

Doctorando:

Jorge Molines Llodrá

Título de Tesis:

Rebase y estabilidad de los espaldones de diques en talud con mantos de cubos y Cubípodos.

Departamento UPV:

Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Resumen:**INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA MARÍTIMA**

Los primeros asentamientos humanos se realizaban en las orillas de los cursos fluviales; así se garantizaban el suministro de agua y al mismo tiempo un medio natural de transporte (además de las posibilidades de expansión que ofrecía el mar cuando el poblado se situaba en las cercanías al mismo). Por ello, los primeros puertos se servían de las áreas que ya estaban protegidas de forma natural: bahías, islas interiores, arrecifes o desembocaduras de los ríos. A medida que las relaciones comerciales entre las distintas ciudades crecieron, se necesitaban unas áreas abrigadas mayores que las ofrecidas por la naturaleza (para operaciones de carga y descarga principalmente): consecuencia de esta necesidad surgieron los diferentes tipos de diques.

El dique es la obra de abrigo por excelencia, diseñado para laminar y disminuir la energía del oleaje incidente primordialmente, de forma que se puedan realizar sin interrupción las actividades de atraque, amarre, carga, descarga, etc.

Existen dos tipologías principales de diques: diques verticales y diques en talud. Los diques verticales son estructuras monolíticas de hormigón que reflejan la energía del oleaje y se construyen hundiendo cajones prefabricados de hormigón (figura 1). Éstos, permiten reducir el volumen de materiales utilizados en su construcción y los problemas ambientales relacionados con el proceso constructivo, siendo especialmente apropiados para emplazamientos con mucha profundidad, oleaje poco intenso y fondo marino homogéneo con buena capacidad portante. En cambio, los diques en talud están compuestos por diferentes capas de material rocoso (figura 2), son fáciles de construir y son especialmente apropiados para emplazamientos de poca profundidad, oleajes intensos y fondos marinos heterogéneos y de mala calidad.

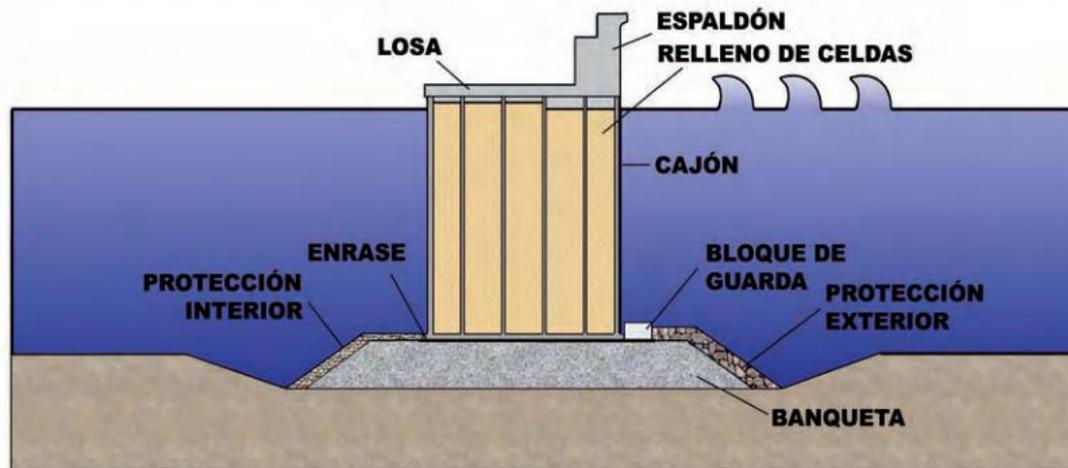


Figura 1. Sección convencional de dique vertical

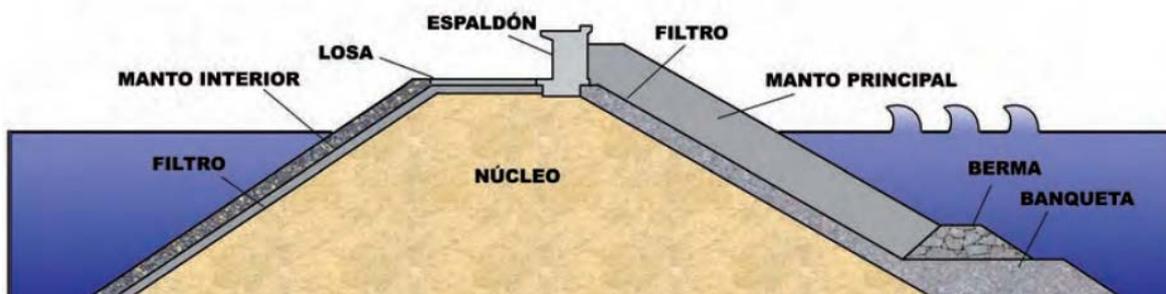


Figura 2. Sección convencional de dique en talud.

La obra de abrigo más común en el litoral español, y objeto del presente estudio, es el dique en talud o dique rompeolas. Los diques en talud se construyen colocando diversas capas granulares que deben cumplir la condición de filtro y donde la capa más externa es habitualmente de elementos prefabricados de hormigón (figura 2). Los diques rompeolas tradicionales constan fundamentalmente de un **núcleo** de materiales sueltos (todo-uno de cantera) que constituyen la estructura soporte del dique, y un manto principal que protege el dique del impacto del oleaje. El manto principal está constituido de escollera o elementos de hormigón de gran tamaño, conocidos como *armour units*, por lo que resulta necesario disponer capas intermedias o **filtros** con escollera de menor tamaño para evitar que los elementos pequeños del núcleo salgan de la estructura a través de los huecos en las capas exteriores. En las costas españolas, es habitual colocar un **espaldón** de hormigón en masa sobre la coronación del dique que permite reducir el volumen de materiales necesario y disponer además de una excelente vía de acceso a las instalaciones.

Existe una gran variedad de elementos para el manto principal (figura 3). La protección del manto principal se realizaba inicialmente con escollera natural, pero, a medida que los diques se colocaban a mayores profundidades y eran sometidos a mayores oleajes, aparecieron los primeros elementos

prefabricados de hormigón: los cubos. En el siglo XIX aparecen una gran cantidad de elementos con muy diversas formas, todos ellos buscando una mayor estabilidad hidráulica (frente al oleaje). Este incremento de piezas se detiene drásticamente tras el desastre de los diques de Sines (Portugal, 1978) y San Ciprián (Galicia, España, 1979). En este momento queda patente una falta de resistencia estructural de algunos elementos que habían funcionado perfectamente a pequeña escala en laboratorio, pero que al llevarlos a escala real habían perdido robustez y se rompían incluso mientras eran colocados en el dique. A partir de este instante, los nuevos diseños de elementos se centran en buscar elevadas estabilidades hidráulica y estructural al mismo tiempo.

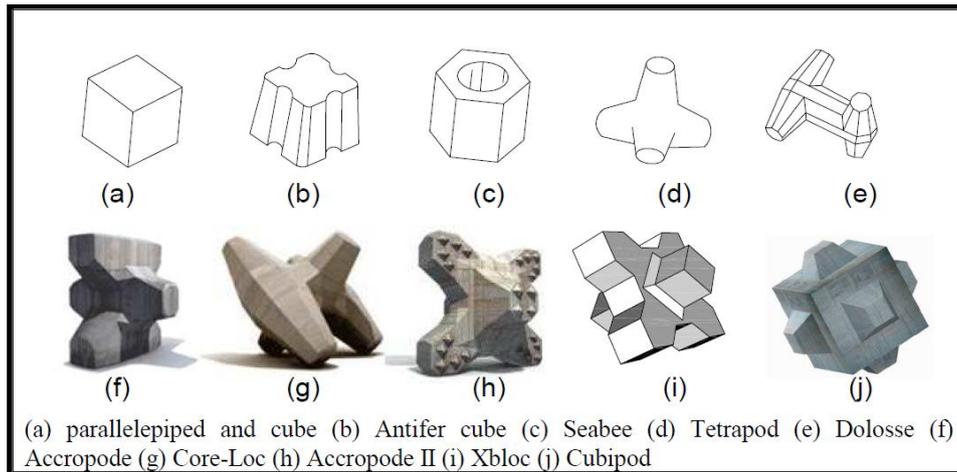


Figura 3. Elementos prefabricados de hormigón para manto principal.

En esta coyuntura, en España se comenzó a utilizar ampliamente el cubo, elemento que aunque presenta una baja estabilidad frente al oleaje, es muy robusto y no se rompe. El Cubípedo nace en 2004 (figura 4), inventado por Medina y Gómez-Martín en la UPV con la idea de mantener las ventajas del cubo (robustez estructural, fácil manejo y construcción) y mejorar sus desventajas (baja estabilidad hidráulica y adoquinamiento). El Cubípedo se desarrolla con la idea de evitar la colocación cara contra cara a la que tienden los cubos, perdiendo así fricción con la capa de filtro y disminuyendo la resistencia al avance del agua sobre el talud, produciendo mayores remontes, rebases y fuerzas en el espaldón. El Cubípedo es una pieza que está en finalizando su fase de desarrollo y que actualmente ha sido colocado con éxito en Málaga y A Coruña.



Figura 4. Cubípodo fabricado en Málaga.

En Ingeniería Marítima, una fuente muy importante de información son los ensayos a escala reducida, ya que en numerosas ocasiones es inviable registrar datos a escala real y mediante ensayos se puede validar/mejorar el diseño de las estructuras marítimas. En el diseño de diques en particular la manera habitual de obtener información es realizar ensayos a escala intentando disminuir al máximo los efectos de escala y de modelo. Comúnmente, se desarrollan fórmulas semiempíricas basadas en ensayos de laboratorio que tienen un limitado rango de aplicación, por lo que la extrapolación de los resultados debe realizarse con cuidado. En la presente tesis, se analiza el rebase y las fuerzas sobre el espaldón de diques de cubos y Cubípodos, empleando las instalaciones del Laboratorio de Puertos y Costas de la Universitat Politècnica de València (Figura 5).

El canal de ensayos de oleaje y viento del Laboratorio de Puertos y Costas (LPC) de la UPV tiene 30 m de largo y una sección transversal de 1.22 x 1.2 m. A mitad de su longitud, el suelo del canal presenta una suave pendiente (4%) de aproximadamente 6.15 m., dando lugar a una diferencia de altura de 25 cm.



Figura 5. Laboratorio de Puertos y Costas de la Universitat Politècnica de València

OBJETIVOS DE LA TESIS

En la presente tesis se participa activamente en la fase de desarrollo del elemento Cubípodo y se compara con los cubos. Para diques de Cubípodos se analiza:

1. La respuesta del espaldón de diques en talud con mantos de cubos y de Cubípodos sometidos a la acción del oleaje. Obtenidos los datos de los ensayos se procederá a su análisis para estudiar las variables significativas del proceso físico y obtener, una nueva forma para calcular tanto las fuerzas horizontales como las verticales.
2. El rebase sobre diques en talud construidos con cubos y Cubípodos, ahondando en el conocimiento de las variables influyentes en el rebase (cota de coronación, tipo de elemento, berma de coronación, etc.)

Debido a la inherente aleatoriedad de los datos que se obtienen en laboratorio, ambos análisis están fuertemente basados en análisis estadísticos y en técnicas no convencionales como redes neuronales.

ETAPAS

Las etapas en las que se divide el desarrollo de la presente tesis son las siguientes:

1. Durante los últimos 4 años, continua y exhaustiva revisión del estado del arte tanto de rebase como de diseño de espaldones.
2. Entre 2010 y 2012 se han llevado a cabo ensayos a escala reducida en el canal 2D de oleaje y viento del Laboratorio de Puertos y Costas de la UPV. En ellos se ha registrado el oleaje, el rebase y las fuerzas sobre el espaldón (registros brutos). Estos ensayos sirven de base para el desarrollo de la tesis.
3. Los datos se analizan para obtener registros netos de oleaje, rebase y fuerzas sobre el espaldón.
4. Se comparan los datos obtenidos con formulaciones existentes, observando si ajustan a los datos registrados y extrayendo las variables que puedan resultar más influyentes para un posterior análisis.
5. En caso de ser necesario, se proponen variaciones en las fórmulas existentes o nuevas formulaciones que permitan un mejor ajuste a las condiciones del ensayo y que mejoren el diseño.
6. Durante el análisis de datos se comienza a asistir a congresos y a preparar publicaciones para revistas indexadas.

RESULTADOS PREVISTOS Y UTILIDADES

Con la presente tesis se van a obtener resultados que permitan mejorar el diseño de espaldones (disminuir el volumen de hormigón) y la estimación de rebase de diques de Cubípodos principalmente. Ambos aspectos están directamente relacionados con el coste económico de la obra y la seguridad de la misma ante el fallo. En concreto ya se han obtenido nuevas formulaciones para diseñar espaldones de diques de Cubípodos en Molines et al. (2010) y Molines (2011), con resultados extrapolables a otras piezas. En cuanto al rebase, se está trabajando en este momento en el análisis del tipo de manto sobre los caudales de rebase, integrando conclusiones parciales de influencia de factores como la porosidad (Molines et al., 2012), berma de coronación, etc.

Con los resultados de esta tesis, será posible diseñar por completo la coronación de diques de Cubípodos para obtener espaldones que resistan las acciones del oleaje y al mismo tiempo sean económicamente más competitivos. Además, los resultados de rebase permitirán identificar con claridad las variables que más influyen en el rebase de diques en talud en general y actuar sobre ellas (tanto en diques existentes como en diques en fase de diseño) para controlar los caudales de rebase y reducirlos a un determinado umbral. El desarrollo del plan de Tesis Doctoral previsto reforzaría el desarrollo de una de las líneas de investigación principales del LPC-UPV: la estabilidad hidráulica de los diques en talud.

I ENCUENTRO DE ESTUDIANTES DE DOCTORADO



REBASE Y ESTABILIDAD DE LOS ESPALDONES DE DIQUES EN TALUD CON CUBOS Y CUBÍPODOS

Jorge Molines Llodrá

Universidad Politécnica de Valencia

Departamento de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes



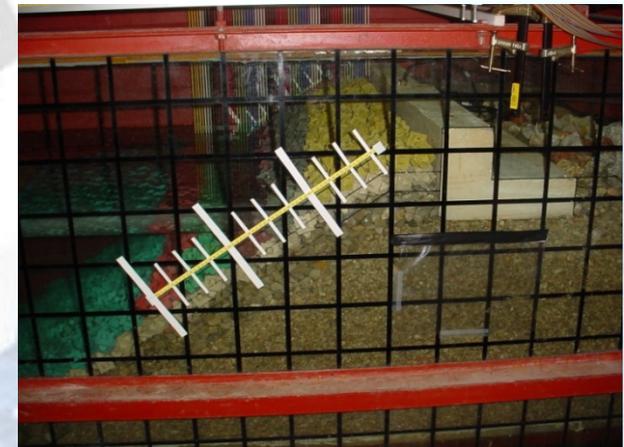
12 de junio de 2014



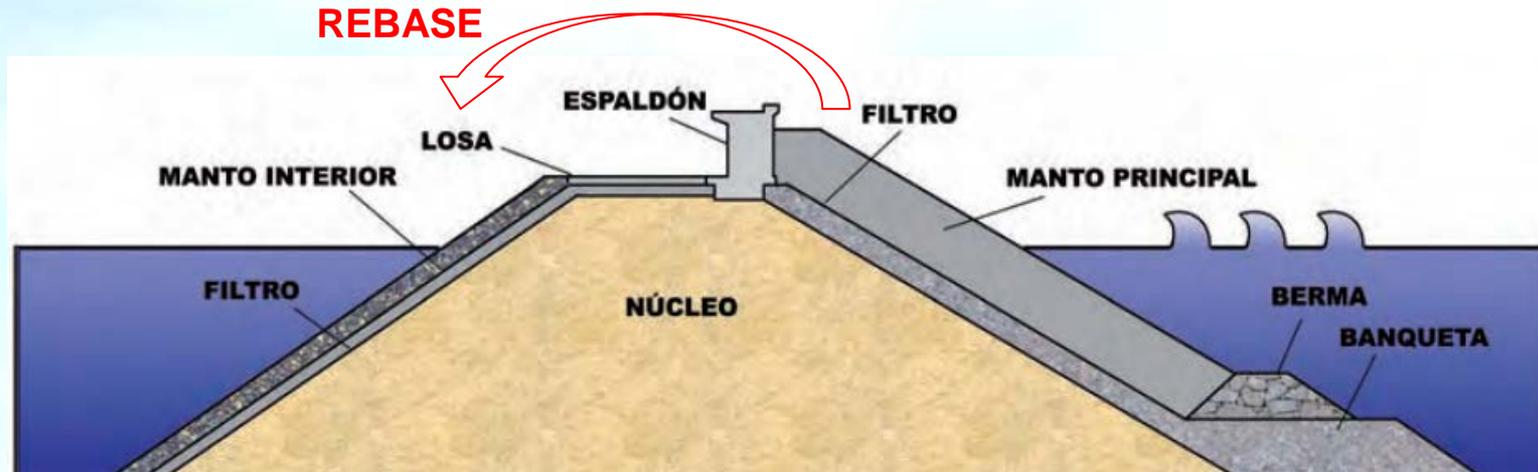
Ingeniería Marítima: Obras de abrigo



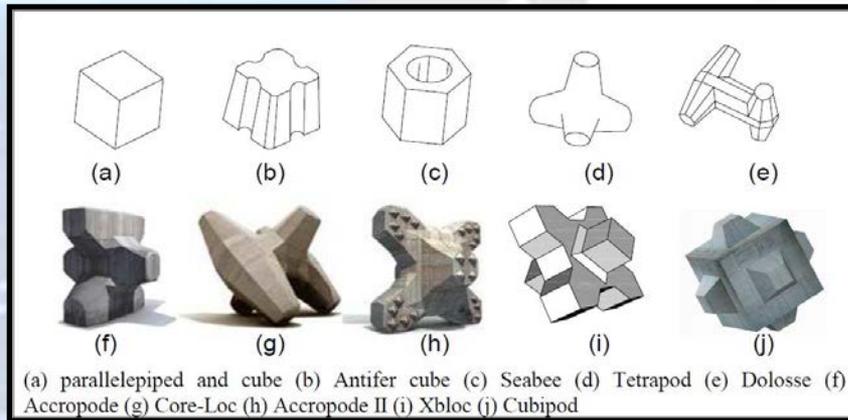
Ensayos a escala reducida: Laboratorio de Puertos y Costas-UPV



Objetivos de la tesis: 1.Rebase y 2.Espaldón



Manto principal: Cubípodo (Medina-Martín, UPV 2004)



Etapas

1. Revisión del estado del arte
2. Realización de ensayos en el LPC-UPV: registro de oleaje, rebase y presiones
3. Análisis de datos de los ensayos: resultados de oleaje, rebase y presiones
4. Comparación de resultados con fórmulas existentes
5. Propuesta de nuevas formulaciones y variables influyentes
6. Asistencia a congresos y publicaciones

Resultados y utilidad

- Optimización global del diseño de la coronación del dique en talud
- Optimización de diseño de espaldones (Molines 2011) → ahorro económico (↓hormigón)
- Mayor control en la tasa de rebase (Molines et al., 2012) → Seguridad y coste
- Mejora en el diseño de diques con Cubípodos
- Línea investigación del LPC de estabilidad hidráulica

