

DISEÑO FUNCIONAL Y AMBIENTAL DE DIQUES EXENTOS DE BAJA COTA DE CORONACIÓN

L. Bricio Garberí¹, V. Negro Valdecantos², J.J. Diez González³, J.S. López Gutiérrez⁴

E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. c/ Profesor Aranguren, s/n, 28040 Madrid.

¹ Doctora Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos - lbrecio@fomento.es

² Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Profesor Titular de Universidad (Puertos) - vnegro@caminos.upm.es

³ Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Catedrático (Oceanografía) - jjdiez@caminos.upm.es

⁴ Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Profesor Asociado de Universidad (Puertos) - jslopez@caminos.upm.es

RESUMEN

La costa constituye una estrecha y fuertemente presionada franja, sometida a grandes desequilibrios como consecuencia de múltiples y variadas causas: oleaje, mareas y corrientes, construcción de obras marítimas que interrumpen las corrientes litorales y el transporte de sedimentos, subida del nivel medio del mar, desarrollo de áreas costeras y urbanismo masivo en la zona activa de las playas, etc. Todo ello provoca la erosión de un gran número de playas, así como su degradación ambiental y paisajística.

Esta situación precaria del litoral constituye, hoy en día, un serio y preocupante problema, al que los Ingenieros de Costas dedican su actividad, en busca de soluciones que garanticen su estabilidad. Con este fin, se han venido utilizando, a lo largo del tiempo, diferentes métodos de protección, basados la mayoría de ellos en la construcción de obras marítimas, de entre las que hay que destacar los diques exentos.

La investigación llevada a cabo y que se presenta en este artículo se centra precisamente en este tipo de obras costeras. Plantea como objetivo principal el desarrollo de un método de diseño funcional y ambiental (no estructural) que permita definir las características fundamentales de un dique exento en función del efecto que se quiera inducir en la costa, satisfaciendo las demandas sociales y preservando o mejorando la calidad del medio ambiente litoral. Además, se busca la aplicabilidad general del método mediante la consideración de relaciones entre variables de distinta naturaleza (climáticas, geomorfológicas y geométricas) que influyen en los cambios experimentados en la costa tras la construcción del dique exento.

El estudio de las relaciones entre las distintas variables se realiza sobre los datos de una base de diecinueve diques exentos reales, existentes en el litoral mediterráneo español, y siguiendo una metodología basada en el planteamiento de monomios adimensionales y en la búsqueda de relaciones de dependencia entre ellos.

Finalmente, la discusión de los resultados obtenidos conduce a la propuesta de un método de diseño de diques exentos, que considera algunas de las relaciones gráficas encontradas entre las variables estudiadas y con el que se consigue el objetivo principal anteriormente expuesto.

ABSTRACT

The coast is a narrow strip subjected to large imbalances as a consequence of many, varied causes: wave action, tides and currents; maritime constructions interrupting sediment transportation; mean sea level rise; development of coastal areas and massive town planning in the active area of beaches, etc. All these reasons lead to the erosion of a large number of beaches and their environmental and landscape degradation.

This precarious coastline situation today constitutes a serious problem of great concern. Coastal Engineers, aware of the generalised beach erosion problem, are focusing their work seeking solutions to guarantee coastal stability. Different methods of protection have been used throughout time mostly based on artificial beach nourishment and the building of structures, amongst which detached breakwaters play a major role.

The study undertaken for the investigation which is showed in this article, focuses precisely on this type of maritime structure, with the main purpose of developing a functional and environmental design method (not structural) which let us define the most fundamental characteristics of a detached breakwater, based on the effects that we want to produce on the shoreline, satisfying social requests and preserving or improving the quality of the coastal environment. Moreover, the research looks for the general application of the method, considering relationships among different kind of variables (climatic, geomorphologic and geometrical) with influence on the changes that the coast undergo after the detached breakwater construction.

The study among the different variables is carried out with a database of nineteen real cases on the Mediterranean Spanish coastline, following a methodology based on the identifying of some non-dimensional monomials and the search of dependency rates among them.

Finally, the discussion of the obtained results leads to the proposal of a detached breakwater design method, which takes into account graphic relationships founded out among the studied variables, and achieving the previously exposed main objective.

Palabras clave: dique exento, diseño funcional, tómbolo, saliente, hemitómbolo.

1. INTRODUCCIÓN

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. Protegen de la acción del oleaje una determinada zona del litoral reduciendo la cantidad de energía que penetra en ella y son capaces de crear zonas de acreción en el tramo de costa que protegen. Se trata de estructuras artificiales inspiradas en el funcionamiento de formaciones naturales tales como arrecifes, barras o islotes próximos a la orilla (Figura 1).



Figura 1. Playa de Blanes (Término Municipal de Blanes, Gerona) -izquierda- y Playa del Posiguet (Término Municipal de Alicante, Alicante) -derecha-.

Estas obras constituyen una tipología estructural utilizada para la protección de playas desde mediados del siglo XX, fundamentalmente desde la década de los años setenta. Los efectos obtenidos con ellos han sido diversos, desde notables éxitos hasta reconocidos fracasos.

Su estudio ha sido abordado en múltiples ocasiones y la propuesta de un método de diseño para este tipo de obras ha sido, y es, un objetivo general perseguido por muchos investigadores. Sin embargo, pese a lo prolijo de los estudios realizados en este campo, existe una notable dispersión de esquemas analíticos de dimensionamiento, lo cual pone de manifiesto la dificultad real al abordar el diseño de un dique exento por la carencia de unas pautas claras, fiables y sencillas.

Como consecuencia, la adopción de esta tipología estructural como solución para la protección o estabilización de una playa resulta menos atractiva que la de otro tipo de actuaciones. Esta realidad contrasta con la teórica conveniencia de utilizar los diques exentos por sus ventajas desde la perspectiva de una menor afección a la dinámica litoral, por lo que desde el Laboratorio de Puertos de la Escuela de Caminos de Madrid se ha llevado a cabo una investigación sistemática, orientada al desarrollo de un método para el diseño funcional y ambiental de diques exentos, que permita definir sus características fundamentales en función del efecto que se quiera inducir en la costa, satisfaciendo las demandas sociales y preservando o mejorando la calidad del medio ambiente litoral.

2. OBJETIVOS

Se trata de plantear el problema desde el punto de vista científico, técnico y de proyecto, partiendo de la base de que se conocen las características climáticas, geomorfológicas y de la dinámica litoral del lugar donde se estudia ubicar el dique exento, y de que se sabe cuál es el resultado que se quiere inducir en la costa tras su construcción, por lo que tiene que poder fijar "a priori" el estado final de equilibrio. Por tanto, el objetivo perseguido en la investigación llevada a cabo, es el de plantear un modelo analítico predictivo para el diseño funcional (no estructural) de diques exentos, de aplicabilidad general, que permita:

1. Tener en cuenta las características climáticas y geomorfológicas del lugar donde se va a proyectar la obra.
2. Determinar la correcta ubicación del dique en la franja litoral considerando la interacción entre la obra y el transporte longitudinal de sedimentos y teniendo en cuenta los conceptos de profundidad litoral y de cierre.
3. Relacionar las características geométricas y estructurales del dique con los efectos producidos en la costa (la potencial posibilidad de generar lenguas de arena sumergidas o de dar lugar a formaciones tipo tómbolo o hemitómbolo).
4. Satisfacer las demandas sociales y preservar o mejorar la calidad del medio ambiente litoral, al favorecer con sus efectos en la costa el uso y disfrute de las playas y permitir, simultáneamente, el desarrollo de biocenosis típicas de sistemas arrecifales, potenciando así la biodiversidad del medio.

3. METODOLOGÍA

Se inició la investigación llevando a cabo una profunda revisión del estado del arte en materia de diques exentos y se encontró que existen muchos modelos de diseño que relacionan el tipo de respuesta inducida en la costa con los dos parámetros geométricos básicos de este tipo de obras, que son: la longitud del dique exento y la distancia de éste a la línea inicial de orilla.

Sin embargo, prácticamente ninguno de ellos relaciona la respuesta de la costa tras la construcción del dique con variables de otra naturaleza, como las que caracterizan el clima marítimo local o la geomorfología del lugar. Esto implica que dichos modelos no pueden aplicarse generalizadamente

porque como los efectos producidos en la costa por un dique exento son notablemente sensibles al oleaje incidente y, por tanto, a los estados del mar y a la batimetría local, los métodos de diseño que no consideran como variables del problema las condiciones de contorno sólo pueden aplicarse en aquéllos casos en los que dichas condiciones de contorno climáticas y geomorfológicas se asemejen a las de los casos de origen que fueron considerados para la formulación del modelo.

Tras este análisis se concluyó que para dotar al método de diseño de ese carácter general, era necesario estudiar las posibles relaciones entre variables de distinta naturaleza que tuviesen influencia en los cambios hidrodinámicos y morfológicos de la costa tras la construcción de un dique exento. Para ello se estableció una metodología de trabajo basada en tres cuestiones clave:

1. En primer lugar, la selección de diques exentos a considerar como fuentes de origen de los datos de estudio.

Se consideraron inicialmente todos los diques existentes en el litoral español y se establecieron unos criterios de selección que permitiesen acotar la muestra y considerar sólo aquéllos de características homogéneas para los que los parámetros que tienen influencia en la respuesta de la costa pero que no iban a ser considerados como variables del problema fueran prácticamente iguales. (Posteriormente, las hipótesis adoptadas como criterios de selección habrían de ser entendidas como prescripciones a tener en cuenta al aplicar el método de diseño obtenido como resultado de la investigación).

Los criterios de selección fueron los siguientes: considerar diques exentos aislados en playas de arena abiertas, de baja cota de coronación (francobordo entre -0,50 y 2 m) y estructura permeable con sección granular homogénea, ubicados en zonas donde la carrera de marea fuera menor o igual a 1 m. Al aplicar estos filtros el conjunto definitivo de diques exentos considerados como fuentes de datos quedó reducido a un conjunto de 19 obras, que son las que se recogen en la Figura 2 y en la Tabla 1.



Figura 2. Mapa de situación de los diques exentos considerados en la investigación.**Tabla 1.** Conjunto de diques exentos del litoral mediterráneo empleados en la investigación.

CÓDIGO	Provincia	Término Municipal	Playa	Respuesta de la costa
T1	Tarragona	Tarragona (Altafulla)	Tamarit	Saliente
T2	Tarragona	Cambrils	Cap de Sant Pere	Saliente
C1	Castellón	Benicásim	Terrers	Saliente
C2	Castellón	Burriana	El Serradal	Tómbolo
C3	Castellón	Chilches	Chilches	Tómbolo
C4	Castellón	Chilches	Chilches	Tómbolo
A1	Alicante	Denia	Les Basetes	Limitada/Nula
A2	Alicante	Altea	La Roda	Saliente
A3	Alicante	Alicante	Postiguet	Tómbolo
MU1	Murcia	Águilas	Poniente	Saliente
AL1	Almería	Almería	Las Conchas	Saliente
AL2	Almería	Roquetas de Mar	Aguadulce	Saliente
AL3	Almería	Adra	San Nicolás	Tómbolo
G1	Granada	Almuñécar	Puerta del Mar	Saliente
MA1	Málaga	Rincón de la Victoria	Cala del Moral	Saliente
MA2	Málaga	Málaga	Malagueta	Saliente
MA3	Málaga	Estepona	La Rada	Limitada/Nula
CA1	Cádiz	La Línea	Levante	Saliente
ME1	Melilla	Melilla	Cárabos	Limitada/Nula

- En segundo lugar, la elección de variables a estudiar (teniendo en cuenta sólo aquellas que son determinantes con el fin de simplificar el problema), y la definición de monomios adimensionales entre los que buscar relaciones de dependencia.

El conjunto de variables consideradas en la investigación que necesitaron ser medidas o calculadas para cada uno de los 19 diques exentos anteriores, son las que se recogen en la Tabla 2, y sus valores son los de la Tabla 3. Asimismo, el conjunto de monomios adimensionales empleados para estudiar las relaciones entre las distintas variables son los que figuran en la Tabla 4.

Tabla 2. Variables con influencia en la respuesta de la costa tras un dique exento.

Parámetros relacionados con el clima marítimo local	
H_{12}	Altura de ola significativa en aguas profundas excedida 12h al año en régimen medio.
T_s	Periodo significativo del oleaje correlado con la altura de ola H_{12} .

L_0	Longitud de onda del oleaje en aguas profundas calculada con el periodo significativo.		
L_d	Longitud de onda del oleaje a pie de dique calculada con el periodo significativo.		
Parámetros relacionados con el dique exento			
X	Distancia del dique exento a la línea inicial de orilla.		
B	Longitud del dique exento.	A	Anchura de coronación.
CC	Cota de coronación.	d	Profundidad del dique exento.
Parámetros relacionados con la playa y el material sedimentario			
m_t	Pendiente media teórica de la playa sumergida. ($m_t = d/X$)		
S	Relación entre el peso específico del sedimento y el del fluido.		
Y	Longitud del saliente formado a resguardo del dique exento.		
Respuesta	Tipo de respuesta inducida en la costa (tómbolo, saliente, respuesta limitada/nula).		
Parámetros relacionados con la dinámica litoral			
d_{sa}	Profundidad litoral calculada a partir de la fórmula de Hallermeier (1983). $d_{sa} = \frac{2,9 \cdot H_{12}}{\sqrt{(S-1)}} - \frac{110 \cdot H_{12}^2}{(S-1) \cdot g \cdot T_s^2}$		
X_{sa}	Ancho de la franja litoral o zona surf. ($X_{sa} = d_{sa} / m_t$)		
NI_0	Número de Iribarren en aguas profundas, que relaciona la pendiente media de la playa con el peralte del oleaje en profundidades indefinidas. $NI_0 = \frac{m_t}{\sqrt{\frac{H_{12}}{L_0}}}$		
NI_d	Número de Iribarren a pie de dique, que relaciona la pendiente media de la playa con el peralte del oleaje a la profundidad en la que se encuentra el dique exento. $NI_d = \frac{m_t}{\sqrt{\frac{H_{12}}{L_d}}}$		

Tabla 3. Valores de las variables consideradas en la investigación para cada uno 19 diques exentos.

CÓDIGO	Parámetros relacionados con el dique exento					Parámetros relacionados con la playa		Parámetros relacionados con el clima marítimo local				Parámetros relacionados con la dinámica litoral			
	X (m)	B (m)	CC (m)	A (m)	d (m)	m_t	Y (m)	H_{12} (m)	T_s (s)	L_0 (m)	L_d (m)	d_{sa} (m)	X_{sa} (m)	NI_0	NI_d
T1	180	100	0,50	5	4,0	0,022	82	2,30	7	83,43	43,13	4,66	210	0,134	0,096
T2	195	120	2,00	12	4,5	0,023	34	2,30	7	83,43	47,34	4,66	202	0,139	0,105
C1	149	205	0,70	10	3,0	0,020	132	2,83	7	85,65	34,66	5,55	276	0,111	0,070
C2	50	82	0,50	9	3,0	0,060	50	2,83	7	85,65	34,66	5,55	93	0,330	0,210
C3	138	138	0,50	8	2,0	0,014	138	2,83	7	85,65	23,86	5,55	389	0,079	0,041
C4	177	150	0,50	7	2,0	0,011	177	2,83	7	85,65	23,86	5,55	492	0,062	0,033
A1	290	183	-0,50	12	2,5	0,009	24	3,07	8	92,05	31,59	6,01	697	0,047	0,028
A2	180	190	0,20	12	5,0	0,028	59	3,07	8	92,05	56,52	6,01	216	0,152	0,119
A3	78	155	1,00	7	3,0	0,038	78	3,07	8	92,05	37,25	6,01	156	0,211	0,134
MU1	120	200	1,00	12	4,0	0,033	105	3,86	7	81,75	42,27	6,95	209	0,153	0,110
AL1	120	190	0,50	8	4,5	0,038	92	3,14	8	94,91	53,86	6,16	164	0,206	0,155
AL2	88	100	0,50	6	3,0	0,033	63	3,14	8	94,91	38,41	6,16	185	0,183	0,117
AL3	72	102	0,50	6	3,5	0,049	72	3,14	8	94,91	43,92	6,16	127	0,267	0,182
G1	130	150	0,00	8	6,5	0,050	108	2,85	8	105,65	77,19	5,79	116	0,304	0,260
MA1	200	175	0,50	10	5,0	0,025	80	2,85	8	105,65	64,87	5,79	232	0,152	0,119
MA2	180	205	0,25	6	5,0	0,028	30	2,85	8	105,65	64,87	5,79	209	0,169	0,133
MA3	170	160	0,00	12	3,5	0,021	14	3,85	9	137,48	63,61	7,78	378	0,123	0,084
CA1	145	165	1,80	15	3,7	0,024	30	3,85	9	137,48	66,66	7,78	322	0,144	0,100
ME1	186	200	-0,50	10	3,5	0,019	13	3,14	8	94,91	43,92	6,16	327	0,103	0,070

Tabla 4. Monomios adimensionales considerados en la investigación.

Monomios adimensionales relacionados con las características del dique	
B/X	Factor geométrico del dique o ratio entre la longitud del dique exento (B) y su distancia inicial a la línea de orilla (X).
Monomios adimensionales relacionados con las características del entorno	
H_{12}/L_0	Peralte del oleaje en aguas profundas, donde H_{12} es la altura de ola significativa excedida doce horas al año en régimen medio y L_0 es la longitud de onda del oleaje en aguas profundas calculada con el periodo significativo del oleaje (T_s).
H_{12}/L_d	Peralte del oleaje a la profundidad a la que se encuentra el dique, donde H_{12} es la altura de ola significativa excedida doce horas al año en régimen medio y L_d es la longitud de onda del oleaje a pie de dique calculada con el periodo significativo del oleaje (T_s).
NI_0	Número de Iribarren en profundidades indefinidas, que relaciona la pendiente media teórica de la playa (m_t) con la raíz cuadrada del peralte del oleaje en aguas profundas (H_{12}/L_0).
NI_d	Número de Iribarren a pie de dique, que relaciona la pendiente media teórica de la playa (m_t) con la raíz cuadrada del peralte del oleaje a la profundidad en la que se encuentra el dique exento (H_{12}/L_d).
X/X_{sa}	Factor de posición del dique o ratio entre la distancia inicial a la línea de orilla del dique exento (X) y el ancho de la franja litoral o zona <i>surf</i> (X_{sa}), en la que tiene lugar la mayor parte del transporte longitudinal de los sedimentos.
d/d_{sa}	Factor de profundidad del dique o ratio entre la profundidad a la que se encuentra ubicado el dique exento (d) y la profundidad límite litoral (d_{sa}).
Y/B	Factor geométrico del saliente o ratio entre la longitud del saliente formado a resguardo del dique exento (Y) y la longitud de la estructura (B).
Y/X	Factor de posición del saliente o ratio entre la longitud del saliente formado a resguardo del exento (Y) y la distancia inicial del dique a la línea de orilla (X).

- El tercer y último paso de la metodología de trabajo consistió en la búsqueda de relaciones entre el factor geométrico del dique (B/X) y el resto de monomios adimensionales, y el ajuste de funciones entre los monomios para los que se encontrase algún tipo de relación utilizando el método de los mínimos cuadrados.

4. RESULTADOS

De entre los casos estudiados sólo se obtuvieron resultados claros y positivos en las relaciones entre: B/X y NI (tanto NI_0 como NI_d); B/X y Y/X ; B/X y X/X_{sa} . El análisis de dichos resultados condujo a la propuesta de un método de diseño con el que se consigue el objetivo principal de la investigación, y que hace uso de las relaciones encontradas entre los monomios anteriores.

Se trata de un método que consta de cinco pasos, y que se puede aplicar una vez conocidos los datos de partida del problema y fijada la respuesta de la costa que se desea obtener. Se exige, previamente:

- Asumir que es aplicable al diseño de un dique exento aislado, rectilíneo y sensiblemente paralelo a la costa, de baja cota de coronación (francobordo entre -0,50 y 2 m) y de estructura permeable con sección granular homogénea.

2. Seleccionar para la ubicación del dique exento un tramo de costa abierto, no afectado por la presencia de ninguna otra obra o elemento que altere en las características del oleaje incidente.
3. Conocer, como datos de partida relativos al lugar de emplazamiento de la obra, previamente estudiados y calculados, los relacionados con el clima marítimo local, la playa, el material sedimentario y la dinámica litoral, definidos en la Tabla 2.
4. Fijar la respuesta de la costa que se desea obtener (tómbolo, hemitómbolo o respuesta limitada).
5. Considerar una aportación artificial de sedimentos, estable conforme a las características de la dinámica litoral local, con el fin de garantizar y acelerar la consecución del estado final de equilibrio que se quiere inducir en la costa, así como de minimizar los posibles efectos negativos de la erosión en las playas limítrofes con el tramo en el que se va a actuar.

Una vez verificadas todas las premisas y condiciones anteriores, los pasos a seguir serían los siguientes:

PASO 1

Comprobar, a modo de recomendación previa, si se está en un caso en el que el peralte del oleaje en profundidades indefinidas no supera el valor de 0,034. En caso de superarse ese valor no se recomienda el uso de las gráficas propuestas en la metodología porque se estaría fuera del rango de valores obtenidos con los datos de origen para los que se garantiza la aplicabilidad del método (Figura 3).

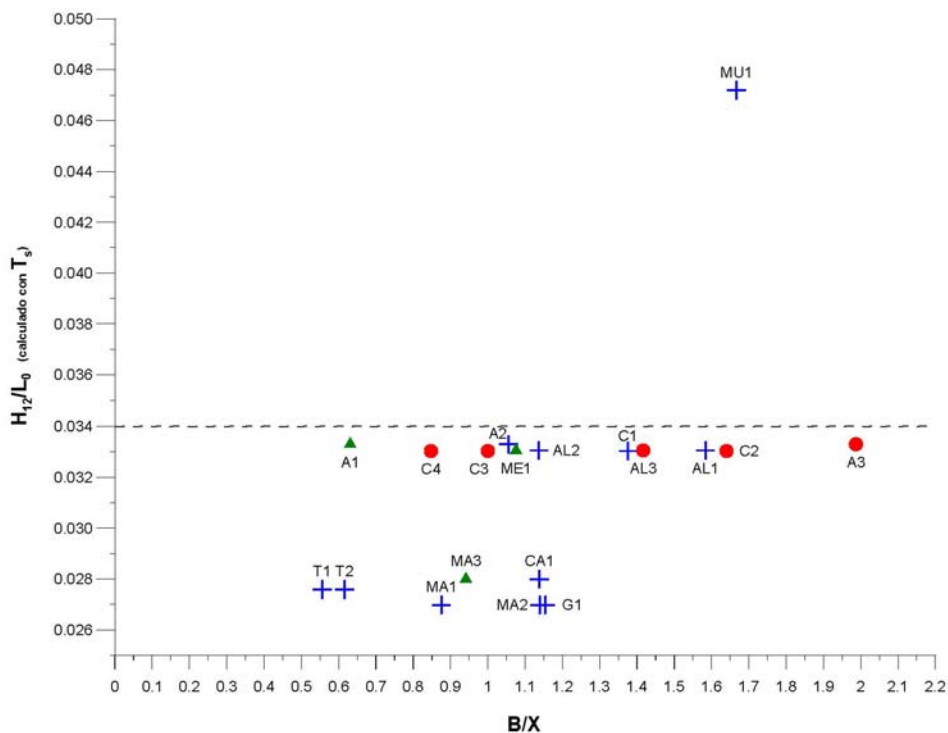


Figura 3. Relación entre el peralte del oleaje en aguas profundas y el factor geométrico del dique.

PASO 2

A partir de la gráfica de la Figura 4 y del dato del Número de Iribarren en aguas profundas, obtener un primer intervalo de valores posibles del factor geométrico (B/X) del dique exento que se quiere diseñar, para los cuales es esperable una respuesta significativa de la costa.

Con este paso se están vinculando las características geométricas básicas del dique exento a las características climáticas y morfológicas del emplazamiento.

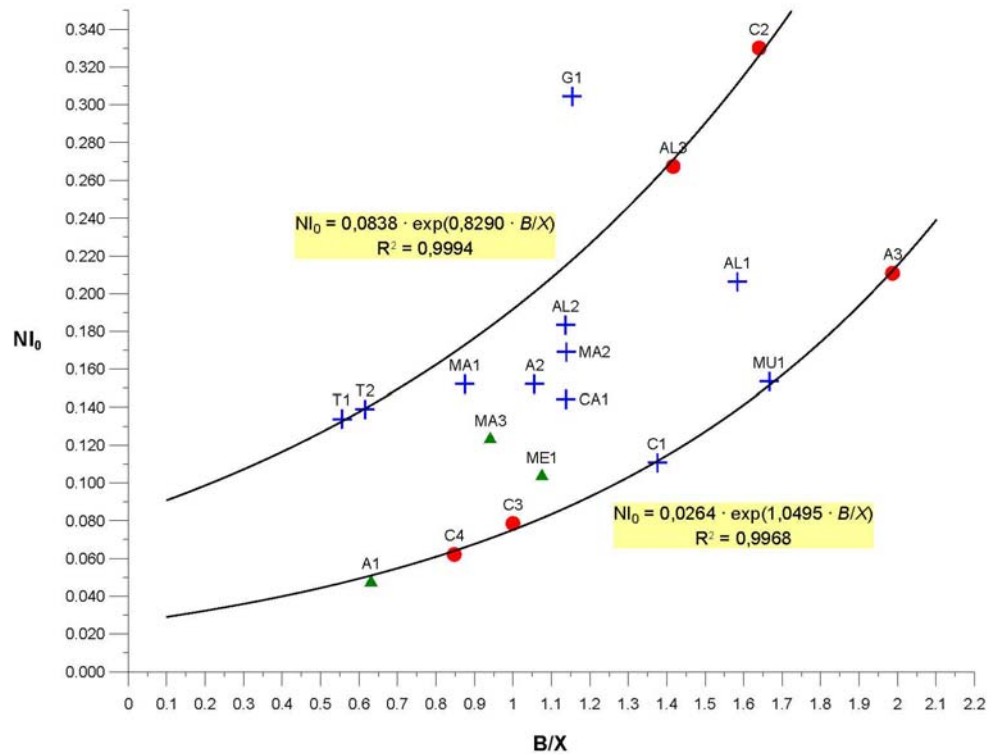


Figura 4. Relación entre el Número de Iribarren en profundidades indefinidas y el factor geométrico del dique exento.

PASO 3

En función de la magnitud de la respuesta que se quiere inducir en la costa, afinar el rango de valores posibles para el factor geométrico a partir de los resultados obtenidos en la gráfica de la Figura 5, que relaciona el factor geométrico del dique exento (B/X) con el factor de posición del saliente generado (Y/X), siendo Y la magnitud del saliente emergido formado a resguardo del dique exento y medido desde la línea inicial de orilla. Esto es:

Tómbolo		$B/X > 1,67$ (en todo caso $B/X > 0,85$)
Hemitómbolo	Saliente bien desarrollado ($Y/X > 0,5$)	$B/X \in [1'14, 1'67]$
	Saliente poco desarrollado ($Y/X < 0,5$)	$B/X \in [0'56, 1'14]$

De este modo se están vinculando las características geométricas básicas del dique exento a la respuesta que se quiere inducir en la costa tras su construcción.

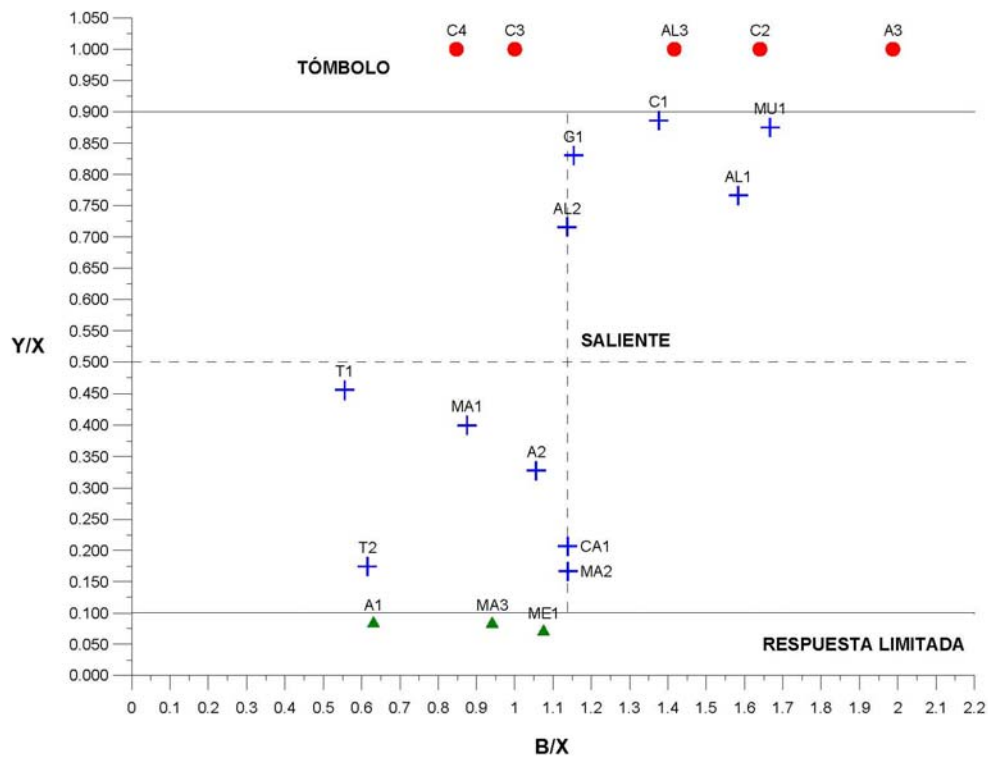


Figura 5. Relación entre el factor de posición del saliente formado en la costa y el factor geométrico del dique exento.

PASO 4

A partir de la gráfica de la Figura 6 y teniendo en cuenta el intervalo estimado de posibles valores para el factor geométrico B/X obtenido en los pasos anteriores, se fijaría la posición relativa del dique exento con respecto a la línea de rompientes (X/X_{sa}). De esta forma se estaría tomando la decisión de situar el dique en la zona litoral o activa del perfil de playa (si la profundidad a pie de dique es menor que la profundidad litoral: $X < X/X_{sa}$ y $d < d_{sa}$), en la zona de transición o asomeramiento (si la obra exenta se encuentra entre la profundidad activa y la de cierre: $d_{sa} < d < d_c$), o en profundidades mayores (profundidades *offshore* si se supera el punto neutro o la profundidad de cierre: $d > d_c$).

Asimismo, fijado el valor de X/X_{sa} , se estaría en disposición de determinar el valor del factor geométrico del dique exento (B/X) y el de la distancia de la estructura a la línea inicial de orilla (X). Con este último se calcularía el valor de la longitud del dique exento (B).

En este paso se estarían relacionando las características geométricas básicas del dique exento con las de la dinámica litoral local. (Conviene apuntar que la forma gráfica de la Figura 6 es semejante a la distribución del transporte longitudinal de sedimentos, que alcanza un máximo a $2/3$ de la distancia entre la línea de orilla y la línea de rotura del frente de ondas).

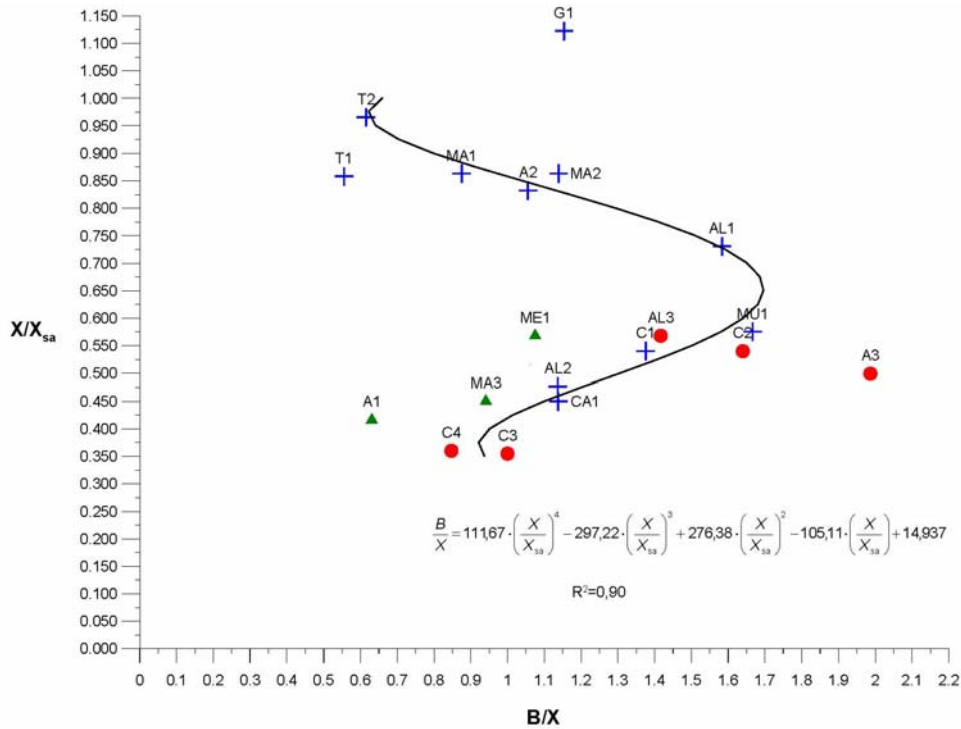


Figura 6. Relación entre el factor de posición y el factor geométrico del dique exento.

PASO 5

Con la gráfica de la Figura 7, y a partir del dato del Número de Iribarren a pie de dique (NI_d), se comprobaría si el valor del factor geométrico del exento se encuentra dentro del rango de valores obtenidos con los datos de origen.

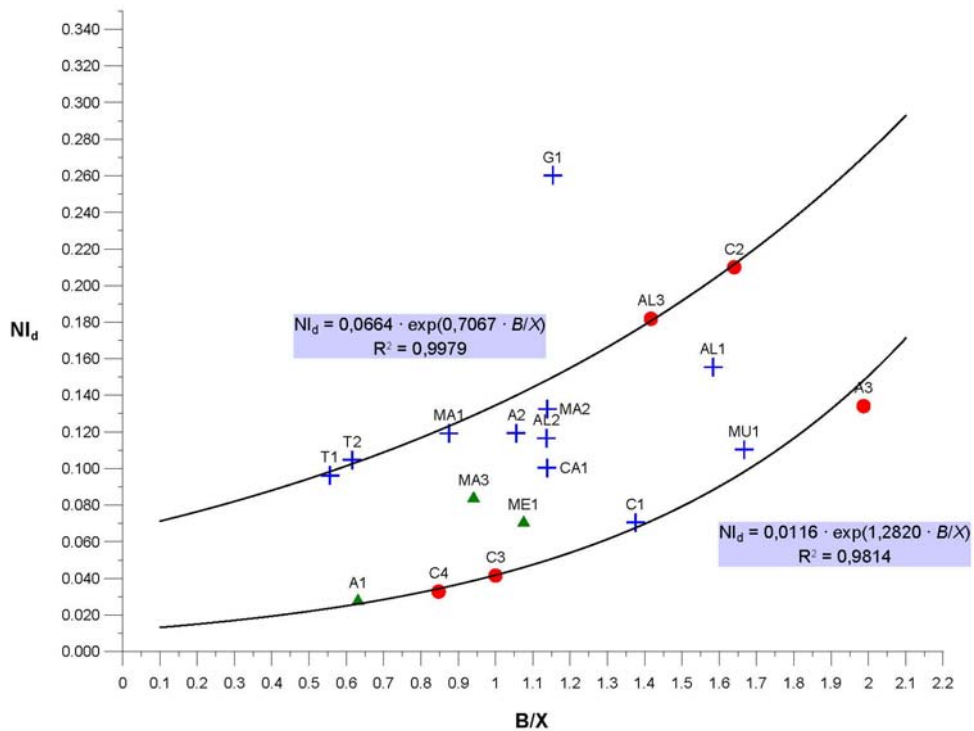


Figura 7. Relación entre el Número de Iribarren a pie de dique y el factor geométrico del exento.

5. CONCLUSIONES

La investigación llevada a cabo concluye con la propuesta de un método de diseño de diques exentos que responde a los objetivos planteados inicialmente, si bien es fundamental llamar la atención sobre su aplicabilidad limitada para el caso de diques exentos aislados que cumplan con las hipótesis inicialmente planteadas en la investigación, las cuales constituyen las prescripciones del método de diseño propuesto. Dado que el método se basa en unas gráficas de diseño ajustadas a datos reales de diques existentes en un determinado lugar (litoral mediterráneo español), éste sólo será válido desde un punto de vista cuantitativo para casos en los que las condiciones de contorno puedan asemejarse a las de los casos de origen.

Es, por ello, que se recomienda seguir investigando y emprender líneas de investigación dirigidas a ampliar la muestra con datos procedentes de ensayos en modelo físico y modelo numérico, o con diques de otros lugares del mundo, con el fin de mejorar el ajuste de las funciones obtenidas, encontrar relaciones con otras variables y generalizar la aplicabilidad del método.

6. 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 Sostenibilidad de la Costa y del Mar del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, y por el Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC), por permitir el acceso a sus archivos y la consulta de documentación, así como la lectura de los trabajos de investigación en materia de diques exentos, fundamentales para el desarrollo de la investigación presentada.

7. BIBLIOGRAFÍA

- BRICIO, L., NEGRO, V. y DIEZ, J.J. 2008. Geometric detached breakwater indicators on the Spanish Northeast Coastline. *Journal of Coastal Research*, Vol. 24, No. 5, (pp. 1289-1303). ISSN: 0749-0208.
- CHASTEN, M.A., ROSATI, J.D., MCCORMICK, J.W. y RANDALL, R.E. 1993. *Engineering Design Guidance for Detached Breakwaters as Shoreline Stabilization Structures*. Technical Report CERC-93-19. Vicksburg (Mississippi): U.S. Army Engineering Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center.
- DIEZ, J.J. 2003. Las áreas litorales. Análisis crítico de problemas, soluciones y alternativas de futuro. *Textos del IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, noviembre 2003, Madrid*, (pp.1491-1496). ISBN: 84-380-0261-7. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP).
- HALLERMEIER, R.J. 1983. Sand transport limits in coastal structure design. *Proceedings of the 2nd Coastal Structures Conference, March 1983, Arlington (Virginia)*, (pp. 703-716). American Society of Civil Engineers (ASCE).
- HERBICH, J.B. (ED.) 2000. *Handbook of Coastal Engineering*. Nueva York: McGraw-Hill, Chapter 5.
- HSU, J.R.C. y SILVESTER, R. 1990. Accretion behind single offshore breakwater. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 116, No. 3, mayo/junio 1990, (pp. 362-380).
- SILVESTER, R. y HSU, J.R.C. 1997. Coastal Stabilization. *World Scientific; Advanced Series on Ocean Engineering*, Vol. 14, Capítulo 4.2.
- PEÑA, J.M. DE LA y SÁNCHEZ, F.J. 2008. *Directrices para el diseño de diques exentos en las costas españolas*. Monografía, octubre 2008, ISBN: 978-84-7790-474-8, 153 p. Madrid (España): Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).