

EL REBASE EN DIQUES DE ABRIGO PORTUARIO. CONTRASTE DE RESULTADOS: FORMULACIONES EMPÍRICAS, REDES NEURONALES Y ENSAYOS EN MODELO FÍSICO REALIZADOS EN EL CEDEX

Ramón Gutiérrez, José M. Valdés y José M. Lozano

Centro de Estudios de Puertos y Costas. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
C./ Antonio López 81, 28026 Madrid.

E-mail: Ramon.M.Gutierrez@cedex.es, Jose.M.Valdes@cedex.es, Jose.Lozano@cedex.es

Introducción

El trabajo que se resume aquí, es resultante de diversos estudios realizados en el CEDEX, tiene por objeto presentar el contraste de los resultados obtenidos con las formulaciones existentes en materia de rebases en diques y exponer la investigación que se está ejecutando en el CEDEX sobre este tema.

Para ello, se ha realizado la recopilación y el análisis de las formulaciones existentes para estimar la tasa de rebase sobre diques en talud y verticales y se ha llevado a cabo el contraste de dichas formulaciones y del método de las redes neuronales con los resultados de una serie de ensayos ejecutados en el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX, algunos incluyendo viento.

A la vista de la disparidad de resultados obtenida en estos contrastes, en el contexto de la encomienda de gestión entre el Organismo Público Puertos del Estado y el CEDEX, se está realizando un estudio mediante varios modelos físicos, para ampliar este contraste incluyendo los métodos de la dinámica computacional (CFD) y medidas en prototipo, esto último en una segunda fase del estudio.

Los ensayos se refieren a disposiciones convencionales de un dique en talud y de otro vertical, considerando tres escalas - 1:15, 1:30 y 1:60- y varios periodos y alturas de ola, incluyendo el viento. En estos ensayos, además de la tasa media de rebase (l/m-s), se medirá para cada ola incidente sobre el dique el remonte y el rebase, las fuerzas -horizontal y vertical- y la agitación en su trasdós.

De esta manera se determinará la influencia de los “efectos escala y de modelo”, la influencia del viento, la aplicabilidad de las formulaciones empíricas y se contrastarán los resultados con los de alguno de los modelos numéricos CFD y se dispondrá de información sobre los volúmenes, las fuerzas y la agitación en el trasdós del dique para cada rebase.

Esto último supondrá un avance en el conocimiento de los efectos del rebase, dado que el parámetro hasta ahora utilizado como referente de los daños que puede producir -la tasa media- no es más que una aproximación orientativa, pues, en gran parte de los casos, los daños son provocados por los rebases de las mayores olas que superan el dique.

Tasa de rebase. Concepto. Formulaciones y redes neuronales

Para la cuantificación del rebase, como se ha indicado, es habitual considerar la tasa de rebase (q): caudal que sobrepasa una longitud de dique por unidad de tiempo.

El cálculo de la tasa está basado en fórmulas empíricas obtenidas de ensayos en laboratorio, por lo que estas expresiones dependen no sólo de las condiciones medio-ambientales, sino también de las características del modelo y sólo son de aplicación en el rango de validez de los ensayos realizados en cada caso. Las formulaciones habituales para la determinación de esta tasa pueden agruparse en dos tipos:

$$q = a \cdot R^{-b} \quad q = a \cdot e^{-(bR)}$$

El proyecto europeo CLASH (“Crest Level Assessment of Coastal Structures by Full Scale Monitoring, Neural Network Prediction and Hazard Analysis on Permissible Wave Overtopping”), surgió de la necesidad de disponer de un procedimiento genérico de diseño para estimar la tasa de rebase, con el que se evitase el empleo de formulaciones específicas para cada tipología, por estar restringidas a su rango de validez determinado por su proceso de obtención y desarrolló un método general de cálculo “NN-OVERTOPPING”, basado en la teoría de redes neuronales.

Contraste de resultados: formulaciones, redes neuronales y modelos físicos

En la figura 1A se muestra la tasa obtenida con las formulaciones así como la medida en los ensayos sin viento de los diques de los puertos de Bilbao (Ciérvana y Punta Sollana), Ferrol y Alicante. Se observa que para las menores tasas (< 0,02 m³/s-m) existe una gran dispersión, con valores calculados hasta seis veces mayores que en los ensayos. En cambio, conforme aumenta la tasa, los resultados de las fórmulas y la red neuronal ajustan mejor con los de los ensayos.

En la Figura 1B, en el caso del dique de Levante del puerto de Málaga, se muestra la tasa para los Tp ensayados: 9 y 11 s, así como las calculadas con las fórmulas de diques verticales (no consideran viento), observándose, que la tasa medida es mayor en los ensayos con oleaje y viento que sólo con oleaje y que en los ensayos es mayor que la calculada con las fórmulas (entre 4 y 8 veces).

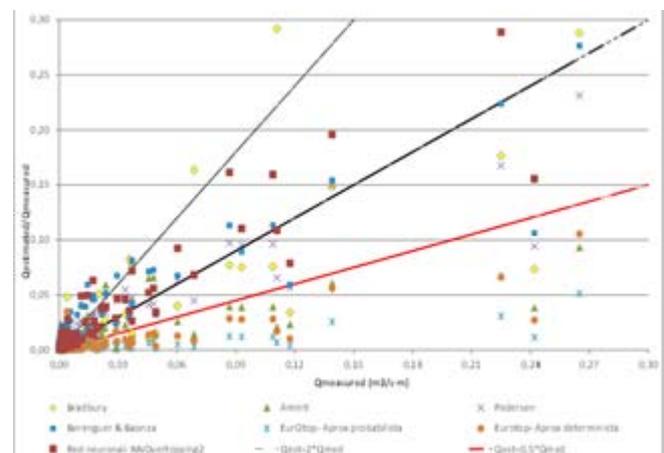


Figura 1.- Diques en talud. Comparación tasa de rebase medida vs calculada. Ensayos de los diques de los puertos de Bilbao (Ciérvana y Punta Sollana), Ferrol y Alicante. (1) y (2), siendo: a y b parámetros propios de cada formulación y

En los ensayos con viento (dique de Levante, Málaga), las tasas parciales medidas en los compartimentos de recogida del agua no determinan diferencias grandes sin y con viento, salvo para los más alejados del espaldón en los que la tasa con viento resultó entre 3 y 4 veces mayor a la sin viento.

Ensayos en modelo físico a varias escalas

Según se ha indicado está prevista la ejecución de ensayos a tres escalas para contrastar sus resultados, determinando los “efectos de escala y modelo” y para su contraste con la aplicación de las fórmulas, algún método CFD y con medidas en prototipo (2ª fase de este estudio).

En estos ensayos, en ejecución el de escala 1:15 en el Canal de Oleaje y Viento de Gran Escala, se medirá para cada ola: remonte, volumen rebasado, fuerzas horizontal y vertical y agitación en el trasdós, para 2 tipologías convencionales de dique vertical y en talud, 3 profundidades, 3 cotas de espaldón, 3 periodos y varias alturas de ola (inicio de rebase hasta diseño), sin y con viento. A tal fin se han dispuesto células de carga, sensores de presión y sondas para medir agitación y remonte (figura 2).



Figura 2.- Dique vertical. Ensayo 1:15 con viento. Vista general.

Resultados de los ensayos

A modo de ejemplo en las figuras 3, 4 y 5 se muestran los resultados de algunas series temporales registradas, relativas a las medidas de: volúmenes rebasados, remonte del oleaje, fuerzas verticales y horizontales sobre la plataforma del trasdós del dique, sobreelevación de la lámina de agua en su frente y agitación en su trasdós, correspondientes al dique de la bocana Norte del puerto de Barcelona.

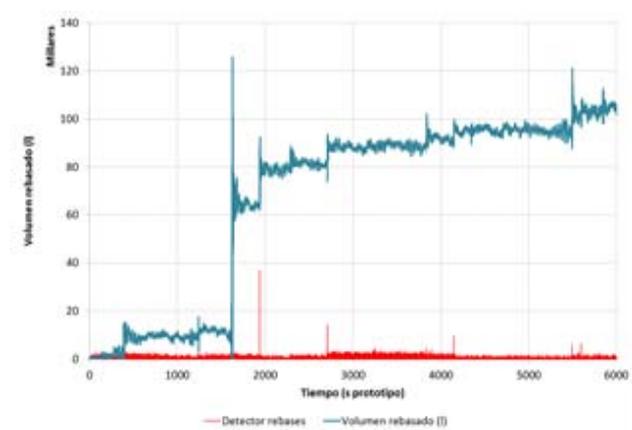


Figura 3.- Volúmenes rebasados.

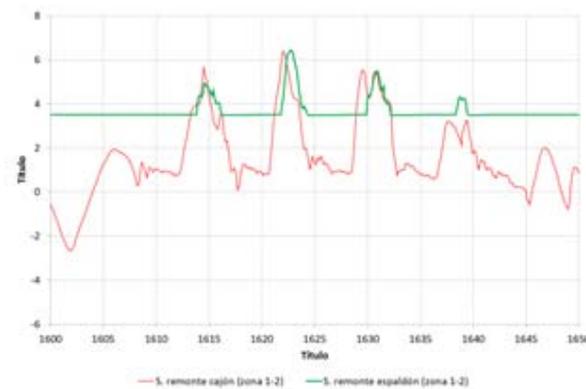


Figura 4.- Remonte del oleaje.

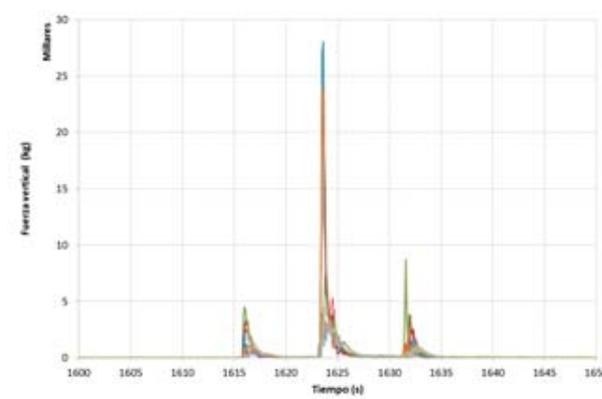


Figura 5.- Fuerzas horizontales y verticales del oleaje.

Conclusión

Las conclusiones que se obtendrán, serán relativas a los efectos de escala derivados de las tres adoptadas -1:15, 1:30 y 1:60-, en relación con los factores que se están estudiando: n° y volúmenes de rebase y fuerzas en la plataforma del trasdós del dique, así como a la comparación de los resultados de los ensayos con las metodologías numéricas: formulaciones empíricas, redes neuronales y CFD.

No obstante, para poder establecer estas conclusiones deberán estar realizados los ensayos, para comparar sus resultados y estos con los obtenidos al aplicar las metodologías numéricas. Por lo tanto los trabajos realizados hasta la fecha no permiten todavía el establecimiento de conclusiones.

Referencias bibliográficas

- Allsop, N.W.H.; Besley, P. & Madurini, L. (1995). 'Overtopping performance of vertical and composite breakwaters, seawalls and low reflection alternatives'. MCS Project, Univ. Hannover.
- Aminti, P., and Franco, L. (1988). "Wave Overtopping on Rubble Mound Breakwaters," Proc. 21st Int. Conf. on Coastal Eng.
- Berenguer, J.M.; Baonza, A. (2006). 'Diseño del espaldón de los diques rompeolas'. II Congreso Nacional de la Asociación Técnica de Puertos y Costas, pp 35- 46.
- CEDEX (2007). 'Estado del arte de las investigaciones sobre los rebases en los diques' y otros.
- Coastal Engineering Manual (2006). U.S. Army Corps of Engineers.
- EurOtop (2018). "Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment manual".