

CONSIDERACIONES SOBRE EL ESTUDIO EN MODELO FISICO DE BLOQUES SOMETIDOS AL OLEAJE

Ing. Patricio Ormazabal*, Ing. Daniel Berrilio*, Ing. Roberto D. Castellano,**

Ing. Andrés Grande**

***CORIPA S.A. - **Instituto Nacional del Agua**

PALABRAS CLAVE: revestimiento de bloques - modelo físico - oleaje.

RESUMEN

En el desarrollo de sistemas de protección de taludes contra la acción del oleaje se encomendó al Instituto Nacional del Agua evaluar el desempeño de las unidades premoldeadas BetonCover y BetonPlan mediante estudios en modelación física, representando las condiciones de proyecto más habituales en nuestro medio.

En la definición del marco teórico y evaluación de los resultados se siguieron los lineamientos y criterios de la escuela holandesa (CUR - Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Holanda). La misma identifica mecanismos de falla y basa en ellos el dimensionamiento de la coraza de bloques, teniendo en cuenta una diversidad de geometrías.

El resultado de los estudios permitió, además de evaluar las características propias de los sistemas de bloques ensayados, mejorar la comprensión de los mecanismos de falla, aportando una serie de consideraciones a ser tenidas en cuenta a la hora de seleccionar este tipo de protecciones.

ABSTRACT

In the development of bank protection systems against surge action, the Instituto Nacional del Agua was entrusted to evaluate the performance of the units BetonCover and BetonPlan by means of physical models studies representing the most common project conditions.

Test results were evaluated according to the guidelines of the Dutch School (CUR-Dutch Public Works Department). CUR identifies some failure mechanisms and design of the armor is based upon them, for a diversity of geometries.

Besides evaluating the particular characteristics of the systems of tested blocks, the result of the studies allowed in addition to improve the general understanding of the failure mechanisms involved. It contributed as well to develop general considerations that should be taken in account when selecting this type of protections.

1.- INTRODUCCIÓN

Sobre cuerpos de agua permanentes o temporarios tanto el viento como la circulación de embarcaciones pueden generar oleaje capaz de erosionar las márgenes que los delimitan. La necesidad de proteger estas márgenes para evitar su degradación ha llevado al diseño de elementos premoldeados de fácil manejo y colocación que ofrecen una alternativa interesante al momento de definir este tipo de obras.

Se hace necesario entonces conocer las características resistentes y funcionales de estos tipos de corazas para permitir un diseño de la estructura y dimensionado del bloque de acuerdo a los requerimientos de seguridad de la obra. En este marco se encomendó al Laboratorio de Hidráulica del Instituto Nacional del Agua (INA) la realización de estudios mediante modelación física de unidades premoldeadas, denominadas BetonCover y BetonPlan, a fin de determinar su desempeño hidráulico en diferentes configuraciones de obra, que pretenden representar los esquemas más usuales en nuestro medio.

2.- OBJETIVO

El espíritu del presente trabajo ha sido el de efectuar algunas consideraciones, derivadas de la experiencia adquirida en el curso de los estudios experimentales realizados, describiendo factores intervinientes y evaluando resultados obtenidos, en un intento de aportar elementos para la definición de los criterios de proyecto de este tipo de estructuras. Por lo tanto se ha omitido la exposición en detalle de cada uno de los ensayos realizados y sus resultados.

3.- DEFINICION DEL MARCO TEORICO

Diversos estudios sobre protecciones flexibles de elementos premoldeados vinculados y no vinculados han sido desarrollados, definiendo el comportamiento general de estas estructuras y caracterizando los diferentes tipos de falla, con el fin de obtener expresiones generales para su dimensionamiento.

La metodología de diseño de protecciones implementada por la escuela holandesa, representada por investigadores como K. Pilarczyk y M. K. Breteler, es de amplia difusión en la actualidad y sus ecuaciones de diseño son avaladas por numerosos estudios y ensayos de laboratorio. A los efectos de disponer de una adecuada referencia para los resultados del estudio, se han seguido los lineamientos y criterios fijados por dicha escuela.

3.1.- Bloques sueltos y bloques vinculados

Los mecanismos de falla contemplados en el estudio comprenden la expulsión de bloques y la inestabilidad geotécnica. En el desarrollo de los mismos es necesario la diferenciación entre *corazas de bloques sueltos o no vinculados*, en donde la interacción entre las piezas se debe exclusivamente a la fricción, y las de *bloques vinculados*, en donde un determinado sistema (encastre, cable, geotextil, etc.) impide la extracción individual de un elemento.

En primer lugar es conveniente realizar algunas aclaraciones sobre estas denominaciones. Si nos guiamos por las Normas IRAM de bloques para pavimentos, se denominan “*bloques articulados*” (IRAM 11626) a aquellos colocados ensamblados y que transfieren carga a los adyacentes por la conformación de sus caras laterales, la que además impide que puedan ser desmontados individualmente. La denominación “*bloques intertrabados*” (IRAM 11656) queda reservada para aquellos colocados adosados y en los que la carga se transfiere por fricción de sus caras laterales a través del material granular con el que se llenan sus juntas. En éstos últimos, una pieza puede removerse individualmente, sin que la misma o las aledañas deban sufrir rotura, o deba desmontarse el conjunto. Estas denominaciones dadas por norma pueden utilizarse en la definición de sistemas protección, en donde el término “*vinculado*” aquí utilizado corresponde al “*articulado*” de la norma y el “*no vinculado*” o “*suelto*” al “*intertrabado*”.

3.2.- Mecanismos de falla

3.2.1 Bloques no vinculados

Cuando se trata de bloques no vinculados, para que una pieza pueda ser expulsada fuera de la protección, la fuerza de succión ejercida por el escurrimiento debe ser superior al peso del bloque más la fricción entre piezas. Los bloques sueltos permanecen estables por debajo de cierto valor de altura de ola significativa, pero ocurrirán pequeños movimientos si la misma supera ese umbral. Si la altura de ola fuera todavía mayor el bloque comenzará a moverse, pudiendo no volver a su posición original luego de ocurrida la sollicitación. En esos casos la pérdida del bloque es inminente.

La inestabilidad geotécnica, para el caso de bloques sueltos o no vinculados, comprende a su vez dos tipos de falla: deslizamientos en el talud por efecto del escurrimiento interno coincidente con el descenso de la ola, y deformaciones locales por impacto de las olas. La primera ocurre generalmente en presencia de suelos no cohesivos, por falta de espesor en la coraza o en el manto granular. En el segundo caso el impacto de las olas provoca una deformación de una columna de varios bloques de ancho, normal al eje longitudinal de la estructura, con la consecuente formación de un perfil tipo “S” y eventual pérdida de interacción de los bloques.

3.2.2 Bloques vinculados

Si los bloques están vinculados y forman una estructura que actúa como una entidad, los mecanismos de falla pueden ser diferentes. El grado de libertad para movimientos individuales de los bloques resulta restringido por la vinculación y difícilmente serán expulsados. En este tipo de corazas se presentan los siguientes mecanismos de falla que pueden hacer colapsar la estructura:

- Deformación de una columna de varios bloques de ancho, normal al eje longitudinal de la estructura, con la consecuente formación de un perfil tipo “S” y eventual pérdida de interacción de los bloques vinculados.
- Reducción de la fricción entre la coraza y la sub-base debido a la fuerza de empuje que ejerce sobre la misma el oleaje, con el consecuente deslizamiento de la coraza como una entidad.

También se puede presentar el caso de la expulsión simultánea de varios bloques de la coraza. Al ocurrir una deformación considerable del revestimiento como entidad, varias unidades pueden resultar expulsadas por pérdida de efectividad del sistema vinculante. Por lo tanto en los mecanismos de falla presentes en este tipo de protecciones es importante el desempeño del sistema vinculante, tal como su sensibilidad a las deformaciones de la estructura y su deterioro en el tiempo.

3.3.- Manto Granular

Un elemento importante a ser tenido en cuenta en el diseño de los sistemas de protección es el “*manto granular*” o “*filtro granular*” como se lo denomina habitualmente. En adelante se utilizará el termino “manto granular” para evitar confusiones, dada su eventual función de filtro, que no es una condición necesaria para su uso. El mismo puede ser empleado en conjunto con un geotextil que cumpla la condición de filtro necesaria en todo revestimiento y que depende de los materiales intervinientes.

El manto granular se coloca debajo de las unidades premoldeadas y sobre el talud a proteger, separado, en caso que se requiera, mediante un geotextil que actúa como filtro. En general la coraza de bloques mejora notablemente su funcionamiento hidráulico si la estructura incluye un manto granular. Las principales funciones del mismo son las siguientes:

- Transferir la acción del oleaje sobre la coraza, distribuyéndola sobre el cuerpo del terraplén.
- Evitar la inestabilidad geotécnica, disminuyendo las subpresiones en el cuerpo del terraplén.
- Evitar la formación de canales o canaliculos de erosión en la superficie del talud.
- Otorgar una vía de escurrimiento preferencial al agua que ingresa a la protección, aumentando la estabilidad de las unidades.
- Colaborar en la estabilidad geotécnica del material que conforma el talud aportando peso propio al conjunto.

A pesar de las ventajas en la utilización de este último elemento, ya sea por razones constructivas y/o económicas, el manto granular es omitido en gran parte de las revestimientos de bloques proyectados en la actualidad. Por este motivo su exclusión de la estructura resistente fue una de las situaciones tenidas en cuenta en la definición de los escenarios de estudio.

3.4.- Métodos de Diseño

A modo de resumen se presentan las expresiones y parámetros empleados en la formulación del marco teórico del estudio. Según la publicación “Design of Revetments” (Pilarczyk et al 2000) se dispone actualmente de dos métodos prácticos de diseño: el modelo de “caja negra” y el modelo analítico. En ambos casos la formulación final del método puede expresarse como la siguiente relación:

$$\frac{H_{scr}}{\Delta D} = \text{función de } \xi_{op} \quad (1)$$

En el caso de corazas semipermeables el modelo analítico se puede expresar como:

$$\frac{H_{scr}}{\Delta D} = f \left(\frac{D}{b} \frac{k'}{k} \right)^{0.33} \xi_{op}^{-0.67} \quad (2)$$

Donde:

H_{scr} : altura de ola significativa que produce la expulsión del bloque,

$$\xi_{op}: \text{parámetro de rotura, } \xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{(H_{scr} / (1.56 T_p^2))}}$$

α : ángulo de inclinación del talud, T_p : período pico del espectro de ola, Δ : la densidad relativa igual a $\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$ (donde ρ_s es la densidad del material de protección y ρ_w es

la densidad del agua), b : espesor del manto granular, k : permeabilidad del manto granular, D : espesor del bloque, k' : permeabilidad del revestimiento, f : coeficiente de estabilidad que depende del tipo de estructura, inclinación del talud y fricción entre bloques.

Cabe mencionar que el método analítico de diseño es solo aplicable para un revestimiento de bloques apoyado sobre un manto granular y un talud de suelo granular, por lo tanto su aplicación es limitada.

El método de mayor aplicación en la práctica, que permite salvar las limitaciones del anterior, es el modelo de “caja negra”, que se define como:

$$\frac{H_{scr}}{\Delta D} = F \xi_{op}^{-0.67} \quad (3)$$

Donde F : factor de estabilidad total (caja negra).

La utilización de este último método requiere conocer el valor del factor de estabilidad F que depende del tipo de estructura y sistema de bloques. Si bien el parámetro F se determina empíricamente para cada sistema de bloques según las condiciones de ensayo, su aplicación en la práctica requiere adecuados criterios de diseño que contemplen el tipo de estructura y otras consideraciones.

Las experiencias en modelación física constituyen una herramienta insustituible en la comprensión del funcionamiento y evaluación del desempeño del sistema representado, permitiendo optimizar su dimensionado a partir de expresiones empíricas.

4.- DESCRIPCION DE LOS BLOQUES BETONCOVER Y BETONPLAN

Las unidades BetonCover y BetonPlan son bloques de hormigón premoldeado que presentan una configuración de tres hexágonos unidos en dos de sus tres lados. Esta disposición otorga una cierta trabazón al conjunto, aumentando la estabilidad de las piezas, y facilita las tareas de colocación.

En el bloque BetonCover mediante orificios pasantes se genera un área abierta del 37 % del total de la superficie expuesta al oleaje. Esta geometría otorga una elevada permeabilidad al sistema, mejorando la estabilidad de la estructura y permitiendo obtener piezas más livianas que, en la mayoría de los casos, pueden ser colocadas a mano (Figura 1).

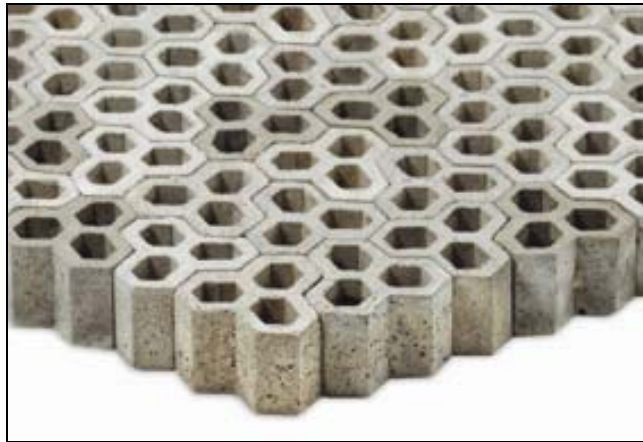


Figura 1.- Sistema BetonCover

El sistema de bloques BetonPlan no posee orificios y por lo tanto desarrolla una mejor terminación superficial. Una particularidad de estas unidades es su sistema de encastrados que otorga una elevada seguridad a la extracción de los bloques en dirección normal al plano del revestimiento. Las juntas entre bloques actúan como drenes permitiendo aliviar los esfuerzos de subpresión en la coraza (Figura 2).



Figura 2.- Sistema BetonPlan

En el desarrollo de estos dos sistemas se propusieron campos de aplicación bien diferenciados. El diseño del BetonCover permite adecuarse a solicitudes de gran envergadura, siendo aconsejable una elevada permeabilidad.

En cambio el sistema BetonPlan se adapta a solicitudes de menor magnitud, otorgando nuevas prestaciones como su buena terminación superficial, baja predisposición al vandalismo, baja proliferación de alimañas, insectos y vegetación, y bajo requerimiento de mantenimiento y limpieza, todas condiciones necesarias en obras de adecuación urbanística.

Este último sistema de revestimiento incorpora un mecanismo vinculante entre bloques que permite mejorar el desempeño de la coraza. Los encastrados mantienen la vinculación entre unidades salvando eventuales deformaciones de la estructura o separaciones entre bloques, producto generalmente de la deformabilidad del sustrato.

5.- ESTUDIOS REALIZADOS POR EL INA

El propósito de los estudios hidráulicos realizados fue analizar aspectos funcionales y de estabilidad en un revestimiento conformado por bloques premoldeados para la protección de taludes contra el oleaje.

Los aspectos hidráulicos básicos fueron, por una parte estudiar el comportamiento del conjunto que compone la protección (bloques y sustrato) desde el punto de vista de su resistencia a la acción dinámica del oleaje, a los efectos de identificar el tipo de falla y determinar los límites de resistencia. Adicionalmente se estudiaron aspectos funcionales como la trepada de la ola (run-up).

5.1.- Elección de los escenarios de estudio

Como se expresara en el marco teórico el desempeño de un sistema de protección constituidos por unidades premoldeadas está íntimamente ligado a las características del talud (tipo de material y grado de compactación) y al tipo de estructura adoptada (sobre manto granular y geotextil o sólo sobre geotextil).

En la formulación de los escenarios de estudio se tuvieron en cuenta los esquemas de obra más habituales en nuestro medio. Generalmente estos revestimientos son colocados sobre taludes conformados por suelos granulares (arenas fina) o por suelos cohesivos de baja plasticidad (limos arcillosos). El manto granular no es utilizado en gran parte de los revestimientos de bloques proyectados en la actualidad. Por tal motivo en dos de los esquemas adoptados las unidades son apoyadas directamente sobre un geotextil.



Figura 2.- Revestimiento Betonplan previo a un ensayo

Los materiales adoptados para la conformación del talud fueron: suelo granular (arena fina) y suelo cohesivo (limo arcilloso). Combinando las variables mencionadas se definieron tres escenarios de estudio:

- A. Talud de suelo granular y bloques apoyados directamente sobre geotextil
- B. Talud de suelo granular y bloques apoyados sobre manto granular y geotextil

C. Talud de suelo cohesivo y bloques apoyados directamente sobre geotextil



Figura 4.- Revestimiento en el transcurso de un ensayo

El grado de compactación del material del talud se definió según las normas habituales que reglamentan la ejecución de estructuras de material suelto, estableciendo una densidad del material compactado del 97% de la densidad Proctor.

Para cada uno de los escenarios descritos se realizaron ensayos con alturas de ola crecientes hasta lograr, en la mayoría de los casos, una falla de la estructura. Las inclinaciones de talud consideradas fueron 1V: 2H, 1V: 3H y 1V: 4H según el caso. A partir de estos esquemas se buscó representar las condiciones de proyecto más típicas en nuestro medio, sin descartar futuros estudios en nuevos escenarios.

6.- CONSIDERACIONES SOBRE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

6.1.- Unidades BetonCover

En el estudio de las unidades BetonCover (bloques sueltos) se implementaron los escenarios A y B. El **esquema A** fue muy vulnerable a la falla por inestabilidad geotécnica, observándose la formación de un perfil tipo “S”, el que afectó eventualmente la interacción entre bloques. El talud de arena sufrió daños importantes al estar las piezas apoyadas directamente sobre el talud cubierto por un geotextil.

Al incorporarse un manto granular en la estructura (**esquema B**), la estabilidad del revestimiento mejoró significativamente ante idénticas condiciones hidrodinámicas. El estado final del terraplén de arena mejoró sustancialmente, sin apreciarse deformaciones de ningún tipo. El impacto de la ola sólo tuvo incidencia en el estado final del manto granular, provocando deformaciones mínimas en éste.

En síntesis, el desempeño del sistema que incluyó dicho manto fue notablemente superior al obtenido sin el uso del mismo. Por lo tanto, de los resultados observados en los ensayos, y en concordancia con los conceptos expresados en el marco teórico antes descrito, se concluye que la incorporación de un manto granular mejora notablemente el desempeño de la coraza de bloques.

En general para todos los ensayos se observó una fuerte interacción entre bloques como resultado de las fuerzas de fricción sobre las caras yuxtapuestas, y la existencia de una reserva de resistencia del conjunto aún después de la extracción (manual) de algunas piezas. Los bloques sueltos han demostrado un buen desempeño como conjunto, siendo su trabazón (basada en la fricción lateral) y peso propio las características que determinan una estructura de poca fragilidad.

6.2.- Unidades BetonPlan

En el caso de las unidades BetonPlan (bloques vinculados) se estudiaron en el modelo físico los esquemas A y C. La coraza de bloques vinculados se comportó de una manera bien diferenciada respecto de los bloques sueltos. La estructura respondió a la acción del oleaje deformándose como una sola entidad, resultando esta deformación en una disminución de la interacción entre las piezas con el consiguiente riesgo de expulsión.

En el **esquema A** la respuesta de la coraza fue diferente de acuerdo a la inclinación del talud ensayada (1V:2H o 1V:3H). Para el caso del talud más tendido los mecanismos de falla observados fueron los de impacto y deslizamiento por efecto del descenso de la ola (run-down), actuando conjuntamente y contribuyendo a la pérdida de interacción entre las unidades a través de la deformación del talud, si bien no hubo pérdida de bloques en los rangos de altura de ola representados

En el talud más inclinado se manifestó plenamente el mecanismo de falla por inestabilidad geotécnica por efecto del run down de la ola. El esquema de obra planteado está en una situación de franca inestabilidad. Al actuar las olas sobre el talud, aun siendo de pequeña altura, inmediatamente ocurrió un deslizamiento superficial de la arena del sustrato que llevó a la expulsión de las unidades. A partir de ello el desprendimiento del resto de la coraza fué inevitable.

En el **esquema C** el mecanismo de falla observado fue el de la expulsión de bloques, como consecuencia de la oscilación y deformación de toda la coraza por la acción de las olas. La deformación de la coraza redujo y eventualmente eliminó por completo la capacidad de vinculación entre piezas yuxtapuestas. Ante esa situación se produjo el desprendimiento en masa del resto de los bloques. La estructura tuvo un comportamiento poco dúctil, lo que implica que un pequeño incremento de la altura de ola significativa es suficiente para que el revestimiento pase de una situación de estabilidad (no movimiento) a la inestabilidad (movimiento oscilatorio) y colapso (desvinculación y expulsión de unidades).

6.3.- Ejemplo de aplicación de los resultados del estudio

A partir de las expresiones de diseño obtenidas de los resultados del ensayo de las unidades BetonPlan sobre suelos cohesivos (esquema C), se presenta un ejemplo de aplicación que permite cuantificar el desempeño del sistema en condiciones típicas de proyecto.

Partiendo de las indicadas condiciones de oleaje y adoptando una densidad relativa de $\Delta = 1.30$ (densidad del H⁰ de 2300 kg/m³), se dimensionó el espesor de bloque BetonPlan necesario según la inclinación del talud considerada.

$$\begin{aligned}
 H_s &= 0.80 \quad \text{m} \\
 T_p &= 4.00 \quad \text{seg} \\
 \Delta &= 1.30
 \end{aligned}$$

Talud (1V : H)	ξ_{op}	$H/\Delta D_n$	Espesor Bloque D_n [cm]
2	2.80	4.73	13
2.5	2.24	5.59	11
3	1.86	6.15	10
3.5	1.60	6.84	9

Tabla 1.- Ejemplo de aplicación

En la Tabla 1 se observan los espesores de bloque calculados para distintas inclinaciones de talud. Para la adopción del esquema más adecuado deben considerarse diferentes aspectos como la topografía, espacio disponible, costo del terraplén, funcionalidad de la obra, costo de instalación del bloque (según el peso) y demás costos y detalles constructivos particulares de cada obra.

6.4.- Otros comentarios

En los ensayos realizados se observó que los revestimientos apoyados sobre suelos granulares presentan una alta susceptibilidad al desarrollo de mecanismos de falla por inestabilidad geotécnica, en donde influyen factores tales como: el material del talud, grado de sollicitación, inclinación del talud, ausencia del manto granular y bajo peso de la coraza entre otros.

La resistencia hidráulica de los revestimientos colocados sobre suelos cohesivos puede variar a lo largo de su vida útil debido a la aparición de canalículos sobre la superficie del terraplén. La evaluación de este fenómeno debe ser considerada por el proyectista para el dimensionado del sistema de bloques y la elección del grado de seguridad de las obras.

No es posible determinar mediante modelación física esa disminución de resistencia, por la inadecuada representación de los fenómenos de erosión y transporte de materiales cohesivos a pequeñas escalas. Tampoco es posible realizarlo desde el punto de vista analítico, debido a la falta de modelos teóricos que interpreten adecuadamente el fenómeno de la estabilidad para el esquema de obra planteado.

Por otra parte, debe recordarse que el esquema de obra interviene en la magnitud del riesgo de falla de toda la estructura. Los suelos cohesivos tienen una resistencia al oleaje que se almacena como una resistencia adicional en caso de falla de la protección. Por tanto, el criterio de dimensionado del bloque no será el mismo si se tiene sólo un manto de material cohesivo sobre un terraplén arenoso o si la protección es apoyada sobre un terraplén completamente cohesivo.

Es recomendable el uso de un manto granular sobre taludes de material cohesivo, pues limita o disminuye el desarrollo gradual de canalículos por lavado del suelo,

asegurando de esta manera la constancia de las propiedades resistentes del conjunto a lo largo de la vida útil.

7.- CONCLUSIONES

- ✓ Los ensayos en modelo físico de taludes protegidos mediante bloques BetonCover y BetonPlan permitieron identificar los mecanismos de falla y establecer las características resistentes particulares para este tipo de unidades con respecto a la acción del oleaje. Se verificó que su comportamiento general se enmarcó dentro de la formulación teórica del problema.
- ✓ Los estudios en modelo permitieron establecer claramente la ventaja de colocar un manto de piedra entre el sustrato granular y la coraza de bloques para el caso de bloques no vinculados BetonCover, lo que mejora notablemente el desempeño hidráulico de la coraza.
- ✓ Los mecanismos de falla por inestabilidad geotécnica y expulsión de bloque están íntimamente asociados, ya que el desarrollo del primero lleva a una deformación de la coraza y la reducción y eventual pérdida de interacción entre bloques (ya sean vinculados o no), contribuyendo en mayor o menor medida a la expulsión de una o más unidades de la coraza.
- ✓ El estudio realizado es representativo de las condiciones de proyecto más habituales en nuestro medio, ya sea en su definición del marco teórico como en su elección de los esquemas de ensayo, permitiendo evaluar el desempeño de los bloques BetonCover y BetonPlan, y validando su aplicación como alternativa en sistemas de protección contra el oleaje.
- ✓ En la elaboración de proyectos de este tipo de estructuras no solo es necesario conocer el desempeño del sistema empleado, si no también contar con una correcta interpretación del mismo y con el aporte de otros elementos a ser tenidos en cuenta para la adopción de una solución determinada.

8.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] GRANDE A., LOSCHACOFF S., CASTELLANO R., RODRÍGUEZ C., BERRILIO D., (2005). - "Estudio de Resistencia al Oleaje de Unidades Premoldeadas Betoncover y BetonPlan", XXº Congreso Nacional del Agua.

[2] DAL FARRA A., RODRÍGUEZ C., (2005). - "Consideraciones sobre el Diseño y Ejecución de Revestimientos de Bloques", Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos.

[3] LOSCHACOFF S., (2002). - "Protecciones Costeras", Apuntes Curso Departamento Hidráulica de la F.I.U.B.A.

[4] PILARCZYK K. (1998). - "Dikes and Revetments", Journal of Hydraulic Engineering.

[5] PILARCZYK K. (1999). - "Dykes and Revetments, Design, Maintenance and Safety Assesment", Balkema, Rotterdam.

[6] PILARCZYK K. (2000). - "Design of Revetments", Dutch Public Works Department (RWS).

[7] CUR (Center for Civil Engineering Research and Codes) (1995). - "Design manual for pitched slope protection", Balkema, Países Bajos.

[8] U.S. ARMY, CORPS OF ENGINEERS (1984). - "Shore Protection Manual", USA.

[9] U.S. ARMY, CORPS OF ENGINEERS (2001). - "Coastal Engineering Manual", USA.