproximarse a la zona de atraques. Asimismo, se ha observado, frecuentemente, la existencia de una

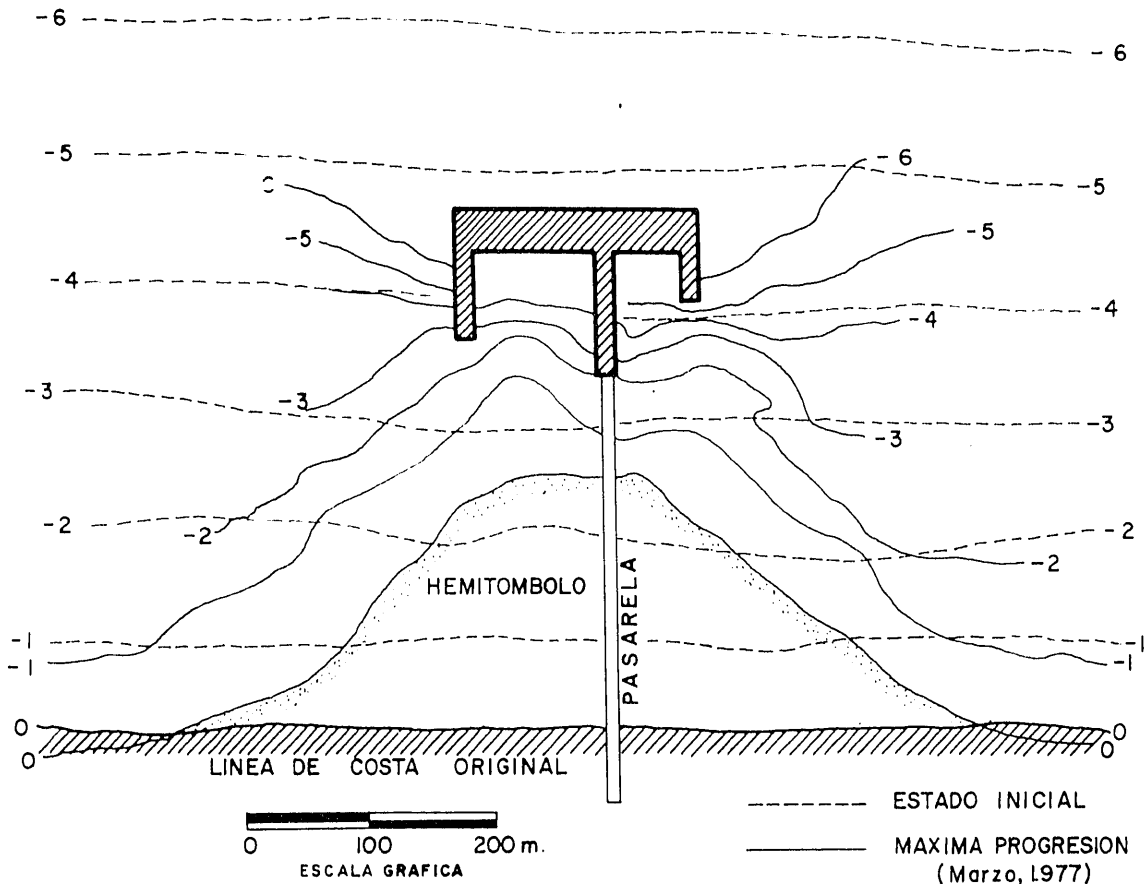


Fig. 11 - Puerto Isla de Comarruga

PROBLEMAS SEDIMENTARIOS DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS

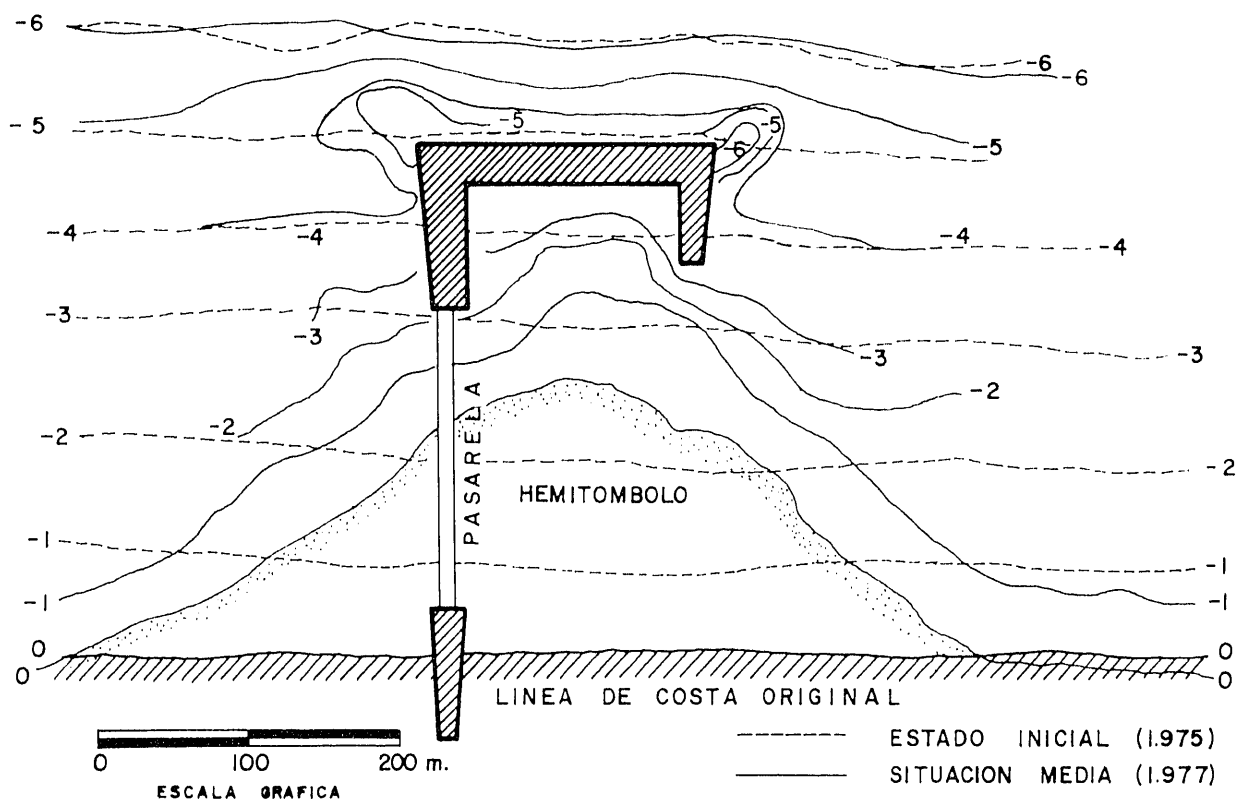


Fig. 12 - Puerto-isla de Segor de Calafell

fuerte corriente entre la punta del hemitómbolo y la estructura firme del puerto, creando un canal de 2 a 3 metros de profundidad.

Respecto a los tres tipos de problema causados por los sedimentos, en estos casos, revisten las siguientes características peculiares:

- La situación provisional, dado que ambos puertos están en 1.ª fase de construcción, de la bocana a sotavento del dique de abrigo y sin protección por el lado de la orilla está expuesta a frecuentes aterramientos por avance del hemitómbolo.

En Comarruga, el canal de acceso a la dársena mayor ha llegado en ocasiones (marzo 1977) a tener una anchura practicable de 10 m. con calado 1,5 m.

En Segur de Calafell la parte sumergida del hemitómbolo ha cerrado el acceso a algunas dársenas con calados de 0,4 m.

- El avance de las líneas batimétricas en su entorno provoca la rotura de las olas en la ruta de acceso al puerto con el consiguiente peligro para las embarcaciones.

— Los problemas derivados de la erosión de fondos y socavación al pie de los diques son los normales respecto a otros tipos de puertos. Las mayores profundidades alcanzadas por el dique exterior quizá contribuya a disminuir la **intensidad** de la erosión, según las conclusiones de los investigadores japoneses, si bien todavía éste punto está por contrastar con resultados reales. En los cambios bruscos de alineación en el dique de Segur de Calafell se ha producido una considerable erosión localizada. También en Comarruga se ha apreciado una depresión de los fondos alrededor de la obra exterior, sobre todo en el lado de Levante.

- La progresión de los hemitómbolos, parece que ha ido acompañada de un lento retroceso de las rectilíneas playas que rodean ambos puertos.

3. CRITERIOS GENERALES DE LOCALIZACION

Lejos de tratar de dar soluciones particulares a cada tipo de problema se va, únicamente, a reseñar algunos criterios fundamentales de utilidad

PROBLEMAS SEDIMENTARIOS DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS

en el momento de la localización y diseño de una instalación deportiva. (Hay que hacer notar que si bien durante este artículo se ha orientado el tema hacia los puertos deportivos, todas las consideraciones se pueden extender a todos los tipos de instalaciones portuarias para embarcaciones pequeñas como pesqueros, etc...)

En el conjunto del problema se han integrado dos elementos, puerto y playa, cuyo comportamiento parece contradictorio respecto del problema sedimentario, ya que mientras en uno la abundancia de arena puede ocasionar aterramientos nocivos, en el otro la escasez de alimentación produce efectos erosivos igualmente desastrosos. Por ello es necesario, como primera medida en la concepción de una obra exterior, establecer un balance del sedimento en la unidad fisiográfica donde se pretende ubicar. Este balance ha de comprender la determinación y aproximada cuantificación de las fuentes y drenes de sedimento así como de la capacidad de transporte litoral teórica y efectiva. Una vez analizado el mecanismo que rige la dinámica sedimentaria y contrapesado con los restantes condicionamientos técnicos, el proyectista podrá tener una idea general de las posibles ventajas e inconvenientes de las posibles alternativas de localización y de las actuaciones de corrección o protección más adecuadas.

La situación óptima de un puerto, respecto de la acción sedimentaria, sería aquella que coincidiese con un punto nodal divergente del transporte sólido, es decir, la zona en la que la corriente de sedimento se aleja hacia ambos lados. Este punto nodal divergente coincide, en ocasiones, con los puntos de separación de unidades fisiográficas anejas. Se comprende que en este caso la influencia de las obras exteriores sobre el movimiento de las arenas, es mínima.

Un punto nodal convergente de la corriente de transporte sería una localización adecuada a efectos de conservación de las playas vecinas pero inadecuada a efectos de conservación de calados en las vías de acceso a la dársena.

Bruun, entre otras, ofrece las siguientes recomendaciones a la hora de localizar el puerto:

- El puerto no deberá situarse aguas abajo (en el sentido de la corriente sólida) de una fuente de sedimento como puede ser un río o una playa en franca erosión. Por el contrario, será aconsejable situarlo aguas arriba.
- En costas cóncavas que se curvan en contra del vector resultante de la energía del oleaje con-

viene situar el puerto, bien lo más aguas arriba del punto de mayor transporte (aproxim. cuya tangente forme 40° - 60° con el vector de la energía) que sea posible o bien lo más alejado aguas abajo de dicho punto.

- El lado de sotavento de un cabo o saliente natural puede ser buen lugar para localizar el puerto si el sedimento del fondo está constituido por arenas muy gruesas o gravas. Aun así hay que vigilar la posible formación de bajos. Si el material de fondo son arenas finas la situación no es recomendable ya que la formación de bajos es muy frecuente con los consiguientes problemas por aterramiento.
- El lado de aguas arriba de los cabos o salientes obliga a ejercer una labor de remoción o by-pass artificial con la arena acumulada.
- Es preferible la localización de un puerto en zonas donde el segmento tenga mayor tamaño.

Para casos de localización de puertos deportivos en unidades fisiográficas pequeñas o playas encajadas de reducidas dimensiones, J.P. Lepetit aconseja disponer las obras exteriores del puerto de tal forma que sus alineaciones sean convergentes y comprendan el ángulo del sector direccional de proveniencia de los oleajes más representativos. De esta forma queda equilibrada la acción del oleaje sobre el resto de playa no encerrada por los diques y no se producen movimientos de oscilación de su forma en planta.

Tanto éstas como todas las demás recomendaciones que, «a priori», se puedan hacer sobre la localización técnicamente idónea de un puerto deportivo, se vuelve a recordar, tendrán que ser filtradas a través de los condicionamientos a que obligan las características particulares de cada caso. Por lo tanto, se insiste en la conveniencia del análisis, previo, y particular, de todos los factores que den una idea, por lo menos aproximada, de la dinámica de la zona de costa en cuestión y del balance de sedimentos en la misma, antes y después de la construcción del posible puerto. Si, en base, a los datos existentes no se pudiera conseguir conclusión fiable alguna, es recomendable acudir al ensayo en modelo reducido de fondo móvil que llevará necesariamente una campaña previa de toma de datos con el fin de conseguir una reproducción válida del problema. Este ensayo será totalmente necesario en el caso de que se considere probable que las obras del futuro puerto puedan alterar las condiciones de equilibrio de playas o zonas que por su gran valor social y estático sean de interés primordial.

PROBLEMAS SEDIMENTARIOS DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS

BIBLIOGRAFIA

- BERTLIN, D. P. et al.: «Marinas», edited by N. B. Webber.
- BRUUN, P.: Paper of the XXIII rd International Navigation Congress. Ottawa 1973.
- DEL MORAL, P.: «Ingeniería de Costas». Publicación del Laboratorio de Puertos «Ramón Iribarren». Abril, 1978.
- GARAU, C.: «Aplicación de los 'planos de oleaje' al estudio de los movimientos de arenas». *Revista de Obras Públicas*.
- HOTTA, S. and MARUI, N.: «Local Scour and Current around Porous Breakwaters». Abstracts of Paper of Fifteenth Coastal Engineering Conference. July, 1976.
- LEPETIT, J.P.: «Yacht-Ports impact on beaches». Abstracts of Papers of Fifteenth Coastal Engineering Conference. July 1976.
- SATO, S. and IRIE, I.: «Variation of Topography of seabed caused by the construction of breakwaters». Proceeding of the Twelfth Coastal Engineering Conference. September, 1970.
- SATO, S. and TANAKA, N.: «Study on scouring at the foot of coastal structures». Proceedings of Eleventh Conference on Coastal Engineering. September, 1968.
- SAWARAGI, T.: «Scouring due to wave action at the foot of permeable coastal structure». Proceedings of Tenth Conference on Coastal Engineering. September, 1966.
- TANAKA, N. and SATO, S.: «Topography change resulted from the construction of harbour on sandy beach: Kashima port». Abstracts of Papers of Fifteenth Coastal Engineering Conference. July, 1976.