

ESTUDIO DE DIQUES SUMERGIDOS PARA PROTECCIÓN DE LA COSTA

M. D. Ortiz¹ y J. M. Garrido²

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas dos décadas han sido numerosos los estudios realizados en el campo de las estructuras marítimas de baja cota de coronación para protección de la costa, habiéndose desarrollado formulaciones para el cálculo de estabilidad y diseño (Van der Meer, 1991; Vidal *et al.*, 2000; Burcharth *et al.*, 2006). Sin embargo, es escaso el conocimiento que se tiene sobre el diseño y efectividad de los diques sumergidos en la protección de la costa. A objeto de atender a esta demanda, la Asociación técnica de Puertos y Costas crea un grupo de trabajo sobre diques sumergidos cuya labor se desarrolla en dos áreas principales. Por una parte, el estudio y selección de los criterios y modelos de diseño y cálculo y, por otra, el análisis de las experiencias obtenidas en casos reales ya construidos, con el objetivo final de ampliar en el conocimiento de esta tipología marítima y de dar una serie de recomendaciones para su diseño y aplicación en la costa española.

Para ello, se establece como objetivo general del grupo el de elaborar unas Recomendaciones para el diseño de diques sumergidos y rebasables para la defensa de la costa y sus afecciones a la dinámica sedimentaria. Estas se dividen en una serie de capítulos dedicados a las distintas fases de la vida de un dique: (1) Tipologías; (2) Diseño funcional: Sección transversal: Reflexión, rebase y transmisión, Planta: Transmisión, Formas en planta de la línea de costa; (3) Diseño último: Del manto principal, Del manto secundario y núcleo, De las bermas de pie, filtros de cimentación y plataformas de apoyo, Erosión del fondo y Modelos numéricos; (4) Materiales: tipos y características: Manto principal: Escolleras, bloques de cantera, piezas artificiales, Manto secundario: Escolleras, Núcleo; (5) Aspectos geotécnicos; (6) Métodos constructivos; (7) Otras consideraciones: Generación de vida, E.I.A., Estética, Afecciones a la navegación: Balizamiento; (8) Mantenimiento y seguimiento.

¹ Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar

² Iberport Consulting, S.A.

INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

Por otra parte, también se pretende incluir un apartado relacionado con las experiencias españolas en cuanto a la construcción de esta tipología estructural, por lo que se realiza un repaso a las construcciones más representativas de este tipo de estructuras en la costa española.

Por último, el trabajo se completa con la experimentación física en tanque 3D de dos tipologías de dique sumergido con manto de escollera y de cubos.

Con este planteamiento, se ha formado un grupo de trabajo multidisciplinar de manera que se aprovechen las potencialidades de los cuatro agentes identificados en el grupo de trabajo: Administración (Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar -MAGRAM), Científicos (IHA-Universidad de Cantabria, CEDEX, INHA), Consultores (KV Consultores, Berenguer Asociados, Iberinsa e Iberport Consulting) y Constructores (CYES y Ferrovial-Agroman).

En la presente comunicación se hace un resumen de los diferentes aspectos tenidos en cuenta en la investigación desarrollada y se describe el diseño experimental 3D que, en el contexto de los trabajos, se está llevando a cabo en el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX.

TIPOLOGÍAS

En general, el principal objetivo para el que se construyen las estructuras costeras es controlar la erosión costera en una zona determinada, afectada por la falta de material sedimentario o en la que se ha alterado la dinámica litoral, mediante la creación de un patrón de corrientes que reduzca las salidas de material y potencie el depósito en su área de actuación. Todo ello, sin trasladar el problema a otras zonas adyacentes, ni empeorar las condiciones de recreo, medioambientales o socioeconómicas de la zona, como por ejemplo la calidad de las aguas (renovación), tanto para el baño como para otros usos, la seguridad en el baño y en la navegación en áreas próximas, el paisaje, etc. En general, los criterios según los cuales se clasifica este tipo de estructuras son: (1) En función de la posición con respecto a la línea de costa, pudiendo ser paralelo a la costa (diques conectados y exentos), o perpendicular a la costa, (2) Según la deformabilidad de la estructura de protección: Los diques en talud están incluidos dentro de estructuras de protección flexibles, ya que, en las condiciones de oleaje de cálculo se admite una deformación. Una vez alcanzada dicha deformación, ésta se mantiene estable, con los elementos de la estructura también inalterados. Las estructuras flexibles admiten diversos grados de avería, aun manteniendo sus condiciones funcionales y fallan por acumulación de daño, produciéndose el daño tras la acción de muchas olas. (3) Por el efecto de la estructura en el oleaje: Clasificación energético-funcional: en este caso se trata de estructuras de protección mixtas: los coeficientes de transmisión, reflexión y disipación son del mismo orden. (4) Clasificación en función de la metodología de cálculo: Las obras de protección del litoral tienen dimensiones horizontales relativas a la longitud de onda, tales que pueden considerarse en conjunto grandes respecto al flujo, por lo que, para el cálculo de esfuerzos, será necesario determinar las modificaciones que la estructura introduce en el flujo. (5) Dependiendo de la función que desempeñe (diseño funcional): reducción de impactos y representación del esquema de diques con respecto a la protección de la costa, mejora de las condiciones recreativas

y la conservación de reservas naturales. (6) En función de la resistencia a las acciones de oleaje y corriente (Diseño estructural). Las estructuras reducen la energía del oleaje que llega a la línea de costa y en consecuencia, también influyen en el transporte de sedimentos y en los cambios impuestos en la línea de costa.

De los casos analizados en España, se observa que la función principal que tienen los diques, es la generación de nuevas playas y la protección frente a la erosión, por lo que, la mayoría son paralelos a la costa, si bien en 10 de las playas analizadas (36 % de los casos) se han encontrado combinados con otras tipologías. La sección transversal es principalmente monocapa, aunque en casos concretos se han encontrado secciones multicapas.

Del resto del mundo se han estudiado y completado 147 cuestionarios de playas en los que se han encontrado 184 estructuras de diques sumergidos o de baja cota de coronación.

DISEÑO FUNCIONAL

El buen funcionamiento de un dique sumergido y de su zona de influencia depende fundamentalmente de la hidrodinámica generada, que a su vez depende del nivel de transmisión del oleaje y de la acumulación de agua en el lado abrigado (en adelante, pilling-up).

En el trabajo desarrollado se han incluido cuatro epígrafes dedicados a la *transmisión* en un dique de baja cota, la *circulación hidrodinámica* en la zona situada a su abrigo, las tendencias de la *forma en planta* previsibles en función de diversos parámetros climáticos y geométricos y, por último, la *reflexión* en el dique.

Transmisión

De las formulaciones presentadas para el cálculo de la transmisión, se puede emplear la de van der Meer *et al.* (2005) de forma genérica, aunque se presentan otras opciones para casos específicos. Por ejemplo, para diques no excesivamente sumergidos puede ser recomendable la formulación de Buccino y Calabrese (2007), obtenida mediante la calibración de un modelo teórico con datos medidos en modelo físico y con mejor ajuste de los datos disponibles.

En diques situados en pequeñas profundidades, se recomienda emplear la fórmula de Calabrese *et al.* (2002), que por otro lado cuenta con la ventaja de haber sido obtenida a partir de datos en modelo físico a gran escala. Por último, también se ha incluido un trabajo dedicado específicamente a los diques arrecife.

Circulación hidrodinámica

El volumen de agua introducido por el oleaje (por rebases u oleaje en rotura) provoca acumulaciones en la zona abrigada y el ascenso del nivel del mar hasta que se alcanza un punto de equilibrio, tanto de fuerzas como de masas, en el que los caudales netos

INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

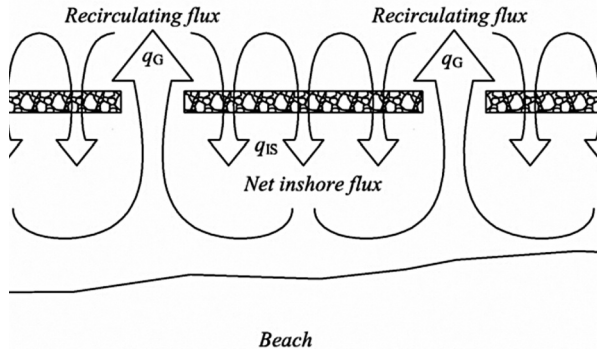


Figura 1. Patrón de circulación producido por el oleaje en las cercanías de un dique sumergido (Zanuttigh et al., 2008).

que también debe satisfacerse, para lo cual los distintos autores proponen aproximaciones basadas en la aplicación del teorema de Bernoulli al camino de retorno del flujo.

Formas en planta

En este apartado se presenta un conjunto de trabajos que proponen sencillas reglas de cálculo para determinar la posible forma en planta de una playa abrigada por uno o varios diques sumergidos.

Todavía no se dispone de suficiente información de campo como para validar estas expresiones o para establecer una relación clara entre las principales variables del proceso y el comportamiento final de la obra. Una solución a este déficit de informa-

entrantes (q_{IS} , igual a la diferencia entre las entradas y salidas sobre o a través de los diques), se igualan con los caudales recirculados (q_G) por los huecos entre estructuras.

Este problema se aborda desde un punto de vista bidimensional (confinamiento lateral total), donde las corrientes de retorno son nulas y el piling-up máximo, o tridimensional, donde se incluye una nueva condición de equilibrio para las rip-currents

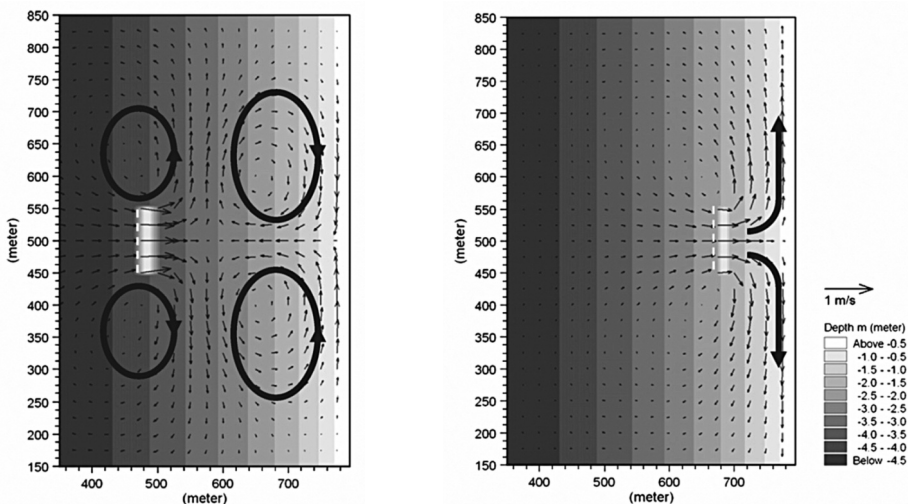


Figura 2. Ejemplos de los patrones de circulación inducidos en la zona abrigada por un dique sumergido (flechas negras de trazo grueso). Izquierda: tendencia a acumular. Derecha: tendencia a erosionar. En Ranasinghe et al. (2010).

ción es utilizar modelos numéricos, mediante los cuales se ha estudiado la posibilidad de acumulación de material en diversos escenarios (Ranasinghe *et al.*, 2010).

En estos casos, las fórmulas presentadas pretenden fundamentalmente dar una idea de la tendencia que tendrá la forma en planta, distinguiendo entre patrones acumulativos o erosivos en función de la hidrodinámica generada al abrigo de los diques.

En otros casos las fórmulas son una simple modificación de otras ecuaciones anteriores obtenidas para diques exentos emergidos no rebasables o con un nivel de transmisión muy bajo.

Por tanto, deben tomarse estas expresiones con cautela, comprobando en cada caso concreto si son aplicables, atendiendo a las circunstancias en que se obtuvieron.

Reflexión

Por último, para la estimación de la reflexión se proponen dos trabajos que tratan de obtener el coeficiente de reflexión en diques de escollera, permeables y de baja cota de coronación (van der Meer *et al.* 2005 y Zanuttigh y van der Meer, 2008).

Modelos numéricos

En cuanto a los modelos numéricos, recientemente se han desarrollado avances que permiten abordar el estudio de la interacción del oleaje con estructuras costeras. Se

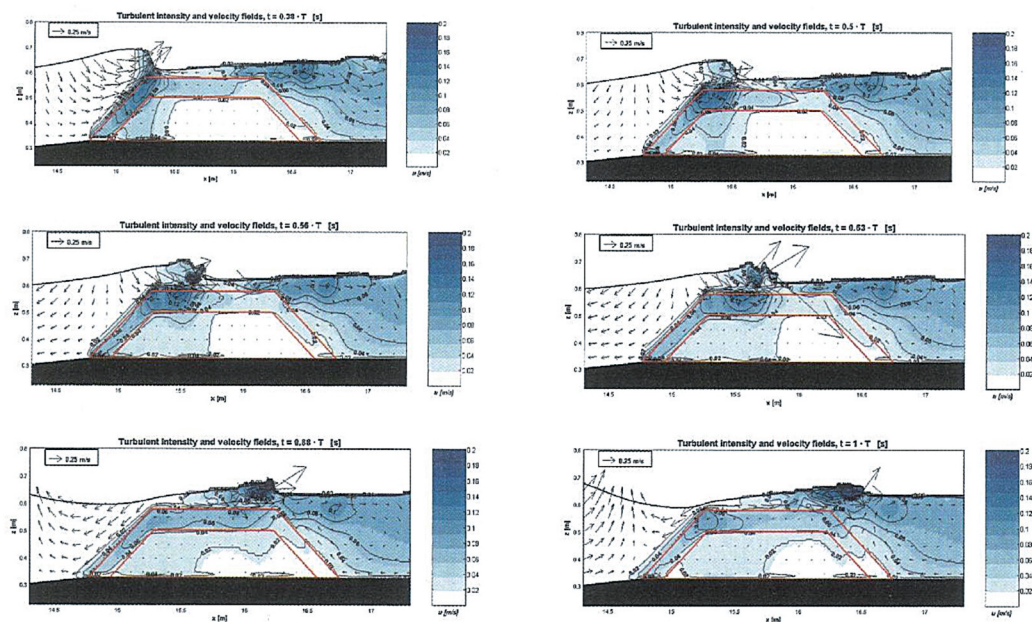


Figura 3. Representación en superficie libre, módulo y dirección de la velocidad 2DV para un oleaje irregular interactuando con una estructura de baja coronación, modelo RANS-VOF 2DV.

INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

ha revisado el estado del arte de la modelación numérica de los procesos de interacción del oleaje con estructuras de baja coronación y sumergidas, haciendo especial hincapié en la descripción de las distintas características, hipótesis, simplificaciones y limitaciones, que cada familia de modelos numéricos presentan a la hora de evaluar las corrientes generadas por la rotura del oleaje sobre este tipo de estructuras. En resumen, se presenta la descripción general sobre el desempeño numérico de dos familias específicas de modelos: a) los modelos que resuelven el flujo bidimensional e integrado en vertical (2DH), y b) los modelos que resuelven las ecuaciones de Reynolds de Navier-Stokes promediadas, RANS (2DV y 3D), con respecto a su aplicabilidad directa en estudios de propagación de oleaje sobre batimetrías reales, y particularmente, su interacción con estructuras sumergidas o de baja coronación.

DISEÑO ÚLTIMO

Los diques rebasables son aquellos que, debido a su baja cota de coronación, han sido diseñados para permitir un rebase importante sobre la misma. El mecanismo de transmisión más importante es el rebase sobre la coronación, aunque la transmisión a través del dique puede ser significativa, especialmente en el caso de diques arrecifes, en los que el tamaño de la escollera del núcleo es similar a la del manto principal. En el contexto de este documento, se denomina: (A) Diques rebasables: diques con francobordo positivo o negativo en los que la rotura del oleaje determina las características del flujo sobre los taludes y por lo tanto la estabilidad de las piezas. (B) Diques sumergidos: diques con francobordo negativo en los que el flujo alrededor de la estructura no viene determinado por el flujo de rotura del oleaje, que puede producirse o no al paso de las olas sobre el dique. La separación entre los dos tipos de estructuras viene dada por la expresión $-H/F < 0.8$, para $F < 0$. Donde en H es una altura de ola incidente característica y F es la distancia entre el nivel medio del mar y la coronación o francobordo, con valor positivo para coronación por encima del nivel medio.

Estabilidad

En lo que se refiere a diques sumergidos, en Vidal et al. (1999) se demuestra que para este tipo de estructuras, el parámetro de flujo que mejor describe la estabilidad de las piezas es un parámetro de movilidad, MP. En 2007, Vidal et al. proponen el uso de un parámetro de movilidad crítico, que se produce en el borde de tierra de la coronación de la estructura sumergida. Además de los datos de oleaje monocromático utilizados para ajustar la fórmula, (UCA 2001 R), se han comparado los datos de oleaje irregular de la misma fuente (UCA 2001 IRR), los datos monocromáticos de Vidal et al. (1999) (UCA 1998 R), los ensayos realizados en Delft Hydraulics (DELFT 1994) y los ensayos en prototipo realizados en la protección del emisario de Santander (PROT 2001). De todo ello se puede extraer que para niveles de daño bajos ($S < 1$) la fórmula sobreestima ligeramente el daño, mientras que para valores muy elevados de daños ($S > 7$) produce una infraestimación del daño, S.

Socavación

En el marco de este trabajo se denomina socavación a la erosión del suelo natural granular en la proximidad de las estructuras costeras debido a la acción del oleaje y

las corrientes. Cuando la socavación se produce al pie de una estructura en talud puede provocar la inestabilidad del mismo y como consecuencia el deslizamiento de su manto de protección.

En los diques sumergidos ésta puede producirse al pie en el lado mar y en las inmediaciones del morro. La socavación que se produce al pie del dique en lado mar se debe al flujo hidrodinámico dominado por la rotura del oleaje, el ascenso-descenso de la masa de agua por el talud, y las corrientes longitudinales de rotura a lo largo de la alineación del dique. En este caso la socavación está influida por la porosidad del dique, su geometría, y en especial por su coeficiente de reflexión. A más reflexión mayor socavación, pudiendo incluso producirse acreción si el coeficiente de reflexión es muy bajo, según se muestra en la figura siguiente para revestimientos costeros (donde α es la pendiente del talud, y l la distancia desde el punto de máximo remonte en un perfil de equilibrio hasta la ubicación de la estructura).

La protección frente a la socavación puede llevarse a cabo mediante un dragado previo o mediante una berma de protección, siendo recomendable además disponer una base de apoyo, según se detalla en los siguientes apartados.

MATERIALES

Las características de los materiales utilizados en la construcción de los diques sumergidos constituyen un factor de gran importancia para alcanzar cada uno de dichos requerimientos y, por ello, una adecuada selección de los mismos afectará de forma determinante a la longevidad y al éxito de la obra. Es por ello por lo que también para los materiales deben tenerse en cuenta una serie de requerimientos como son el Peso específico y la Resistencia; la Durabilidad, que en este tipo de obras sumergidas se refiere a la capacidad para resistir la abrasión, los ataques químicos, la corrosión y la degradación producida por el medio marino; la Adaptabilidad a la diferentes formas y tamaños que pueda requerir el diseño del dique sumergido; la Disponibilidad de material adecuado en suficiente cantidad, que afectará tanto a los costes de construcción como al coste de mantenimiento de la obra; el Coste, además del propio del material, el del factor transporte a la zona de emplazamiento y el coste de la manipulación y almacenamiento de los mismos hasta su puesta en obra; Factores de tipo ambiental, de cara a minimizar el efecto de materiales que pueden resultar contaminantes para el medio marino o el efecto de turbidez en fase de construcción y a potenciar efectos favorables para el medio ambiente al contribuir en la generación de ecosistemas.

Para la construcción de diques sumergidos se utilizan generalmente los siguientes tipos de materiales: Escollera natural, Piezas prefabricadas de hormigón, Geotextiles

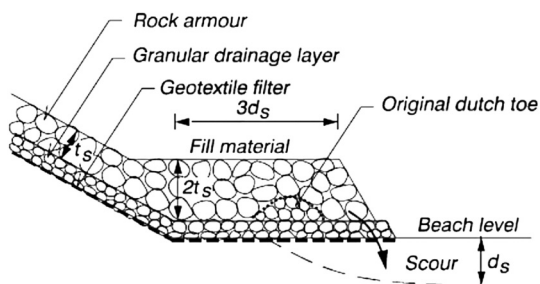


Figura 4. Protección del pie de estructuras en talud frente a la socavación mediante una berma de protección (McConnell 1998)

INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

(filamentos de plástico, fibras tejidas), seleccionados según los requerimientos anteriormente expuestos, y según los métodos constructivos disponibles.

ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Al igual que ocurre con todas las obras que se asientan sobre el terreno o utilizan el mismo para obtener materiales de construcción, para los proyectos y la ejecución de diques sumergidos es fundamental conocer las características geotécnicas del fondo marino sobre el que se ejecutará el dique.

En función de las características propias de estas obras, unido a criterios de coste-presupuesto de las obras, el presente apartado tratará de definir el alcance de la campaña de reconocimiento geotécnico, de la toma de muestras y de los correspondientes ensayos de laboratorio a realizar, que permitan tener un conocimiento adecuado del terreno natural y poder estimar su comportamiento derivado de la construcción del dique y analizar la respuesta conjunta del suelo-dique debido a las acciones a las que estará sometido durante la vida útil de la obra.

Los resultados de esta investigación tendrán como principal objetivo poder evaluar la seguridad frente a los diferentes modos de fallo geotécnicos (E.L.U) asociados a este tipo de diques, junto a otras características o propiedades relacionadas con E.L.S. (R.O.M. 0.5-05): (1) Necesidad de dragar y medios a emplear, (2) Capacidad portante del terreno natural, (3) En caso de suelos blandos, estimación de asentos en el tiempo y espesor de clava, (4) Características del terreno frente a la erosión y la necesidad de protección y diseño de las mismas, (5) Necesidad de analizar situaciones no drenadas o de corto plazo, (6) Posibilidad de la existencia de sobrepresiones intersticiales debidas a la acción del oleaje en el fondo marino, (7) Estabilidad global del dique, (8) Estabilidad global de bermas o elementos del dique, (9) Estabilidad frente a socavación del fondo, (10) Estabilidad frente a la erosión interna y (11) Necesidad de capas de filtro o geotextiles en el contacto del dique con el fondo marino.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Los procedimientos constructivos utilizados en la ejecución de diques sumergidos están condicionados a los medios empleados en el avance del dique, planteándose las operaciones por medios marítimos, terrestres o compatibilizando ambos métodos.

Varios son los condicionantes a analizar que determinan como óptimo uno u otro procedimiento, dependiendo la elección, entre otros, de características como la situación y emplazamiento del dique respecto a la costa, la batimetría y calados en la zona, la tipología de dique sumergido y características geométricas del mismo, los volúmenes disponibles de material y gestión, en su caso, del material a retirar, la disponibilidad de medios y equipos, las características climáticas, oceanográficas y de abrigo de la zona asociados a riesgos derivados en la ejecución de las obras, la posibilidad de ejecución de obras auxiliares y distancia a las obras, la disponibilidad de superficies a ocupar durante la ejecución, los accesos, itinerarios e interferencias con los tráficos terrestres y/o marítimos, los criterios económicos y de plazo y, por último, el calado

y las pendientes de los taludes que establecen por sí mismas un límite para los medios constructivos.

En cuanto a métodos constructivos, se comienza por analizar los condicionantes que influyen desde el punto de vista de la ejecución, desarrollando aspectos como el nivel de referencia, la topografía y batimetría, el clima marítimo y meteorología, la geología y geotecnia, las canteras y préstamos, los aspectos medioambientales, las superficies necesarias, los accesos y el tráfico marítimo e interferencias. Posteriormente, se analizan las primeras actividades a realizar en la obra antes del comienzo de la ejecución y se detallan las necesidades de instalaciones auxiliares a disponer dependiendo del método constructivo empleado. Otro apartado relevante describe la secuencia de trabajos en la construcción de un dique sumergido por medios marítimos y terrestres, recomendando en cada etapa, para ambos métodos, la maquinaria y medios auxiliares apropiados, los condicionantes de los materiales y medios para las operaciones a realizar, criterios de elección de los métodos y maquinaria y las ventajas e inconvenientes de la ejecución de ambos procedimientos. Se concluye comentando aspectos relativos a la planificación de la obra y al control de la ejecución.

OTRAS CONSIDERACIONES

Otros aspectos considerados en el trabajo que se presenta se refieren a recomendaciones en la redacción de un proyecto de Evaluación de Impacto Ambiental, indicaciones en cuanto a la necesidad y tipos de balizamiento para diques sumergidos, los aspectos ecológicos derivados de la construcción de un dique de baja cota de coronación que se definen en función de cierta cantidad de variables como pueden ser la ubicación geográfica del dique, la naturaleza del fondo en el que se construye el dique, la diversidad de fauna y flora en la misma, y los aspectos estéticos.

En relación a estos últimos, comentar que los diques sumergidos son especialmente valorados por su bajo impacto visual. Ese hecho es especialmente relevante cuando

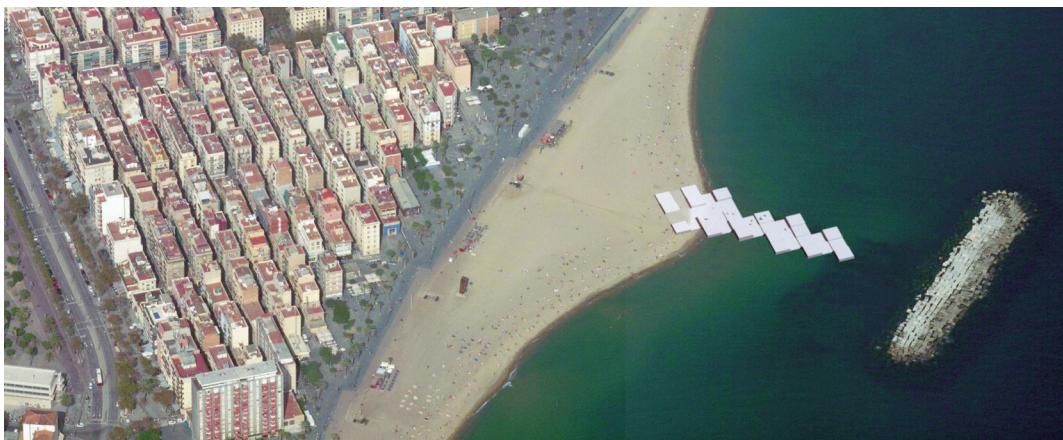


Figura 5. Imagen de la propuesta plástica para el nuevo dique.

INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

la carrera de marea es pequeña, pero ya no lo es tanto cuando se hacen muy visibles durante las mareas bajas. En esa situación su diseño formal y su integración con el paisaje resultan de importancia crucial. Para introducir el paisaje en el diseño de los diques sumergidos se propone un Método de Proyección con el Paisaje.

Por último, el trabajo del grupo se completa con unas recomendaciones sobre mantenimiento y seguimiento de la obra finalizada.

CASOS REALES



Figura 6. Dique sumergido de Peñíscola

Se han elaborado unas fichas tipo Atlas a modo de inventario que recopilan los casos más representativos de obras de diques sumergidos en España. Ejemplo de estas fichas es el "Caso Peñíscola", donde existe un dique sumergido que ha sido catalogado en relación a su situación, propiedad, fecha, tipología, función, características climáticas de la zona, características físicas del emplazamiento, características y datos geotécnicos, procedencia de los materiales, sección tipo, métodos de cálculos, proceso constructivo, principales medios utilizados, incidencias de la obra, presupuesto, etc.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Como aportación final al estudio y al objeto de completar la información experimental y de verificar la formulación desarrollada, se llevan a cabo ensayos físicos en un canal/tanque de 36,5 m de longitud, 1,3 m. de profundidad y 6,5 m. de anchura, permitiendo de este modo la construcción de dos medios diques sumergidos de sección multicapa con manto de escollera y cubos de 2.0 m de longitud cada uno, separados 2,5 m.

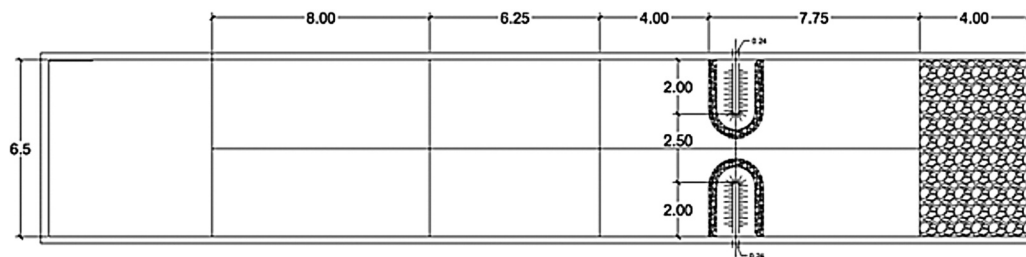


Figura 7. Planta de modelo experimental (distancias en m.)

PARTICIPANTES DEL GRUPO DE TRABAJO

El trabajo del grupo de diques sumergidos está compuesto por los siguientes miembros: Jose María Berenguer y Chelo Tamayo (Berenguer Ingenieros), Jose María Valdés y Jose Francisco Sánchez (CEDEX), Ignacio Pellicé (CRC), Gabriel Usedo y Silvia Martínez (CYES), Dolores Ortiz y Pedro Fernández (DGSC-Madrid), Ana Castañeda (DGSC-Barcelona), César Vidal (IHA-Cantabria), César Enamorado (Ferrovial), Arrate Losada (Iberinsa), Joaquín Garrido y Victoria Simón (Iberport Consulting), Marta Martínez (INHA), Sara Iglesias y Jorge Flores (KV consultores).

REFERENCIAS

- BUCCINO, M. and CALABRESE, M., 2007: Conceptual Approach for Prediction of Wave Transmission at Low-Crested Breakwaters. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*. Volume 133, Issue 3, pp. 213-224.
- BURCHARTH, H.F, KRAME, M, LAMBERTI, A., ZANUTTIGH, B., 2006: Structural stability of detached low crested breakwaters. *Coastal Engineering* 53, pp. 381-394.
- CALABRESE, M., VICINANZA, D. and BUCCINO, M., 2002: Large-scale experiments on the behaviour of low crested and submerged breakwaters in presence of broken waves. *Proc. 28th International Conference on Coastal Engineering*, pp. 1900–1912
- McCONNELL, K., 1998: *Revetment Systems Against Wave Attack - A Design Manual*, Thomas Telford Publishing, London, UK, 1998.
- MEER, J.W. VAN DER, 1991: *Stability and transmission at low – crested structures*. Delft Hydraulics Publication 453. Delft Hydraulics, The Netherlands
- MEER, J.W. VAN DER, BRIGANTI, R., ZANUTTIGH, B., WANG, B., 2005: Wave transmission and reflection at low-crested structures: Design formulae, oblique wave attack and spectral change. *Coastal Engineering*, Volume 52, Issues 10-11, November 2005, Pages 915-929.
- RANASINGHE, R., LARSON, M., and SAVIOLI, J., 2010: Shoreline response to a single shore-parallel submerged breakwater. *Coastal Engineering* Vol. 57, pp. 1006–1017.
- VIDAL, C., MEDINA, R., MARTÍN, F.L., 2000: A methodology to assess the armour unit stability of low-crested and submerged rubble-mound breakwaters. *Coastal Structures 1999*, Santander. pp. 721-725.
- VIDAL C., M.A. LOSADA and E.P.D. MANSARD (1995): Stability of Low-Crested Rubble-Mound Breakwaters Heads. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE. Vol. 121, No. 2. March/April 1995, pp. 114-122.
- VIDAL C., I.J. LOSADA and F. MARTÍN (1999): Stability of near-bed rubble-mound structures. *Proc. 26th Int. Conference on Coastal Engineering*. Copenhagen, Denmark. Ed. B. L. Edge. ASCE.1730 – 1743.
- VIDAL, C., MEDINA, R., MARTÍN, F.L. (2000): A methodology to assess the armor stability of low-crested and submerged rubble-mound breakwaters. *Coastal Structures'99*. pp. 721 – 725.
- VIDAL C., P. LOMÓNACO, J.A. REVILLA, F.L. MARTÍN and R. MEDINA (2002): Stability of rubble mound protections for submarine outfalls: prototype and laboratory experiments. *Proc. 2nd Int. Conf. on Marine Waste Water Discharges*. Istanbul, Turkey.
- VIDAL C., P. LOMÓNACO and F. L. MARTÍN (2003): Prototype analysis of stability of rubble mound protections for submarine outfalls. *Proc. 28th Int. Conference on Coastal Engineering*. Cardiff, U.K. Vol. 2. World Scientific Publishing Co. pp. 1936 – 1948.

INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

VIDAL C., F. LÓPEZ MERA and Í.J. LOSADA RODRÍGUEZ (2007): Stability analysis of low crested and submerged rubble mound breakwaters: relationship between flow characteristics and measured damage and stability formulae for low crested and submerged breakwaters. Proc. Int. Conf. Coastal Structures 2007. World Scientific. pp. 939-950.

WAMSLEY, T., and AHRENS, J.P., 2003: Computation of wave transmission coefficient at detached breakwaters for shoreline response modelling. Proc. Coastal Structures 2003, Oregon. pp. 593 – 605.