

Parámetros geométricos de diques exentos en el litoral catalán

L. BRICIO GARBERÍ (*), V. NEGRO VALDECANTOS (**) y J.J. DIEZ GONZÁLEZ (***)

RESUMEN La erosión de un gran número de playas y la evidente degradación ambiental de muchos tramos costeros, son problemas a los que los Ingenieros de Costas dedican hoy en día su actividad en busca de soluciones. Con este fin, se han venido utilizando diferentes métodos de protección, basados la mayoría en la regeneración artificial de playas y en la construcción de obras costeras, como espigones y diques exentos. Los diques exentos son estructuras, paralelas generalmente a la costa, que protegen de la acción del oleaje un determinado tramo, y que son capaces de crear zonas de acreción en ella. El estudio llevado a cabo para la realización de la investigación que aquí se presenta se ha centrado en este tipo de obras, con el fin dar una visión global de estado del arte en este campo. Además, se han investigado los efectos producidos en la costa por un conjunto de casos existentes en el litoral mediterráneo español, y se ha comprobado para todos ellos el cumplimiento, o no, de las relaciones empíricas dadas por diferentes autores para la clasificación del tipo de respuesta inducida. Como resultado de la investigación se pone de manifiesto la sensibilidad del efecto producido en la costa por un dique exento al valor del ratio B/X , que describe la relación entre la longitud de la estructura (B) y la distancia de ésta a la línea inicial de orilla (X), así como la dispersión de los valores propuestos por los distintos autores para clasificar la respuesta de la costa en función de este monomio adimensional.

GEOMETRIC DETACHED BREAKWATER INDICATORS ON THE CATALONIAN COASTLINE

ABSTRACT *Environmental degradation of many coastlines and beach erosion in some areas have become evident, and are serious enough to induce Coastal Engineers to dedicate their activity to the search of solutions. With this in mind, different protection methods have been used, mostly based on artificial nourishment and building coastal structures like groynes and detached breakwaters. Detached breakwaters are structures generally parallel to the coastline, protecting a certain stretch from wave action and being able to create accretion areas.*

The study undertaken for this research centres on this type of structure, with the purpose of providing an overall view of the state-of-the-art in this field. In addition, the effects of a detached breakwater on the shoreline for a series of real cases on the Mediterranean Spanish coastline were researched, and the fulfilment of different empirical relations for classifying the type of shoreline response to a detached breakwater were checked on the studied cases. The result of this work shows how sensitive the shore's response is in relation to the ratio B/X , which describes the relationship between the length of the detached breakwater (B) and its distance to the coastline (X), and the range of figures proposed for classifying the shore's response based on that non-dimensional monomial.

Palabras clave: Dique exento, Tómbolo, Saliente, Hemitómbolo.

1. INTRODUCCIÓN

La costa constituye una estrecha franja sometida a grandes desequilibrios; en muchos puntos se encuentra en profundo estado de regresión, como consecuencia de múltiples y variadas causas: oleaje, mareas y corrientes; extracción masiva de áridos y construcción de obras marítimas que interrumpen el transporte de sedimentos; subida del nivel medio del mar; desarrollo de las áreas costeras y urbanismo masivo en la zona activa de las playas; obras de regulación fluvial... Todo ello

provoca la degradación ambiental y paisajística del litoral y, en particular, la erosión de un gran número de playas.

Esta situación precaria del litoral constituye, hoy en día, un serio y preocupante problema, al que los Ingenieros de Costas, sensibilizados con el problema de erosión generalizada de las playas, dedican su actividad, en busca de soluciones que garanticen la estabilidad de la costa. Con este fin se han venido utilizando, a lo largo del tiempo, diferentes métodos de protección, basados la mayoría en la regeneración artificial de playas y en la construcción de estructuras, de entre las que hay que destacar los diques exentos por ser capaces de crear zonas de acreción en la costa. (DIEZ, 2003).

Aunque el uso de diques exentos no es tan popular como el de espigones, y los efectos obtenidos con ellos han sido diversos, lo cierto es que su efectividad en el control de la erosión costera ha quedado demostrada tras los exitosos resultados obtenidos en diversos lugares del mundo. Entre 1962 y 1981 se construyeron más de 2100 diques exentos en Japón, dato indicativo de la importante tendencia existente en

(*) Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Doctoranda. Universidad Politécnica de Madrid.

(**) Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Profesor Titular de Universidad (Puertos). Universidad Politécnica de Madrid.

(***) Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Catedrático (Oceografía). Universidad Politécnica de Madrid.

este país a usar este tipo de estructuras para la protección y estabilización de playas. Otros países en los que también se han construido diques exentos son: Australia, EE.UU., España, Israel, Italia... (HERBICH, 2000).

Este es el marco en el que se encuadra la motivación de la investigación que aquí se presenta y cuyos objetivos han sido, en primer lugar, el de dar una visión global del estado del arte en materia de diques exentos, y en segundo lugar, el de analizar el efecto producido en la costa por un conjunto de diques y sistemas de diques exentos seleccionados como prototipos de entre los existentes en el litoral español, y comprobar si en ellos se verifican o no, las relaciones empíricas dadas por diferentes autores para la clasificación del tipo de respuesta de la costa tras la construcción de una obra exenta.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. ASPECTOS GENERALES

Los diques exentos son obras marítimas exteriores, aisladas y sensiblemente paralelas a la línea de costa, que se construyen a una cierta distancia de la orilla, y que protegen de la acción del oleaje una determinada zona del litoral, reduciendo la cantidad de energía que penetra en ella. Se trata de estructuras artificiales inspiradas en el funcionamiento de formaciones naturales tales como arrecifes, barras o islas próximas a la orilla, que constituyen singularidades dinámicas costeras (Figura 1). La reducción de oleaje en el área protegida por el dique exento provoca importantes alteraciones en el transporte litoral de sedimentos e induce la deposición de materiales y su acumulación en dicha zona a resguardo de la estructura. Si la cantidad de material depositado es suficiente, tendrá lugar la formación de una punta de arena o saliente, que puede llegar a desarrollarse hasta el punto de alcanzar la estructura, recibiendo en tal caso el nombre de tómbolo. (SUAREZ BORES, 1978).

Esta capacidad de crear zonas de acreción en la costa, buscando no interrumpir completamente la continuidad del flujo longitudinal de sedimentos (salvo cuando tiene lugar la formación de un tómbolo), es lo que, desde el punto de vista de la dinámica litoral, hace más ventajosa la construcción de diques exentos para la protección y estabilización de playas, frente a otro tipo de obras, como por ejemplo los muros (*sea-walls*), que sólo pueden garantizar el mantenimiento de la línea de costa en una determinada posición, pero no evitan la erosión de la playa que está frente a ellos, o los espigones, que sí pueden crear zonas de acreción pero constituyendo barreras al transporte litoral, lo cual provoca importantes impactos en las playas situadas en los tramos aguas abajo del espigón por reducción del aporte sedimentario.

El tiempo necesario para que la costa alcance de nuevo el equilibrio tras la construcción de un dique exento depende de las características de la obra y de las condiciones locales en lo que a clima marítimo y disponibilidad de sedimentos se refiere, si bien en 1982, Nir afirmó, basándose en observaciones de casos reales, que la mayoría de los tómbolos acumulan la mitad de su volumen final en un período de uno a dos años, mientras que el estado final de equilibrio se alcanza unos cinco o seis años después de la construcción del dique exento, y que el saliente o tómbolo formado puede ocupar de un 25% a un 75% del área protegida. De aquí se deduce que el ratio de acumulación de arena es mucho mayor en los primeros años tras la construcción de la estructura que en una segunda etapa. Transcurrido el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio, el sistema permanece relativamente estable, quedando poco o moderadamente afectado por variaciones estacionales o a cambios ocasionales debidos a temporales u otros sucesos no habituales. Estos resultados fueron corroborados por Herbich en 1989. (NIR, 1982; HERBICH, 1989).

Cabe añadir que los diques exentos se pueden construir aisladamente o constituyendo sistemas de estructuras en serie, en función de la longitud del tramo de costa que se quiera



FIGURA 1. Playa de Blanes
(T.M. de Blanes, Gerona).
Fuente: Archivo de la D.G.C.,
2001.

proteger: un único dique exento se utiliza para proteger una zona muy localizada, de dimensiones relativamente reducidas, mientras que un sistema de diques exentos es necesario cuando la longitud del tramo de costa a proteger es extensa.

2.2. OBJETIVOS FUNCIONALES. VENTAJAS E INCONVENIENTES

El objetivo fundamental de un dique exento es la protección de un determinado tramo de costa de la acción del oleaje. Esta protección puede permitir la disminución, o incluso total supresión, de la tendencia erosiva de una playa, no sólo evitando la pérdida de arena sino favoreciendo la acumulación de material sedimentario. En consecuencia, los diques exentos son utilizados como método de protección de costas con diferentes fines:

- Reducir la energía del oleaje incidente en un determinado tramo de costa, favoreciendo el uso y disfrute del mismo.
- Salvaguardar una playa frente a la acción de temporales, garantizando su ancho y resguardando del agua todas las instalaciones que puedan existir en la trasplaya.
- Evitar, frenar o retardar la erosión de una playa.
- Favorecer la sedimentación natural de arenas con el fin de inducir el desarrollo de una playa ya existente incrementando su ancho, o la formación de una nueva.
- Incrementar la durabilidad de las aportaciones artificiales de arena en actuaciones de regeneración de playas.

Sin embargo, los diques exentos presentan una serie de desventajas que han de ser tenidas en cuenta al evaluar la conveniencia de su utilización; éstos son:

- Su relativo alto coste de implantación y los elevados costes de mantenimiento, crecientes con la profundidad y la distancia de la estructura a la costa.
- El peligro que entrañan para los usuarios de las playas por la formación de fuertes corrientes en el área de baños, y en sí mismos por el posible acceso de los usuarios a la estructura, bien a pie si ha tenido lugar la formación de un tómbolo, o bien porque la proximidad de la obra a la costa les permita acceder fácilmente a nado.
- El perjuicio para algunos usuarios de las playas debido a la pérdida de un tramo de costa para la práctica de actividades náuticas tales como el surf o la navegación con pequeñas embarcaciones de recreo.
- La afección a playas adyacentes, fundamentalmente las situadas aguas abajo del dique exento en el sentido del flujo longitudinal del transporte litoral, por reducirse las tasas de aportación de material sedimentario en ellas.
- Perjuicios estéticos debido a la interrupción de la vista del horizonte si la cota de coronación de la estructura es elevada.
- Las incertidumbres que, aún hoy, existen en el diseño de un dique o sistema de diques exentos, fundamentalmente en lo referente a garantizar una determinada respuesta de la costa.

Con el fin de mejorar la funcionalidad de los diques exentos y su utilización como elementos de protección de costas, solventando los inconvenientes que éstos presentan, están abiertos diferentes frentes de investigación orientados al estudio de los procesos y fenómenos asociados a la construcción de obras exentas, de la influencia de los diferentes parámetros que los condicionan, y de los efectos que este tipo de obras marítimas inducen en la costa.

2.3. HIDRODINÁMICA EN EL ENTORNO DE UN DIQUE EXENTO

Los diques exentos inducen cambios en la hidrodinámica costera que afectan directamente a las corrientes litorales y al transporte sólido. A su alrededor tienen lugar múltiples procesos que interactúan entre sí y originan flujos de agua y de sedimentos de gran importancia, que constituyen el mecanismo dominante desde el punto de vista de la respuesta morfológica de la costa ante la presencia de este tipo de obras en el litoral.

Tras la construcción de un dique exento se genera un área protegida de la acción directa del oleaje; una zona en la que el oleaje es transformado, fundamentalmente por difracción en los morros del dique exento y por transmisión a través y por encima de la estructura, en la que las alturas de ola y las velocidades de las corrientes se ven significativamente reducidas, y en la que, por tanto, es depositado parte del material sedimentario transportado.

Si el dique exento se sitúa a gran distancia de la costa, puede ocurrir que la sombra ofrecida por la obra frente a la acción del oleaje no recaiga sobre ella y, por tanto, que el efecto que se consiga en la orilla sea prácticamente nulo. Esto depende del mayor o menor efecto que el dique exento tenga sobre el transporte litoral de sedimentos, tanto directamente, por su presencia en sí, como por los fenómenos de difracción y transmisión que la estructura provoca:

- Indudablemente, la presencia de un dique exento constituye una barrera para el transporte transversal de sedimentos, tanto en sentido *onshore*, interrumpiendo la entrada frontal de arena en el área protegida, como *offshore*, evitando la salida del material sedimentario que arrastran las corrientes de retorno.

En lo referente a la influencia directa sobre el transporte longitudinal de sedimentos, lo que el dique exento provoca es la disminución de la capacidad de transporte en el interior del área protegida al reducirse las alturas de ola en dicha zona.

Hay que señalar que la ubicación del dique exento con respecto a la zona de rotura del oleaje es importante ya que si la obra se sitúa más cerca de la costa de lo que se encuentra la línea de rompientes, parte del transporte longitudinal de sedimentos pasa por detrás de ella. Esto puede ser deseable si lo que se pretende es favorecer la llegada de sedimentos a tramos de costa situados aguas abajo del que se quiere proteger.

- Por otra parte, al incidir el oleaje sobre un dique exento, éste se difracta en los morros de la estructura y parte de la energía es transferida detrás de él. (SUAREZ BORES, 1978).

La difracción implica un cambio en la dirección de propagación del oleaje, ya que los frentes de ondas giran alrededor de los extremos de la estructura, adoptando una forma curva, que puede aproximarse a la de círculos con centro en cada uno de los morros del dique. Dado que al ascender las olas por el estrán de la playa éstas siguen la dirección de propagación del oleaje, pero siempre descienden por la línea de máxima pendiente, las corrientes de avance y de retroceso del oleaje sobre el perfil de playa en el interior del área protegida por el dique exento describen un claro movimiento en zig-zag, que provoca el arrastre neto de las partículas sedimentarias hacia el centro del área en sombra. Este movimiento da lugar, poco a poco, a la variación de la forma en planta de la línea de orilla, que tiende a disponerse paralela a los frentes de onda difractados. (MING y CHEW, 2000).

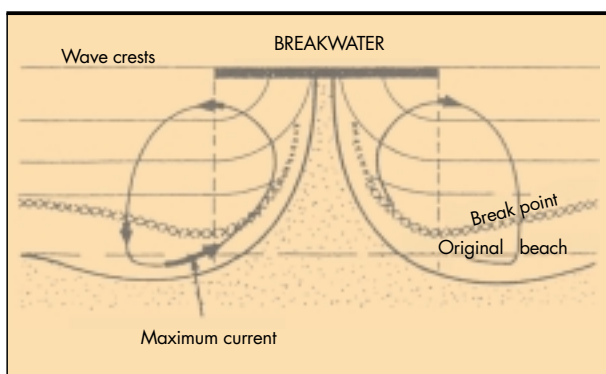


FIGURA 2. Sistemas cerrados de corrientes formados por la difracción del oleaje en los extremos de un dique exento. Fuente: Gourlay (1981).

La difracción también provoca la reducción de la altura de ola a lo largo de los frentes de onda difractados. Esto supone la existencia de unos gradientes de sobreelevación dinámica del nivel del mar (*set-up*) en el interior del área protegida, dirigidos desde cada uno de los extremos de la misma hacia la zona central, que inducen la formación de dos corrientes longitudinales enfrentadas, o corrientes de Iribarren (SUAREZ BORES, 1978), las cuales arrastran sedimentos hacia el interior del área protegida, que se depositan cuando ven reducidas sus velocidades. Estas corrientes forman parte, en realidad, de dos sistemas cerrados de corrientes no uniformes, que giran en sentido opuesto, y se localizan en la franja comprendida entre el dique exento y la costa (Figura 2). (GOURLAY, 1981).

Los sistemas de corrientes formados contribuyen a moldear la forma en planta de la playa al abrigo de un dique exento, ya que arrastran material desde el exterior hacia el interior del área protegida, por ambos lados, provocando la acumulación de material sedimentario en la zona de encuentro de ambas corrientes giratorias.

Si la cantidad de arena transportada y depositada en el interior del área protegida es suficiente, la respuesta de la costa ante la presencia de un dique exento se irá haciendo cada vez más evidente al acumularse el sedimento para formar un saliente, que será más o menos simétrico respecto al eje de simetría del exento, dependiendo de la simetría de los sistemas de corrientes formados, la cual depende a su vez de los patrones de difracción del oleaje incidente y, en primera instancia, de la desviación que la dirección predominante del oleaje local existente con respecto a la normal a dicho dique exento.

Además de las corrientes descritas, la intersección en el centro del área protegida de los frentes de oleaje difractados en cada uno de los morros del dique exento, da lugar a una corriente resultante dirigida perpendicularmente hacia la costa y opuesta al crecimiento del saliente, que juega un papel importante en el desarrollo del mismo. (MING y CHIEW, 2000).

- Finalmente hay que añadir que la transmisión de energía en un dique exento, que se produce tanto por encima de la estructura (debido a los fenómenos de remonte y rebase) como a través de ella (debido a su permeabilidad), es uno de los principales factores respon-

sables de los cambios en la línea de costa como consecuencia de su influencia en el efecto provocado por la difracción en los morros del dique, el cual disminuye (HANSON y KRAUS, 1991). Así, cuanto mayor es la cantidad de energía transmitida, menor es la diferencia entre las alturas de ola fuera de la zona protegida y dentro de ella, disminuyendo por tanto el efecto de la difracción, el transporte por gradiente de sobreelevación y, en definitiva, la cantidad de arena transportada hacia el interior del área en sombra. Si a esto se suma que el oleaje que rebasa la estructura da lugar a unos flujos divergentes de agua, que se dirigen hacia fuera del área protegida para conservar la masa de agua en su interior y que generan un transporte de sedimentos hacia el exterior, se tiene que cuanto mayor es la transmisión de energía en un dique exento, menor es el efecto producido en la costa porque tiende a reducirse la acumulación de arena en el área resguardada.

Además, como la transmisión del oleaje depende de la configuración (geometría) y composición (permeabilidad) de la estructura, y puede cambiar significativamente en distintas escalas de tiempo en función de la marea y del estado del mar, se puede afirmar que la respuesta de la costa tras un dique exento es muy sensible a las variaciones temporales de los agentes actuantes (oleaje y mareas). (WAMSLEY *et al.*, 2003).

2.4. RESPUESTA DE LA COSTA

Los cambios morfológicos que tienen lugar en un tramo de costa tras la construcción de un dique exento constituyen la respuesta del litoral a la alteración de las condiciones de contorno del tramo en cuestión, de la hidrodinámica local y de los patrones de transporte.

En el área protegida de la acción del oleaje por la presencia del dique o sistema de diques exentos, tiende a acumularse parte del material sedimentario transportado por el flujo litoral. Dependiendo de la cantidad de sedimentos captados y depositados en dicha zona, los cambios que experimenta la línea de orilla son más o menos acusados; así, la respuesta de la costa puede clasificarse en: tómbolo, saliente o hemitómbolo (SUAREZ BORES, 1978) y punta de arena, si el efecto es limitado o prácticamente nulo (Figura 3). El tipo de respuesta depende, básicamente, de la cantidad de energía que penetra en el área en sombra.

Cabe destacar que investigaciones llevadas a cabo recientemente en el campo de los diques exentos sumergidos, han puesto de manifiesto que no siempre los cambios morfológicos experimentados en el litoral son acumulativos (como ocurre con los diques emergidos), sino que la respuesta de la costa puede ser también erosiva, en función de la distancia de la estructura a la orilla. (RANASINGHE y TURNER, 2004; SANCHEZ-ARCILLA *et al.*, 2004).

Los efectos producidos en la costa por un dique exento están condicionados por un gran número de factores que se pueden clasificar conforme a su naturaleza: puede hablarse de parámetros relativos al clima marítimo local o al oleaje, que es el agente actuante (altura de ola, periodo y dirección), de parámetros relacionados con el dique (sus características geométricas –distancia del dique a la línea de costa, longitud, cota de coronación...–, y estructurales –permeabilidad del dique–), y de aspectos concernientes al material sedimentario (transporte real de sedimentos y características sedimentológicas –densidad y diámetro medio nominal–).



FIGURA 3. Ejemplos de saliente y tómbolo formados en la Playa de La Llosa (T.M. de Cambrils, Tarragona). Fuente: Archivo de la D.G.C., 2001.

2.5. ESTUDIO Y DISEÑO DE DIQUES EXENTOS

El estudio de la influencia en la costa de un dique o sistema de diques exentos está basado en la observación y comprensión de los fenómenos que tienen lugar tras su construcción mediante el análisis de casos existentes en diferentes lugares del mundo, que se convierten en prototipos para el diseño posterior de estructuras, o mediante ensayos con modelos físicos realizados en laboratorio o modelos numéricos, los cuales constituyen herramientas que permiten simular casos reales o hipotéticos, y estudiar de forma aislada la influencia de cada uno de los parámetros que condicionan la respuesta de la costa frente a un dique exento.

Debido al todavía incompleto conocimiento de los fenómenos que tienen lugar y a la multitud de factores que entran en juego, el diseño de un dique exento o de un sistema se caracteriza por su complejidad y por la imposibilidad de predecir y cuantificar, con cierto nivel de garantía, el cambio que se producirá en la línea de orilla. Por ello, en los últimos años, un gran número de trabajos de investigación se han centrado en la búsqueda de relaciones empíricas entre parámetros que condicionen la respuesta de la costa, con el fin de poder desarrollar modelos analíticos que faciliten el proyecto de este tipo de obras.

Los modelos analíticos permiten análisis simples y rápidos, pero los resultados cuantitativos son aproximados; por eso sólo son válidos como método de predimensionamiento de estructuras.

En la Tabla 1 se citan algunos de los trabajos más destacados en el campo de los modelos analíticos de diques exentos. (BRICIO, 2005).

3. METODOLOGÍA

3.1. DIQUES EXENTOS ESTUDIADOS

Como se ha comentado, el objetivo de esta investigación es el de analizar la respuesta inducida en la costa por un con-

junto de diques exentos seleccionados de entre los existentes en el litoral español, y comprobar si en ellos se verifican las relaciones empíricas dadas por diferentes autores para la clasificación del tipo de respuesta de la costa ante la presencia de un dique o sistema de diques exentos.

Para ello se han escogido como prototipos las obras presentes en la fachada mediterránea noreste (Cataluña); un total de veintisiete unidades. De este modo, las condiciones climáticas a las que se encuentran sometidos los diques utilizados en la investigación son relativamente homogéneas. Éste es un aspecto importante a tener en cuenta dado que las características del clima marítimo influyen en la respuesta de la costa y, sin embargo, no son consideradas en las relaciones empíricas analizadas, que sólo tienen en cuenta la longitud del dique exento y su distancia a la línea inicial de costa.

Los diques exentos seleccionados para la investigación son los que se listan a continuación, en un recorrido de Norte a Sur por el litoral catalán (Figura 4):

1. Sistema de tres estructuras en la playa de San Antonio (Calonge, Gerona).
2. Dique exento en la playa de Terramar (Sitges, Barcelona).
3. Dique exento en la playa San Gervasio (Vilanova i la Geltrú, Barcelona).
4. Sistema de dos estructuras en la playa de Cubelles (Cubelles, Barcelona).
5. Sistema de tres estructuras en la playa Mota de Sant Pere (Cubelles, Barcelona).
6. Sistema de siete estructuras en la playa de Cunit (Cunit, Tarragona).
7. Dique exento en la playa de Altafulla (Altafulla, Tarragona).
8. Sistema de nueve estructuras en la playa de L'Ardiaca (Cambrils, Tarragona).

PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE DIQUES EXENTOS EN EL LITORAL CATALÁN

Autores	Año	Objeto	Comentarios
Inman y Frautschy	1966	- Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica).	- Datos de caso real (EE.UU.).
Toyoshima	1974	- Criterio de diseño geométrico de diques exentos mediante relaciones analíticas para la determinación de la longitud del dique, la distancia a la costa, la separación entre estructuras y la cota de coronación.	- Datos de casos reales japoneses. - Tiene en cuenta el tipo de playa y las características del oleaje (longitud de onda y altura de ola).
Noble	1978	- Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica).	- Datos de casos reales (EE.UU.).
Suárez Bores	1978	- Criterio conceptual de clasificación del tipo de respuesta de la costa (Clasificación Genética).	- Datos de casos reales (España).
Walker, Clark y Pope	1980	- Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa. ("Método de la Energía de Difracción").	- Datos de casos reales (EE.UU.). - Se considera la cantidad de energía que penetra en el interior de la zona protegida a partir de las isolíneas de difracción.
Gourlay	1981	- Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica).	- Datos de modelos físicos. - Apunta la importancia de la localización del dique con respecto a la zona surf.
Nir	1982	- Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica). - Determinación del espesor medio del depósito de arena.	- Datos de casos reales israelíes.
Rosen y Vajda	1982	- Criterio de diseño geométrico de diques exentos basado en relaciones gráficas para la determinación de la longitud y la distancia a la costa del dique exento en función de la respuesta esperada (saliente o tómbolo). - Características de la acumulación en caso de formación de tómbolo (anchura, área y volumen).	- Datos de modelos físicos + modelos numéricos + casos reales. - Se tiene en cuenta la ubicación relativa del dique exento con respecto a la línea de rompientes.
Hallermeier	1983	- Criterio de clasificación de la respuesta de la costa.	- Datos de modelos físicos + casos reales. - Tiene en cuenta la profundidad límite de la zona litoral.
Noda	1984	- Descripción general de la respuesta de la costa.	- Datos de modelos físicos. - Considera la ubicación relativa del dique exento con respecto a la línea de rompientes.
Shore Protection Manual	1984	- Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica).	- Datos de casos reales (EE.UU.).
Dally y Pope	1986	- Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica) para diques exentos aislados y sistemas de diques exentos.	- Datos de casos reales (EE.UU.).
Harris y Herbich	1986	- Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica). - Determinación del volumen de acreción.	- Datos de modelos físicos + casos reales.
Japanese Ministry of Construction (JMC)	1987	- Método iterativo para el diseño geométrico de diques o sistemas de diques exentos.	- Datos de casos reales japoneses. - El método considera: El tipo de playa. Las características del oleaje La profundidad de rompientes. Los resultados esperados.
Pope y Dean	1986	- Descripción general de la respuesta de la costa tras un sistema de diques exentos.	- Datos de casos reales (EE.UU.). - Consideran la profundidad a la que se encuentra ubicada la estructura.
Seiji, Uda y Tanaka	1987	- Criterio geométrico para la determinación de la existencia o no de erosión frente a los huecos entre diques consecutivos de un sistema de estructuras en serie. - Relación empírica básica para la formación del tómbolo de área máxima.	- Datos de casos reales japoneses.
Sonu y Warwar	1987	- Ley de la evolución temporal del volumen de arena acumulado en el área a resguardo de un dique exento.	- Datos de casos reales (EE.UU.).
Suh y Dalrymple	1987	- Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica). - Evaluación del saliente formado. - Determinación del volumen de acreción.	- Datos de modelo físico + casos reales. - Se tiene en cuenta la ubicación relativa del dique exento con respecto a la línea de rompientes para la evaluación del saliente formado.

TABLA 1. Resumen de los modelos analíticos más significativos desarrollados para estudiar la relación entre las características de un dique exento y los efectos inducidos en la costa.

PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE DIQUES EXENTOS EN EL LITORAL CATALÁN

Autores	Año	Objeto	Comentarios
Sunamura y Mizuno	1987	<ul style="list-style-type: none"> - Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica) tras arrecifes e islas. - Determinación del tramo de costa afectado por la presencia del obstáculo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de formaciones naturales.
Berenguer y Enríquez	1988	<ul style="list-style-type: none"> - Descripción general de la respuesta de la costa en el caso de "pocket beaches". 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de casos reales del litoral mediterráneo español.
Kraft y Herbich	1988	<ul style="list-style-type: none"> - Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica). 	<ul style="list-style-type: none"> - Determinación del volumen de acreción.
Ahrens y Cox	1990	<ul style="list-style-type: none"> - Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (índice de respuesta en función de relación empírica básica). 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de casos reales.
Hanson y Kraus	1990	<ul style="list-style-type: none"> - Criterio de clasificación del tipo de respuesta de la costa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de modelo numérico. - Se consideran: El coeficiente de transmisión del dique. Las características del oleaje. La profundidad del dique
Hsu y Silvester	1990	<ul style="list-style-type: none"> - Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa. - Definición de la forma en planta de las playas asociadas al saliente tras un dique exento. (Parábolas). 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de modelos físicos + modelos numéricos + casos reales.
Mangor <i>et al.</i>	1992	<ul style="list-style-type: none"> - Determinación del volumen de acreción. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de modelos físicos. - Se tiene en cuenta la distribución transversal del transporte sólido litoral en el perfil de playa.
Rosati, Gravens y Chasten	1992	<ul style="list-style-type: none"> - Criterio de clasificación del tipo de respuesta de la costa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de modelo numérico + casos reales. - Se consideran: el coeficiente de transmisión del dique, las características del oleaje y la profundidad del dique.
McCormick	1993	<ul style="list-style-type: none"> - Definición de la forma en planta de las playas asociadas al saliente tras un dique exento. (Elipses). 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de modelos físicos + modelos numéricos + casos reales.
Chen y Kuo	1994 1995	<ul style="list-style-type: none"> - Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica). - Determinación del volumen de acreción. - Determinación del área de acreción. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de modelos físicos. - La fórmula propuesta para la determinación del volumen de acreción es similar a la de Harris y Herbich (1986).
Johnson <i>et al.</i>	1995	<ul style="list-style-type: none"> - Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica). 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de modelo numérico.
'Zyserman <i>et al.</i>	1998	<ul style="list-style-type: none"> - Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica). - Determinación del volumen de acreción. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de modelo numérico. - El modelo de acreción es válido cualitativamente. Tiene en cuenta la relación entre parámetros geométricos del dique y el ancho de la zona <i>surf</i>.
Ming y Chiew	2000	<ul style="list-style-type: none"> - Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica). - Determinación del área de acreción. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de modelos físicos.
Black y Andrews	2001	<ul style="list-style-type: none"> - Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa (relación empírica básica) tras arrecifes e islas. - Evaluación del saliente formado. - Determinación del tramo de costa afectado por la presencia del obstáculo. - Definición de la forma en planta de las playas asociadas al saliente formado. (Sigmoides asimétricas). 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de formaciones naturales.
González y Medina	2001	<ul style="list-style-type: none"> - Criterio geométrico de clasificación del tipo de respuesta de la costa. - Evaluación del saliente formado. - Determinación del tramo de costa afectado por la presencia del obstáculo. - Definición de la forma en planta de las playas asociadas al saliente formado. (Parábolas). 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de modelos físicos + modelos numéricos + casos reales. - Su modelo se basa en el modelo parabólico de Hsu y Silvester (1990).
Zyserman y Johnson	2002	<ul style="list-style-type: none"> - Criterio de diseño geométrico de diques exentos de baja cota de coronación: Relaciones gráficas de validez cualitativa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de modelos numéricos. - Consideran la relación entre parámetros geométricos del dique y el ancho de la zona <i>surf</i>.
Ranasinghe y Turner	2004	<ul style="list-style-type: none"> - Clasificación de la respuesta de la costa (acreción/erosión) en el caso de diques sumergidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de modelos físicos + modelos numéricos.
De la Peña y Sánchez (CEDEX)	2006	<ul style="list-style-type: none"> - Inventario de diques exentos del litoral español. - Comprobación de su eficacia y adaptación a las teorías de predicción de los efectos sobre la costa utilizadas para su diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de casos reales (España).

TABLA 1 (Continuación). Resumen de los modelos analíticos más significativos desarrollados para estudiar la relación entre las características de un dique exento y los efectos inducidos en la costa.



Mapa de localización de los diques exentos considerados en la investigación.



Playa de San Antonio (Calonge, Gerona).



Playa de Terramar (Sitges, Barcelona).



Playa San Gervasio (Vilanova i la Geltrú, Barcelona).



Playa de Cubelles (Cubelles, Barcelona).



Playa Mota de Sant Pere (Cubelles, Barcelona).



Playa de Cunit (Cunit, Tarragona).



Playa de Altafulla (Altafulla, Tarragona).



Playa de L'Ardiaca (Cambrils, Tarragona).

FIGURA 4. Playas del litoral catalán donde se localizan los diques exentos seleccionados para la investigación.

Autor (año)	Doble Tómbolo $B/X > \dots$	Tómbolo $B/X > \dots$	Saliente $B/X < \dots$	Respuesta limitada $B/X < \dots$
Inman y Frautschy (1966)	-	-	-	0,33
Noble (1978)	-	-	-	0,17
Gourlay (1981)	2	0,8	0,5	-
Nir (1982)	-	-	-	0,5
SPM (1984)	-	2	1	-
Dally y Pope (1986)	-	1,5	1,5	0,5
Suh y Dalrymple (1987)*	-	1	1	-
Sunamura y Mizuno (1987)	-	0,67	0,67	0,28
Herbich (1989)	-	1	1	0,5
Hsu y Silvester (1990)	-	1,33	1,33	-
Ahrens y Cox (1990)	-	2,5	2,5	0,76

* Formulación no aplicable a sistemas de diques exentos

TABLA 2. Condiciones límite para la clasificación del tipo de respuesta de la costa tras un dique exento.

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS RELACIONES EMPÍRICAS ANALIZADAS

Las relaciones empíricas analizadas en este estudio son las que clasifican el tipo de respuesta de la costa en función del ratio entre las características geométricas básicas de los diques exentos: la longitud del dique (B) y la distancia de la estructura a la línea inicial de costa (X).

Estas relaciones empíricas básicas se esquematizan en la Tabla 2 mediante los valores límite que, para cada autor, separan un tipo de respuesta de otro (doble tómbolo, tómbolo, saliente y respuesta limitada o nula).

3.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS DATOS UTILIZADOS

Para poder llevar a cabo la comprobación del cumplimiento de las relaciones empíricas básicas, ha sido necesario determinar el valor de los dos parámetros geométricos que intervienen en ellas (B y X), para cada uno de los prototipos considerados.

La mejor fuente para la obtención de estos datos la constituyen los planos del proyecto de los diferentes diques exentos, en los cuales, se supone, figurarían la línea de costa en el momento de llevar a cabo el diseño de las obras, así como las dimensiones de las obras proyectadas.

Sin embargo, ante la imposibilidad de poder consultar las citadas fuentes, la metodología empleada para la obtención de los parámetros B y X de cada dique exento ha sido la me-

dición directa de ambos parámetros sobre fotomontajes a escala de los tramos de costa en los que se encuentran los diques exentos en cuestión. Dichos fotomontajes se han realizado, para dos años distintos, a partir de las fotografías aéreas tomadas en vuelos llevados a cabo a lo largo de la costa española. Las características de los dos vuelos seleccionados por su calidad, disponibilidad y adecuación a los requerimientos de este estudio, de entre los realizados en el litoral español, se presentan en la Tabla 3.

El hecho de considerar fotografías correspondientes a distintos vuelos de la costa, se debe a la necesidad de medir la distancia del dique exento a la orilla justo en el momento de implantación de la obra. Para poder medir la distancia a la línea inicial de orilla de forma exacta, lo ideal sería disponer de una fotografía aérea tomada justo antes, o inmediatamente después, de la construcción de cada uno de los diques. Sin embargo, esto es prácticamente imposible debido a que la fecha de construcción de las estructuras es distinta en cada caso, y es muy difícil que coincida la fecha (año y mes) de realización de algún vuelo con la de construcción de cada obra. De hecho, el número de vuelos de la costa española es muy limitado, los realizados no guardan entre sí ningún tipo de periodicidad temporal, y las fotografías resultantes pertenecen a los organismos que los encargaron (CEDEX, IRYDA, DGC...), lo cual no facilita su consecución.

Por otra parte, se asume que la medición directa sobre fotografías a escala conduce a la acumulación de una serie de errores que no hacen aconsejable el método para la cuantificación de parámetros, a no ser que no se disponga de ninguna otra fuente de datos fiable.

Estos errores son de tres tipos: en primer lugar están los vinculados a la fotogrametría aérea; en segundo lugar, los derivados de la no restitución de las imágenes; y en tercer lugar, los errores de estimación, cuya minimización exige un escrupuloso trabajo de gabinete y depende, en gran medida, de la habilidad de la persona que realiza los trabajos.

En el caso de la presente investigación, esta situación se ve agravada por el nivel de incertidumbre que lleva asociada

ORGANISMO	MES	AÑO	ESCALA DEL VUELO
Dirección General de Costas	Julio	1990	1/5000
Dirección General de Costas	Mayo	2001	1/5000

TABLA 3. Relación de fotografías aéreas consultadas.

la medición de los dos parámetros que se necesita conocer, así como la determinación de la posición de la línea de orilla:

- La medición de la longitud del dique exento (B) supone decidir entre qué dos puntos se mide (¿los extremos del dique en coronación? ¿los extremos del dique considerando como tales la intersección de los taludes de los morros con la lámina de agua? ¿los extremos considerando la intersección con el fondo?).
- La medición de la distancia del dique exento a la línea inicial de orilla (X) supone determinar primero cuál es esa línea original, y decidir después hasta dónde se realiza esta medición: ¿hasta el eje longitudinal del dique? ¿hasta la línea de intersección del agua con el talud, lado mar o lado tierra?...
- En cuanto a la determinación de la línea de orilla, hay que tener en cuenta que, para el instante en que fueron tomados los fotogramas, no se sabe cuál era el avance de la ola sobre el perfil de playa ni cuál el nivel de marea, por lo que no se puede considerar el "borde del mar" como línea de orilla.

Lo que se hace es considerar el nivel máximo de marea o límite de la playa seca, el cual viene marcado por una diferente coloración de la arena, no siempre discernible con facilidad (la arena húmeda tarda en secar y presenta un color más oscuro que la arena seca).

No obstante, en el caso del presente estudio, el error cometido al determinar la posición de la línea de orilla se estima insignificante, dado que en el litoral catalán la marea astronómica es pequeña y la meteorológica se presume despreciable en días claros como en los que se llevan a cabo los vuelos. Asimismo, el que los vuelos considerados se hayan realizado en los meses de mayo y julio (épocas de calmas en lo referente a variaciones del perfil de playa producidas por la acción de los temporales), resulta ser un factor adicional de confianza por la homogeneidad de las condiciones climáticas, que conduce a una mayor probabilidad de estabilidad de las playas.

Además, a pesar de los errores que se pueden llegar a acumular en el proceso de obtención de los parámetros distancia (X) y longitud (B), y de los que se ha sido consciente durante el desarrollo de la investigación, es fundamental apuntar que la distorsión de escala se ve en cierta medida compensada, dado que el dato verdaderamente necesario para el estudio es el valor del monomio B/X de los diques considerados (esto es, el cociente entre dos variables con dimensión de longitud, contenidas geoméricamente en un mismo plano y orientadas perpendicularmente entre sí).

Por todo ello se consideran aceptables los datos en los que se apoya el estudio realizado, y aptos los resultados obtenidos y las conclusiones alcanzadas.

3.4. ETAPAS DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA

La metodología de investigación seguida en el proceso de obtención de datos para cada una de las playas consideradas, ha conestado de los siguientes pasos:

1. Fotomontaje del tramo de costa de estudio (en el caso de que éste abarque más de una fotografía) con los fotogramas a escala 1/5000 de los vuelos de 1990 y 2001 (es el caso de los tramos de costa correspondientes a las playas de Cunit y de L'Ardiaca, en Tarragona)
2. Restitución de la línea inicial de orilla:
Para el caso de las playas Mota de Sant Pere y Altafulla, en las que en el año 1990 aún no se habían construido los diques exentos existentes en la actualidad,

se ha asumido como línea inicial de orilla la correspondiente al año 1990.

Para los casos de las playas en las que en el año 1990 ya se hubiesen construido los diques exentos, la línea de orilla antes de la construcción de las obras se ha estimado sobre el fotomontaje del año 1990, a partir de la posición de ésta en los tramos de playa adyacentes al protegido por el dique o sistema de diques exentos, y de las formas seguidas por la línea del trasdós de playa (en la mayor parte de los casos limitada por edificaciones, una carretera o camino, o un paseo marítimo), estando asumiendo en tal caso, que dicha línea es la del trasdós natural de la playa (es decir, que las instalaciones, paseos o edificaciones se construyeron respetándola, sin modificarla artificialmente), y que la línea del trasdós natural de la playa es sensiblemente paralela a la línea de orilla. Ambas hipótesis no tienen por qué ser ciertas siempre (de hecho es posible que no lo sean estrictamente en la mayoría de los casos), pero a falta de más información, constituyen un buen criterio a partir del cual estimar la posición inicial de la orilla, sobre todo en los casos en los que el tramo de costa estudiado se encuentra protegido y, consecuentemente, modificado, por un extenso sistema de diques exentos, como es el caso de la playa de Cunit (sistema de siete diques exentos) y de L'Ardiaca (nueve diques exentos).

3. Medición de los parámetros necesarios para este estudio (longitud de la estructura (B) y distancia del dique a la línea inicial de orilla (X)).

Para todos los casos, excepto para los de las playas Mota de Sant Pere y Altafulla, las mediciones se han realizado sobre los fotomontajes del año 1990 por ya aparecer en ellos los diques exentos; para esas dos playas, sin embargo, los datos se han tomado sobre el fotomontaje de 2001, previa superposición en él de la línea inicial de orilla restituida.

En los casos en los que los diques exentos aparecían en las fotografías de ambos años, la comparación de las fotos permite apreciar los cambios experimentados por las playas a lo largo de una década; si dichos cambios no son significativos (como ocurre en muchos de los casos estudiados) se puede concluir que las playas se encontraban ya, en 1990, en estado de equilibrio.

4. Cálculo del ratio B/X (longitud/distancia) para cada caso estudiado, y comparación de los efectos realmente inducidos en la costa con los que teóricamente habrían debido producirse según las clasificaciones consideradas y dadas por diferentes investigadores en función del valor del monomio adimensional B/X (Tabla 2).
5. Análisis de resultados y obtención de conclusiones.

4. RESULTADOS

Sobre la base de la metodología descrita en el apartado anterior, y siempre bajo las limitaciones especificadas e imprecisiones del método, se ha procedido a comprobar, en los casos de diques exentos del litoral catalán, el cumplimiento de todas las relaciones empíricas básicas consideradas en esta investigación para la clasificación de tipo de respuesta de la costa ante la presencia de un dique o sistema de diques exentos.

Se ha elaborado una tabla (Tabla 4) en la que figuran, para todos los diques exentos considerados, las dos caracte-

PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE DIQUES EXENTOS EN EL LITORAL CATALÁN

Denominación del dique exento	B	X	B/X	Respuesta a la costa	Inman y Frautschy (1966)	Noble (1978)	Goualay (1981)	Nir (1982)	SPM (1984)	Daily y Pope (1986)	Suh y Dalrymple (1987)	Sunamura y Mizuno (1987)	Herbich (1989)	Hsu y Silvester (1990)	Ahrens y Cox (1990)
Gerona Calonge I (G-Cal I)	145	100	1,45	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple
Gerona Calonge II (G-Cal II)	150	100	1,50	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	Cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple
Gerona Calonge III (G-Cal III)	160	100	1,60	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	Cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple
Barcelona Sitges (B-Sit)	158	117	1,35	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple
Barcelona Vilanova i la Geltrú (B-ViG)	200	234	0,85	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	No cumple	Cumple	No cumple	No cumple	No cumple
Barcelona Cubelles I (B-Cub I)	135	81	1,67	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	Cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple
Barcelona Cubelles II (B-Cub II)	135	84	1,61	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	Cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple
Barcelona Mota de Sant Pere I (B-MSP I)	105	186	0,56	Respuesta limitada	No cumple	No cumple	-	No cumple	-	No cumple	No aplicable	No cumple	No cumple	-	Cumple
Barcelona Mota de Sant Pere II (B-MSP II)	100	206	0,49	Respuesta limitada	No cumple	No cumple	-	Cumple	-	Cumple	No aplicable	No cumple	Cumple	-	Cumple
Barcelona Mota de Sant Pere III (B-MSP III)	100	199	0,50	Respuesta limitada	No cumple	No cumple	-	No cumple	-	No cumple	No aplicable	No cumple	No cumple	-	Cumple
Tarragona Cunit I (T-Cun I)	236	198	1,19	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	No cumple	No cumple
Tarragona Cunit II (T-Cun II)	162	151	1,07	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	No cumple	No cumple
Tarragona Cunit III (T-Cun III)	115	108	1,06	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	No cumple	No cumple
Tarragona Cunit IV (T-Cun IV)	131	100	1,31	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	No cumple	No cumple
Tarragona Cunit V (T-Cun V)	147	133	1,11	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	No cumple	No cumple
Tarragona Cunit VI (T-Cun VI)	162	122	1,33	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	No cumple	No cumple
Tarragona Cunit VII (T-Cun VII)	168	113	1,49	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	No cumple	No cumple
Tarragona Altafulla (T-Alf)	93	204	0,46	Tómbolo	-	-	Cumple	-	Cumple	No cumple	Cumple	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple
Tarragona Cambrils I (T-Cam I)	60	115	0,52	Tómbolo	-	-	Indeterminado	-	Cumple	Cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple
Tarragona Cambrils II (T-Cam II)	138	97	1,42	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple
Tarragona Cambrils III (T-Cam III)	82	78	1,05	Tómbolo	-	-	No cumple	-	Indeterminado	No cumple	No aplicable	No cumple	No cumple	Cumple	Cumple
Tarragona Cambrils IV (T-Cam IV)	154	96	1,60	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple
Tarragona Cambrils V (T-Cam V)	57	120	0,48	Respuesta limitada	No cumple	No cumple	-	Cumple	-	No cumple	No aplicable	No cumple	Cumple	-	Cumple
Tarragona Cambrils VI (T-Cam VI)	193	124	1,56	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple
Tarragona Cambrils VII (T-Cam VII)	72	97	0,74	Tómbolo	-	-	Indeterminado	-	Cumple	No cumple	No aplicable	No cumple	Cumple	Cumple	No cumple
Tarragona Cambrils VIII (T-Cam VIII)	194	120	1,62	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple
Tarragona Cambrils IX (T-Cam IX)	210	114	1,84	Tómbolo	-	-	Cumple	-	No cumple	No cumple	No aplicable	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple

Tabla 4. Características de los prototipos estudiados y resumen de resultados.

rísticas geométricas elementales de estas obras (B y X), el valor del ratio entre ambos parámetros (B/X), el efecto que han producido en la costa (tómbolo, saliente o respuesta limitada), y la especificación de si se adecuan o no a los criterios clasificatorios de la Tabla 2.

Los resultados de la comparación de los efectos reales observados con respecto a los esperados según los criterios anteriores, se han recogido en la Tabla 4 con los siguientes términos:

- “Cumple”, si la respuesta dada por la costa satisface el criterio de clasificación.
- “No Cumple”, si para el tipo de respuesta dada por la costa el ratio B/X no se encuentra dentro de los límites establecidos por el criterio de clasificación considerado.
- “-”, si el criterio de clasificación no contempla el tipo de respuesta dado por la costa.
- “Indeterminado”, si el ratio B/X se encuentra en un intervalo de valores para los que el criterio de clasificación no especifica el tipo de respuesta de la costa.

En aquellos casos en los que la formulación del criterio de clasificación no es aplicable a sistemas de diques exentos, tal circunstancia queda recogida en la Tabla 4 con el término “No aplicable”.

5. ANÁLISIS

Para el análisis de los resultados obtenidos se ha procedido a la representación gráfica de los mismos (Figura 5) de acuerdo al siguiente procedimiento:

En un gráfico en el que en abscisas se considera la distancia del dique exento a la línea inicial de orilla (X), y en ordenadas la longitud de la estructura (B), las condiciones límite especificadas por cada autor para clasificar la respuesta de la costa quedan representadas por rectas de pendiente igual al valor del ratio B/X , establecido como límite de clasificación entre cada dos tipos de respuesta (tómbolo-saliente y saliente-respuesta limitada).

Se han dibujado con líneas continuas y rojas las rectas límite de condición de tómbolo (por encima de las cuales cada autor asegura su formación y por debajo la formación de saliente); con líneas discontinuas y azules las condiciones límite de respuesta limitada o nula (por debajo de las cuales la respuesta de la costa ante un dique exento es muy reducida); y en verde, con líneas de trazos y puntos, aquellas condiciones que aseguran la formación de saliente por debajo de la recta límite, pero no garantizan formación de tómbolo por encima.

En dicho gráfico se han representado también todos los diques considerados en esta investigación, identificando los casos en que se ha formado tómbolo con un círculo, los casos de salientes bien desarrollados con un triángulo, y los casos de respuesta limitada o nula con una cruz. Así, resulta muy

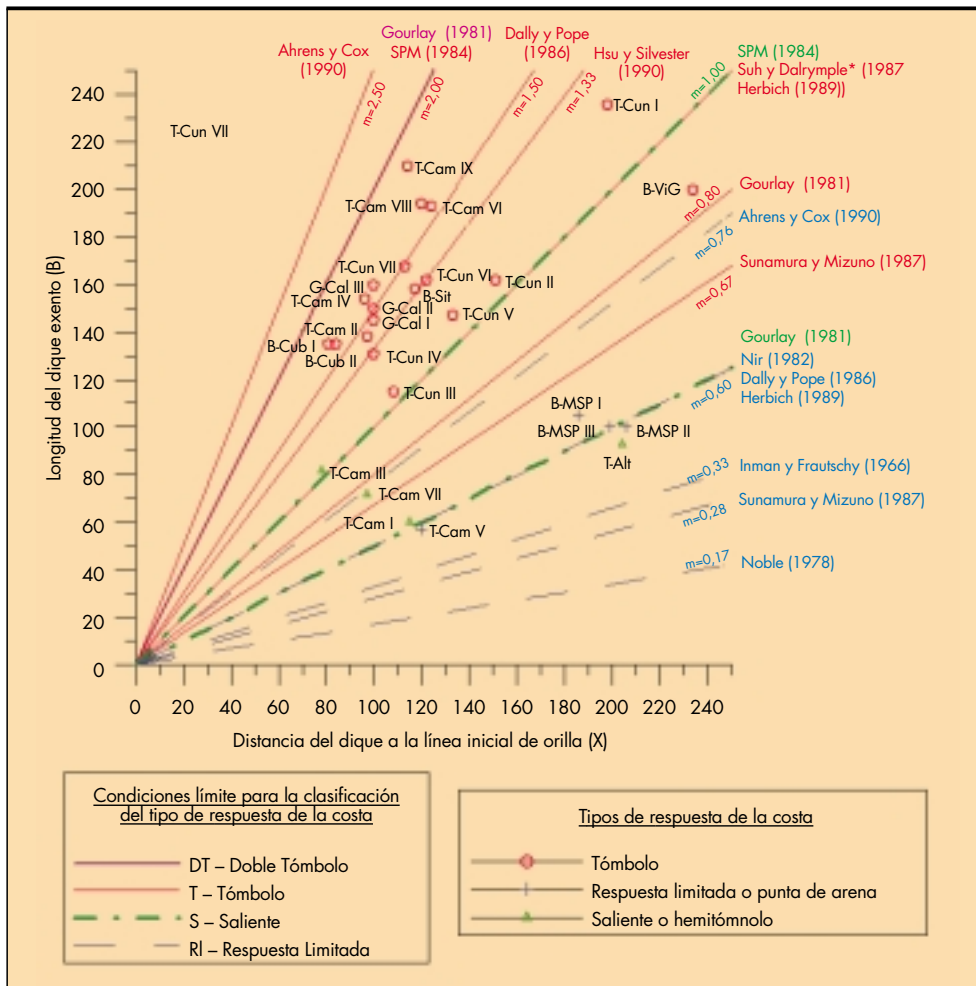


FIGURA 5. Representación gráfica de los resultados del estudio.

sencillo identificar qué condiciones límite, de las dadas por los diferentes autores, se cumplen para todos los diques exentos estudiados, y cuáles no.

Se obtiene que de las once relaciones empíricas estudiadas, las que mejor funcionan en el litoral noreste peninsular son la de Herbich (1989) –verificada en un 81,5% de los casos–, Sunamura y Mizuno (1987) –78%– y la de Gourlay (1981) –74%–. Las relaciones de Hsu y Silvester (1990) y de Dally y Pope (1986) también se verificaron en un número relativamente alto de casos (59% y 48% respectivamente). Los restantes seis modelos no serían de aplicación dado que el número de casos verificados no alcanzan siquiera el 20% del total.

Asimismo, se puede observar en el gráfico la concentración de casos de tómbolo entre los valores límite 1,00 y 2,00 del monomio B/X , pudiéndose cerrar la banda de confianza del valor de B/X para la formación de tómbolo a los valores 1,30 y 1,60, con más del 50% de los casos de tómbolo estudiados.

Estos resultados nos permiten proponer el siguiente modelo geométrico B/X para el caso del litoral noreste peninsular:

Tómbolo:	$B/X \geq 1,3$
Saliente:	$1,3 > B/X > 0,5$
Respuesta limitada:	$0,5 > B/X$

6. CONCLUSIONES

Todos y cada uno de los problemas que se presentan en la costa tienen sus características particulares. Esto hace que el uso indiscriminado de formulaciones y la extrapolación de resultados obtenidos en estudios de casos concretos, pueda conducir a la obtención de resultados no deseados en la práctica, diferentes a los teóricamente esperados en un principio, aunque existan experiencias con resultados satisfactorios en las que se aplicaron las mismas teorías.

Por este motivo, el objeto de la investigación presentada ha sido el de comprobar el cumplimiento de las relaciones empíricas geométricas dadas por diferentes autores para la clasificación de tipo de respuesta de la costa ante la presencia de un dique exento en función de la relación entre su longitud (B) y la separación de éste a la línea inicial de orilla (X), considerando para ello los casos de diques exentos existentes en el litoral de Cataluña.

Durante la revisión del estado del arte se ha comprobado que existe una gran dispersión en los valores propuestos para clasificar el tipo de respuesta de la costa en función del valor adoptado por el monomio B/X , lo cual puede tener la base de su explicación en la importancia de las condiciones de contorno (que no son tenidas en cuenta en este tipo de relaciones empíricas), y en particular de las características del oleaje incidente, ya que los efectos producidos en la costa por un dique o sistema de diques exentos son notablemente sensibles a los estados del mar. En consecuencia se deduce que el problema de la determinación anticipada de la respuesta de la costa es muy complejo.

Tras la comprobación de las relaciones empíricas geométricas de clasificación de la respuesta de la costa consideradas en este estudio, la estima general propuesta para el caso del litoral catalán del modelo geométrico B/X sería la siguiente:

Tómbolo:	$B/X \geq 1,3$
Saliente:	$1,3 > B/X > 0,5$
Respuesta limitada:	$0,5 > B/X$

Estas conclusiones corresponden a los análisis efectuados durante el proceso de redacción de una primera fase de la investigación en curso, y sirven de punto de partida para las posteriores etapas de la misma, en las que se pretende mejorar el modelo propuesto considerando un mayor número de parámetros y llevando a cabo experiencias “in situ” y con modelos numéricos.

7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado dentro del programa de formación de investigadores de la Universidad Politécnica de Madrid.

Los autores desean agradecer la contribución y el apoyo prestados por la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente y por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), al hacer posible la consulta de documentación y la utilización de fotografías aéreas, imprescindibles para la realización de la investigación presentada.

8. BIBLIOGRAFÍA

- BRICIO, L. 2005: Fiabilidad de obras marítimas. Aplicación a singularidades doble dinámicas. Departamento de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid.
- DIEZ, J. J. 2003: Experience for Shore Protection in Spain. In: EWING, L., HERRINGTON, T. and MAGOON, O. (Eds.), *Urban Beaches*, ISBN 0-7844-0682-0. Reston (Virginia): ASCE, pp. 14-30.
- GOURLAY, M.R. 1981: Beach processes in the vicinity of offshore breakwaters and similar natural features. *Proceedings of the 5th Australian Conference on Coastal and Ocean Engineering*, (Perth, Australia), pp. 8-9.
- HANSON, H. AND KRAUS, N.C. 1991: Comparison of shoreline change obtained with physical and numerical models. *Proceedings of Coastal Sediments '91* (Seattle, Washington, ASCE), pp. 1785-1799.
- HERBICH, J.B. 1989: Shoreline changes due to offshore breakwaters. *Proceedings of the 23rd International Association for Hydraulic Research Congress* (Ottawa, Canada), 11 p.
- HERBICH, J.B. (ed.) 2000: *Handbook of Coastal Engineering*. Nueva York: McGraw-Hill, Chapter 5.
- MING, D. and CHIEW, Y.M. 2000: Shoreline changes behind detached breakwater. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 126, No. 2, pp. 63-70.
- NIR, Y. 1982: Offshore artificial structures and their influence on the Israel and Sinai Mediterranean beaches. *Proceedings of the 18th International Conference on Coastal Engineering*, (Cape Town, South Africa, ASCE), pp. 1837-1856.
- PEÑA, J.M. DE LA Y SANCHEZ, F.J., 2006: *Inventario y efectos morfológicos de los diques exentos en las costas españolas. Informe inédito*. Madrid: 22-404-5-116, 2006. 169 p. Informe técnico del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC) del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), para el Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad, Dirección General de Costas.
- RANASINGHE, R. and TURNER, I., 2004: Processes governing shoreline response to submerged breakwaters: Multi-functional structures - A special case. *Proceedings of the 29th International Conference on Coastal Engineering* (Lisbon, Portugal, ASCE), pp. 1984-1996.
- SANCHEZ-ARCILLA, A., ALSINA, J.M., CACERES, I., GONZALEZ-MARCO, D., SIERRA, J.P. and PEÑA, C. 2004: Morphodynamics on a beach with a submerged detached breakwater. *Proceedings of the 29th International Conference on Coastal Engineering* (Lisbon, Portugal, ASCE), pp. 2836-2848.
- SUAREZ BORES, P. 1978: Shore Classification. *Proceedings of the III International Conference of Engineer Geology, ICEG* (Madrid, Spain).
- WAMSLEY, T., KRAUS, N.C. and HANSON, H. 2003: Shoreline response to breakwaters with time-dependent wave-transmission. *Proceedings of the International Conference on Coastal Sediments 2003* (Florida, U.S.A., ASCE), pp.593-605.

Temporales en la zona de Cartagena 1986-2005

MANUEL SOTILLO MEMBIBRE (*)

RESUMEN La estación de medida y registro de oleaje de Cabo Palos es de las primeras del proyecto REMRO (Red Española de Medida y Registro de Oleaje) y ha estado funcionando continuamente desde su apertura; esto nos ha aportado una colección importante de datos; que nos permite estudios estadísticos de valores extremos y un estudio descriptivo de las principales tormentas y sus periodos de retorno.

STORMS IN THE CARTAGENA COAST

ABSTRACT *The station of measurement and registry of sea waves of Cabo Palos is one of the first of project REMRO (Spanish Network of Measurement and Registry of Sea waves) and has been working from its opening; it has contributed one to us a big set of data; it allows statistical studies of extreme values and descriptive studies of main storms and its return periods.*

Palabras clave: Temporales, Régimen extremal, Periodo de retorno, Máximos anuales, Espectro de potencia, Estados del mar, Densidad espectral y Series temporales de oleaje.

1. INTRODUCCIÓN

En este artículo vamos a estudiar los temporales registrados por la boya de oleaje escalar, fondeada en la zona de Cartagena, de la Red de Medida y Registro de Oleaje (REMRO) desde 1 de Enero de 1986 y 31 de Diciembre de 2005.

Veremos los temporales mayores registrados en los 20 años y los máximos anuales. Calcularemos el régimen extremal por el método de Pico sobre umbral, y analizaremos el mejor ajuste.

Clasificaremos los temporales según la altura significativa y mostraremos una tabla con los temporales de mayor altura significativa.

2. SITUACIÓN

La boya de Cabo de Palos está fondeada en las coordenadas $37^{\circ} 39,25' N$ de latitud y $00^{\circ} 38,30' W$ de longitud. Profundidad 67 m.

3. TEMPORALES MÁXIMOS ANUALES

En la Tabla 1 muestra los temporales máximos anuales. El año del máximo temporal registrado fue en 1995 con 5,46 metros de altura de ola significativa. El menor de los temporales máximos anuales corresponde al año 2005 con 2,67 metros.

Observamos que el número de temporales máximos anuales distribuidos en meses de ocurrencia es: Marzo (5), Febrero (4), Enero (4), Octubre (3), Noviembre (1), Septiembre (1), Agosto(1) y Mayo(1).



FIGURA 1. Carta de Situación.

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

AÑO	H _s (metros)	FECHA
1986	3,55	30 de Agosto
1987	4,15	5 de Enero
1988	3,51	16 de Febrero
1989	5,12	18 de Marzo
1990	5,34	3 de Marzo
1991	4,54	23 de Octubre
1992	4,50	3 de Mayo
1993	3,42	25 de Marzo
1994	5,16	18 de Enero
1995	5,46	28 de Febrero
1996	3,61	15 de Febrero
1997	3,25	29 de Octubre
1998	3,33	20 de Septiembre
1999	3,51	8 de Octubre
2000	3,85	1 de Enero
2001	4,94	10 de Noviembre
2002	4,84	28 de Marzo
2003	4,75	10 de Enero
2004	3,82	15 de Marzo
2005	2,67	9 de Febrero

TABLA 1.

4 RÉGIMEN EXTREMAL

Se le da el nombre de régimen extremal a la función de distribución de los valores extremos de una determinada variable, que vamos a concretar en la altura significativa H_s . Entre los métodos más utilizados destacamos: el método de la muestra total, el método de los valores de pico y el método de los máximos anuales. Por los años registrados vamos a usar el segundo de los métodos.

Para el cálculo del régimen extremal vamos a utilizar el método de Picos Relativos sobre Umbral (POT). (Goda, 1988). En primer lugar hay que definir el periodo de tiempo entre dos picos consecutivos para que se estimen independientes entre sí. Luego extraemos de las series temporales registradas aquellos temporales independientes que superen una cierta altura significativa umbral H_T en el pico del temporal. El conjunto de picos de la tormenta lo adoptamos como muestra inicial. Se calcula el tiempo efectivo de medida teniendo en cuenta el peso climático. De modo que estimemos el número medio de temporales anuales (λ), siendo $\lambda = N_T / T_{efe.}$

Una vez determinado λ (número medio de temporales anuales) se define una segunda altura umbral $H_1 > H_T$ contabilizando el número de temporales que lo supera N_1 . El conjunto de altura N_1 constituye la muestra utilizada para el análisis extremal. La muestra se ajusta por el método de los mínimos cuadrados a la distribución de Weibull con parámetros de forma $C = 0,75, 1,0, 1,4$ y $2,0$.

En la estación de Cabo Palos hemos tomado una separación entre picos de 60 horas, la altura $H_T = 1,70$ m. la altura $H_1 = 2,25$ m. El periodo de tiempo efectivo ponderado 18,88. El número de temporales $N_T = 464$ y $N_1 = 218$. El número medio de temporales anuales $\lambda = 24,576$. La desviación típica $\sigma = 0,688$.

El ajuste elegido es Weibull 1,4

5. TEMPORALES DE HS > 4,50 M.

En la tabla 6 vemos los temporales de $H_s > 4,5$ m. con la fecha de ocurrencia.

TEMPORALES EN LA ZONA DE CARTAGENA 1986-2005

H(m)med	T.RETORNO	DESV(m)	H(80%)	H(90%)	H(95%)
3,8	1	0,1967	4,1	4,2	4,2
4,7	3	0,3062	5,1	5,2	5,3
5,1	5	0,3611	5,6	5,7	5,8
5,7	10	0,439	6,3	6,4	6,6
6,3	20	0,5204	7	7,2	7,3
7,2	50	0,633	8	8,2	8,4
7,9	100	0,7215	8,8	9	9,3
8,6	200	0,8128	9,6	9,9	10,1
8,9	300	0,8673	10,1	10,4	10,7

TABLA 2. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL 0,75.

H(m)med	T.RETORNO	DESV(m)	H(80%)	H(90%)	H(95%)
3,9	1	0,1635	4,1	4,2	4,2
4,7	3	0,2376	5	5,1	5,1
5	5	0,2725	5,4	5,5	5,6
5,5	10	0,3202	5,9	6	6,1
6	20	0,368	6,4	6,6	6,7
6,6	50	0,4314	7,2	7,3	7,5
7,1	100	0,4795	7,7	7,9	8
7,6	200	0,5276	8,2	8,4	8,6
7,8	300	0,5557	8,6	8,8	8,9

TABLA 3. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL 1,00.

H(m)med	T.RETORNO	DESV(m)	H(80%)	H(90%)	H(95%)
3,9	1	0,1412	4,1	4,2	4,2
4,6	3	0,1911	4,8	4,9	5
4,9	5	0,2134	5,2	5,2	5,3
5,3	10	0,2428	5,6	5,7	5,7
5,6	20	0,2713	6	6,1	6,2
6,1	50	0,3078	6,5	6,6	6,7
6,4	100	0,3346	6,9	7	7,1
6,8	200	0,3608	7,2	7,4	7,5
7	300	0,3758	7,5	7,6	7,7

TABLA 4. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL 1,40.

H(m)med	T.RETORNO	DESV(m)	H(80%)	H(90%)	H(95%)
3,9	1	0,1293	4,1	4,2	4,2
4,5	3	0,1654	4,7	4,8	4,9
4,8	5	0,1808	5	5,1	5,1
5,1	10	0,2007	5,3	5,4	5,5
5,4	20	0,2195	5,7	5,7	5,8
5,7	50	0,2429	6,1	6,1	6,2
6	100	0,2597	6,3	6,4	6,5
6,3	200	0,2758	6,6	6,7	6,8
6,4	300	0,2849	6,8	6,9	6,9

TABLA 5. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL 2,00.

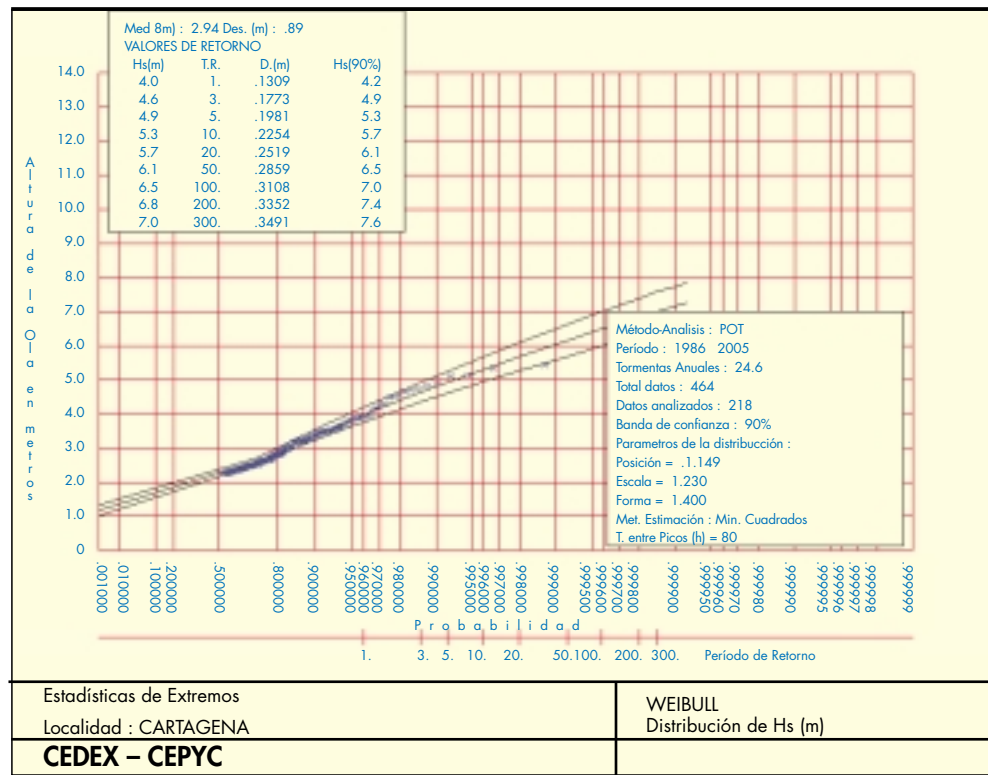


FIGURA 2.

6. ESTUDIO DE LOS MAYORES TEMPORALES

El pico del **temporal máximo** fue registrado el 28 de Febrero de 1995 a las 16 horas y alcanzó una altura significativa $H_{zs} = 5,46$ metros.

En las figura 4 y 5 se representan las Curvas de Estados del Mar, que representan la evolución de las alturas $H_{z,s}$, H_{max} , T_z y $T_{z,s}$.

En las graficas el eje de abscisas esta la escala de tiempos, y en la de ordenadas hay un eje para las alturas en metros y otro para los periodos en segundos.Fig. 4

En las Curvas de Estados del mar observamos como se va incrementando la altura a partir del día 26 hasta alcanzar

el pico el día 28 después desciende la altura, tiene una cierta simetría en la subida y bajada de la altura; lo mismo sucede con los periodos. La altura máxima supero los 11 metros. La duración del temporal contado desde que supera el nivel de 2 m. hasta que vuelve al cruzarlo en sentido descendente es de 3 días.

En la figura 6 se representa la evolución espectral del oleaje, en el eje X se representa la frecuencia en Herzios, en el eje Y el tiempo en días y el eje Z la densidad espectral. Podemos observar en la fecha del temporal como va creciendo la densidad espectral y el desplazamiento hacia la izquierda en las frecuencias.

Año	Mes	Día	Hora	Hs	Nº.
1995	2	28	16	5,46	1
1990	3	3	7	5,34	2
1994	1	18	12	5,16	3
1989	3	18	18	5,12	4
2001	11	10	9	4,94	5
2002	3	28	20	4,84	6
2003	1	10	17	4,75	7
1995	3	12	14	4,71	8
1989	10	16	2	4,65	9
2003	11	18	10	4,55	10

TABLA 6.

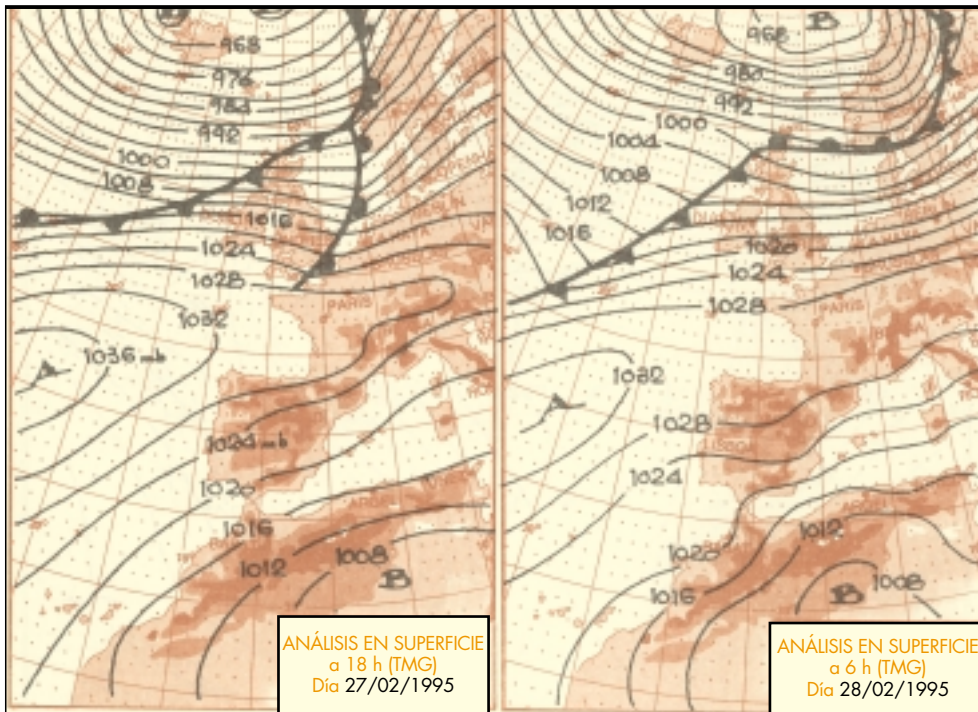


FIGURA 3. Mapas de isobaras correspondiente a los días del temporal máximo. Observemos la borrasca del Norte de Africa. En las borrascas del Hemisferio Norte los vientos giran en sentido contrario de la agujas del reloj.

El **segundo temporal** según la altura H_s ocurrió el 3 de Marzo de 1990 en la muestra de las 7 horas, tiene una $H_s = 5,34$ m.

En la curva de Estados del Mar (fig. 7), podemos observar el rápido crecimiento de las alturas y los periodos en el comienzo del temporal. Observamos que la altura máxima se acerca a los 11 metros. El temporal tiene una duración de 5 días. Los periodos tienen un incremento rápido y una bajada más suave. La forma del temporal es asimétrica con dos picos (como si fueran dos temporales seguidos).

La figura 8 representa la evolución espectral en el podemos observar el rápido crecimiento de la densidad de

energía y e desplazamiento hacia las bajas frecuencias del temporal.

El **tercer temporal** mayor fue el día 18 de Enero de 1994 a las 12 horas. La altura $H_s = 5,16$ m., la curva de Estados del Mar esta representada en la fig. 9. Se observa el rápido incremento de las alturas hasta llegar al pico del temporal con un descenso más suave. La altura máxima casi alcanza los 9 metros. La duración del temporal desde que cruza el nivel de 2 metros en sentido ascendente hasta que lo vuelve a cruzar en sentido descendentes es de 3 días. El temporal tiene forma asimétrica.

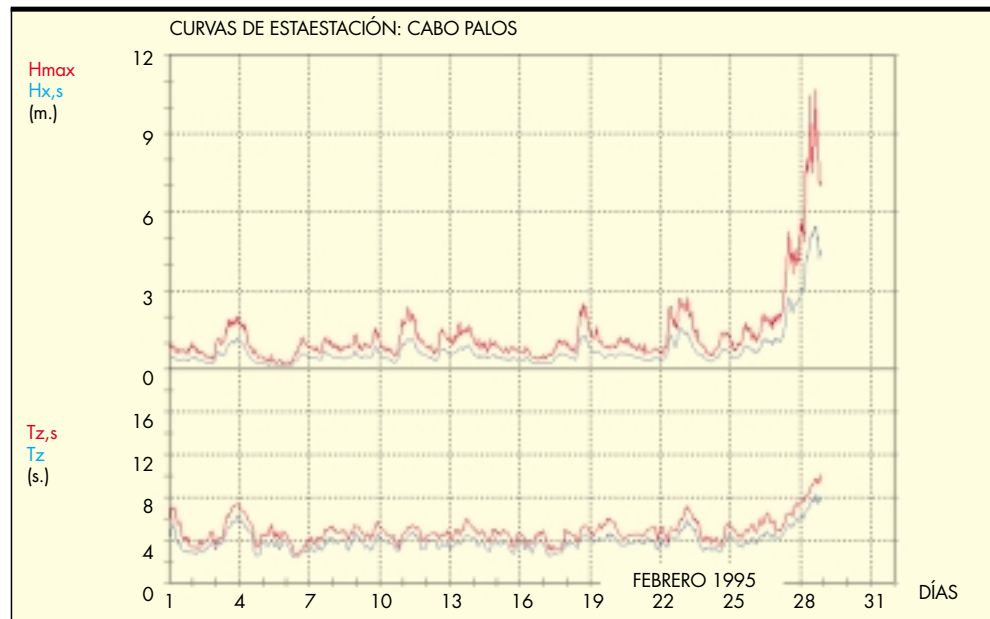


FIGURA 4.

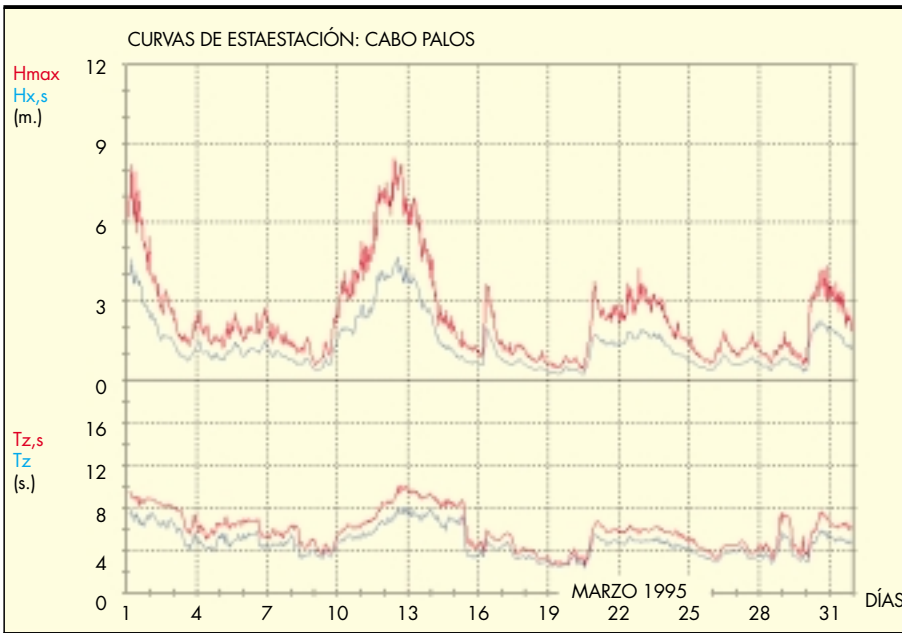


FIGURA 5.

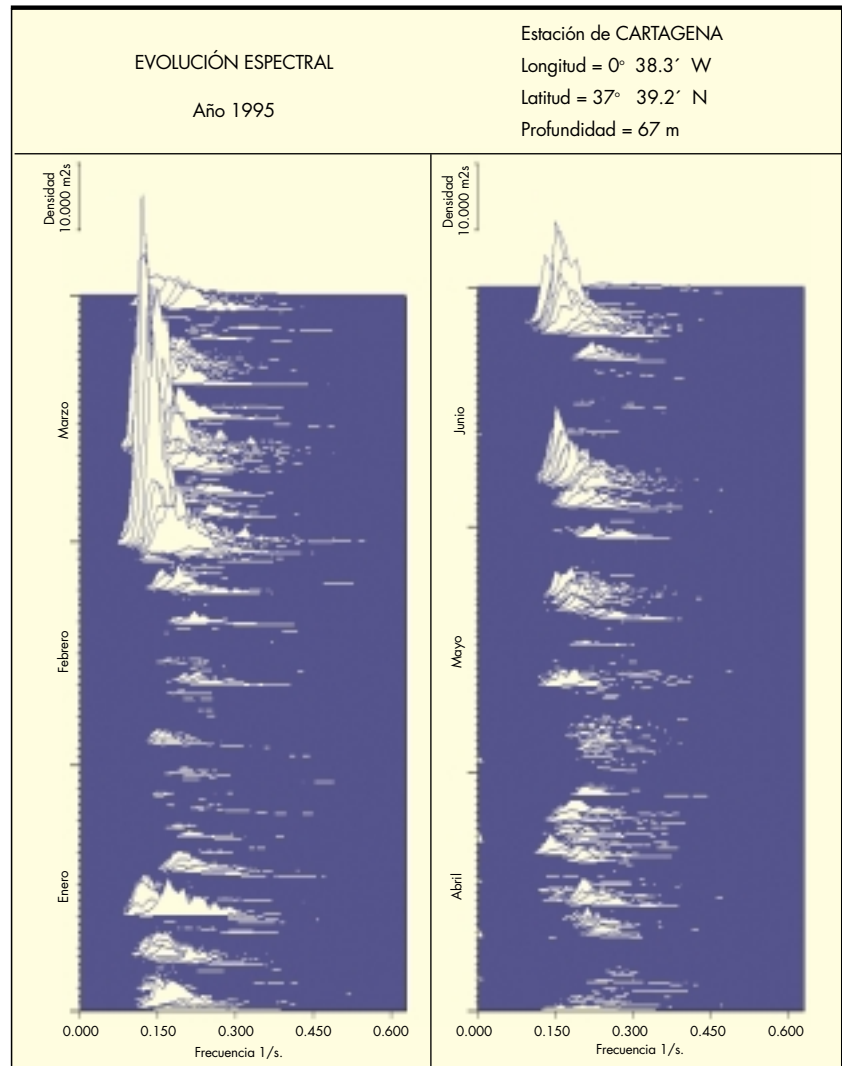


FIGURA 6.



FIGURA 7.

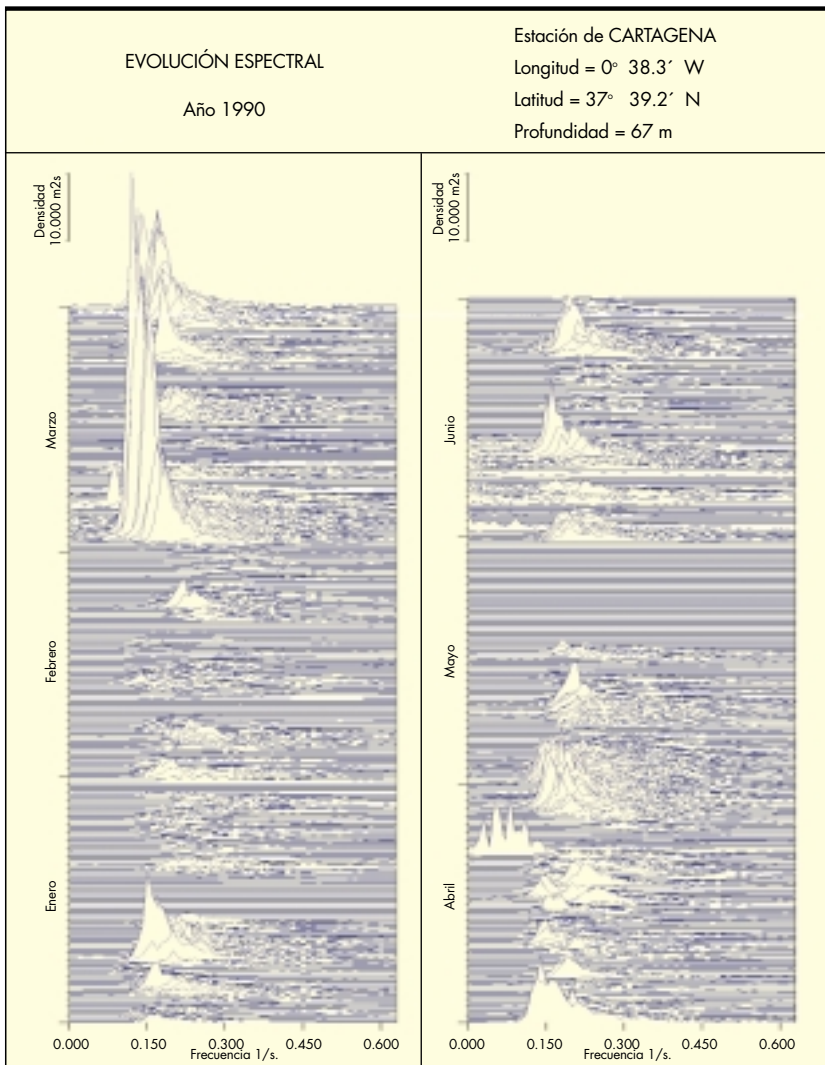


FIGURA 8.



FIGURA 9.

La evolución espectral del temporal lo muestra la fig. 10. Se observa en la sucesión de espectros como la frecuencia del pico se va desplazando a la izquierda.

El **cuarto temporal** tuvo el pico el día 18 de Marzo de 1989 a las 18 horas y también supero los 5 m. $H_s = 5,12$ metros. En la figura 11 vemos la curva de estados del mar correspondiente al mes de Marzo de 1989. La altura máxima sobrepasa los 10 metros. La duración del temporal es de 3 días. El temporal tiene dos picos y forma asimétrica, tiene más pendiente las subida.

En la figura 12 se representa la evolución espectral se observa como va aumentando la energía del oleaje y el desplazamiento de la frecuencia de pico hacia la izquierda.

El **quinto temporal** tuvo su pico el 10 de Noviembre de 2001 a las 9 horas. En la figura 13 hemos representado la curva de Estados del Mar correspondiente al mes de Noviembre. Observamos que es un temporal que sube hacia el pico rápido y tiene un descenso un poco más suave, vemos que la altura máxima alcanza los 9 metros. La duración en menor de 3 días y a continuación sigue el mes con dos temporales de menor altura. En las curvas de periodos vemos el incremento y decremento que experimentan el periodo medio y periodo significativa.

En la figura 14 observamos la evolución espectral durante el segundo semestre de 2001 y observamos en el mes de Noviembre como se va desarrollando el temporal y el desplazamiento hacia la izquierda de la frecuencia del pico.

7. SUMARIO Y CONCLUSIONES

Hemos estudiado los temporales registrados en la estación de Cabo Palos durante 20 años consecutivos. En primer lugar hemos destacado el temporal máximo de cada año en la tabla 1. Los años con temporales de mayor altura son: 1995, 1990, 1994 y 1989. Los años de temporales máximos anuales de menor altura son: 1999, 1988, 1998 y 2005. En 4 de los años la altura significativa fue superior a 5 m. y sólo un año fue menor de 3 metros de altura significativa.

El régimen extremal, es la función de distribución de los valores extremos de un determinado parámetro, aquí lo en particular la altura significativa H_s y lo hemos analizado por el método de Picos Relativos sobre Umbral (POT). Lo hemos ajustado a las distribuciones de WEIBULL de parámetros 0.75, 1.0, 1.4 y 2.0 y se ha seleccionado la distribución WEIBULL 1.4. Para un periodo de retorno de 20 años la altura significativa con un nivel de confianza del 90% es 6,10 m. y para 50 años es 6,60 metros.

De la ROM 0.3-91-Oleaje tenemos para Cabo Palos que las direcciones de los temporales son NE, ENE, E, ESE, ESE, SE, SSE, S y SSW. El coeficiente $K_a = 1$ para las direcciones NE y ENE.

A continuación hemos hecho una lista de los diez temporales máximos registrados en los 20 años, para esto en la serie de temporales hemos escogido los que su pico tiene una altura significativa $H_s > 4,50$ m. Observamos que los años que tiene más temporales en la lista son 1995, durante este año se registraron el primero y octavo; en 1989 el cuarto y el noveno y en 2003 el séptimo y decimo. El segundo fue en 1990, el tercero en 1994. Esta lista nos permitirá comparar cualquier temporal que suceda y clasificarlo según su altura significativa.

En el siguiente párrafo hemos estudiado con más detalle los temporales máximos con curvas de Estados del Mar, gráficos de la Evolución Espectral y espectros de los picos del temporal.

El registro del oleaje durante años nos permite conocer mejor el comportamiento del oleaje a largo tiempo y definir con mayor precisión la función de distribución extremal. Conviene seguir midiendo el oleaje para poder calcular con más precisión el régimen extremal y los periodos de retorno.

8. AGRADECIMIENTOS

A Mercedes Martínez Coordinadora del Programa REMRO y a Luís Arribas Auxiliar Técnico del Programa REMRO.

Al Área de Ingeniería de Sistemas y Redes de Medida por el apoyo informático y los autores de las aplicaciones informáticas utilizadas: Tomás Echegoyen, Cristina Benito, Gines Ibáñez, Julio González.

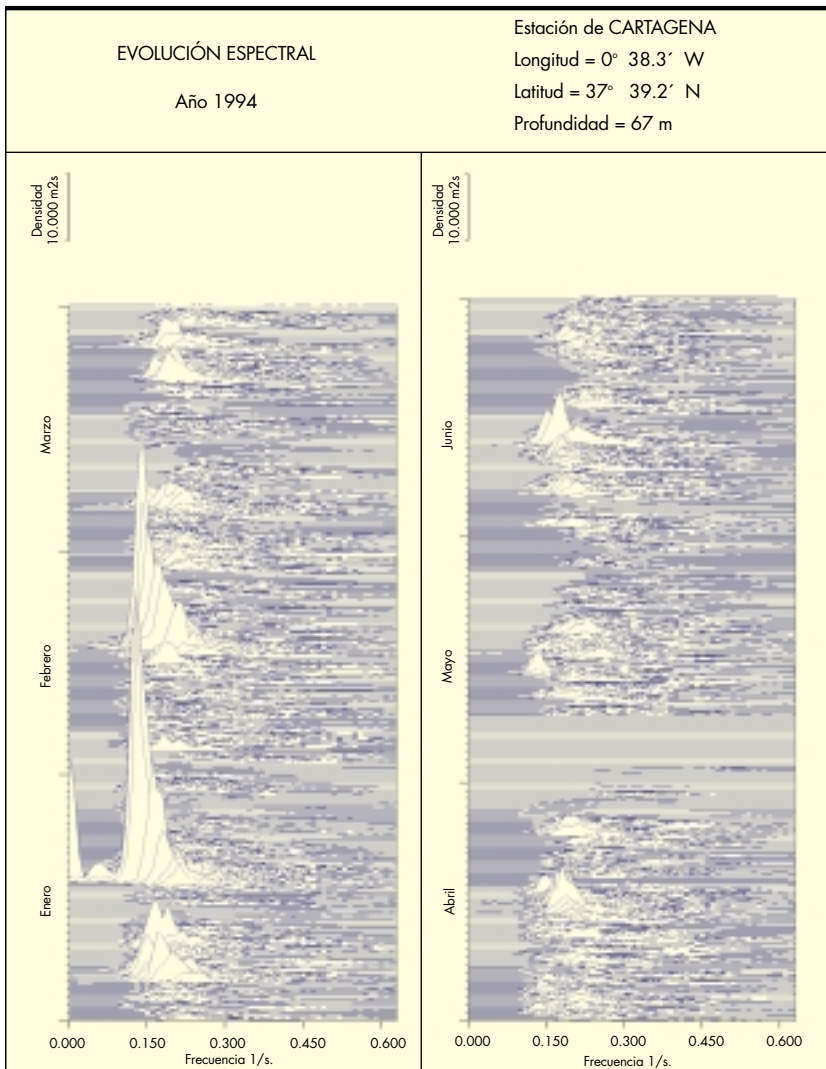


FIGURA 10.



FIGURA 11.