DESARROLLO DE UN MÉTODO DE DIMENSIONAMIENTO DE ENROCADOS PARA CONTRARRESTAR EROSIÓN EN RÍOS

BASILE, Pedro Abel[1]; RICCARDI, Gerardo Adrián[1,2]

[1]Departamento de Hidráulica-EIC y CURIHAM-FCEIA-UNR / pbasile@fceia.unr.edu.ar

[2] Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario / riccardi@fceia.unr.edu.ar

Palabras claves: Protección contra erosión; Dimensionamiento enrocados; Ríos.

INTRODUCCIÓN

Los revestimientos flexibles constituyen medidas de protección directas para contrarrestar los procesos de erosión de las márgenes y/o los lechos de ríos. Tales revestimientos incluyen enrocados, enrocados parcialmente inyectados, colchonetas, gaviones, mantas de bloques de hormigón adheridos a geotextil, bloques de hormigón articulados prefabricados, etc.

En particular, los enrocados se materializan con sedimentos naturales provenientes del lecho de ríos o eventualmente de canteras de producción y se instalan en una capa de varias partículas de espesor (ver Figura 1). Los enrocados son revestimientos versátiles, pueden instalarse con facilidad, especificarse para determinadas condiciones de flujo de diseño y adaptarse a las eventuales deformaciones locales sin que la instalación del revestimiento se vea completamente afectada.



Figura 1. Enrocado instalado s/margen de un río.

OBJETIVOS

Desarrollo de un método de dimensionamiento de revestimientos con enrocados, basado en el criterio de tensión de corte adimensional de Shields, que permita determinar conjuntamente el diámetro d_{50} del enrocado y la distribución granulométrica del mismo. Comparación del método desarrollado con otros métodos disponibles en la actualidad.

FORMULACIÓN DEL MÉTODO

El método propuesto, sintetizado en la ec. [1], plantea la igualdad entre la tensión de corte adimensional τ_{*50} (solicitación hidrodinámica) y la tensión de corte adimensional crítica para movimiento incipiente τ_{*c50}, la cual se determina con la curva de Shields envolvente (Figura 2), corregida por la influencia de: i) Pendiente longitudinal del cauce K_α, ii) Pendiente transversal de margen o talud sumergido del lecho K_β, iii) Gradación granulométrica del enrocado de diseño K_g y iv) Turbulencia del flujo K_t. Dado que el planteo es realizado en el límite del movimiento incipiente, en la ec. [1] se introduce un factor de seguridad F_s (1.2 – 1.5).

$$\frac{F_s\, U^2}{C^2\,(s-1)\,d_{50}} = \frac{K_\alpha K_\beta K_g}{K_t^2}\,\tau_{*c50} \qquad [1]$$

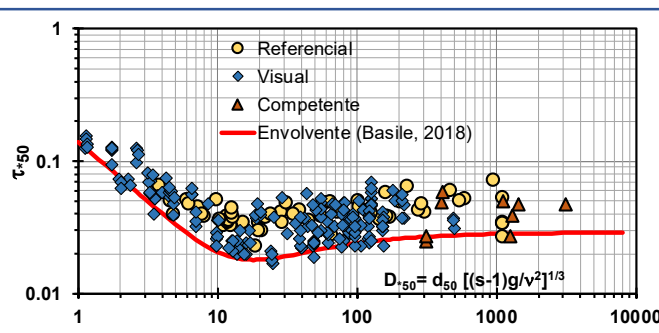


Figura 2. Curva de Shields envolvente.

Factores de pendientes longitudinal K_α y transversal K_β

$$K_\alpha = \frac{sen(\varphi - \alpha)}{sen\varphi} \qquad [2]$$

$$K_\beta = \cos\beta\sqrt{1-\frac{tg^2\beta}{tg^2\varphi}} \qquad [3]$$

α: ángulo longitudinal del cauce (grados).

φ: ángulo reposo enrocado (clastos bien redondeados φ=40º y clastos angulares φ=42º).

β: ángulo transversal de margen o talud sumergido del lecho (grados).

Factor de turbulencia del flujo K_t

$$K_t = 2.2\,r_u + 0.74 \qquad [5]$$

$$r_u = 2.33\frac{\sqrt{g}}{C} \qquad [6]$$

$$C = \xi\sqrt{g}\left(\frac{h}{k_s}\right)^m \qquad [7]$$

Para turbulencia normal-aumentada (intensidad turbulencia relativa r_u=0.12–0.22) se aplican las ecs. [5], [6] y [7]. Para turbulencia alta o muy alta se aplica la ec. [5] adoptando: i) r_u=0.22–0.4 (turbulencia alta: pilas y estribos de puentes, pilotes, puntas de espigones, etc.), ii) r_u=0.4–0.6 (turbulencia muy alta: aguas abajo de vertederos, caídas hidráulicas, etc.).

Factor de gradación granulométrica K_g

La curva granulométrica adimensional del enrocado de diseño se especifica a priori, a partir de los valores de Tabla 1. Con las relaciones d_{15}/d_{50} y d_{85}/d_{50} (adoptadas en los rangos de Tabla 1) queda definida la relación d_{85}/d_{15}, que interviene en la ec. [4]. De esta manera, con la ec. [1] se determina el d_{50} y simultáneamente la distribución granulométrica del enrocado: d_0, d_{15}, d_{50}, d_{85}, d_{100}.

$$K_g = \left(\frac{d_{85}}{\sqrt{d_{85}\,d_{15}}}\right)^{-b} = \left(\frac{d_{85}}{d_{15}}\right)^{-b/2} \qquad [4]$$

d_x diámetro enrocado para el cual el x % es más fino (x=0, 15, 50, 85, 100). b=0.8 – 1.

Tabla 1. Rangos d_x/d_{50} para CG adimensionales medias.

d_0/d_{50}		d_{15}/d_{50}		d_{85}/d_{50}		d_{100}/d_{50}	
CG fina	CG gruesa	CG fina	CG gruesa	CG fina	CG gruesa	CG fina	CG gruesa
0.48	0.58	0.64	0.75	1.36	1.33	2.10	1.73

APLICACIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO

El método propuesto fue aplicado y comparado con los métodos de Escarameia y May (1992), Pilarczyk, (1995) y Maynord (1995). Se consideró la protección del fondo de un río con pendientes de fondo bajas, profundidad de flujo h=6 m constante, intensidad de turbulencia relativa aumentada con r_u=0.21 constante.

En la Figura 3 se presenta la comparación de los métodos de cálculo. Se observa que el método propuesto en este estudio, con F_s=1.5 proporciona resultados similares al método de Escarameia y May; mientras que, con F_s=1.2 produce resultados moderadamente mayores que el método de Pilarczyk y bastante mayores que el método de Maynord.

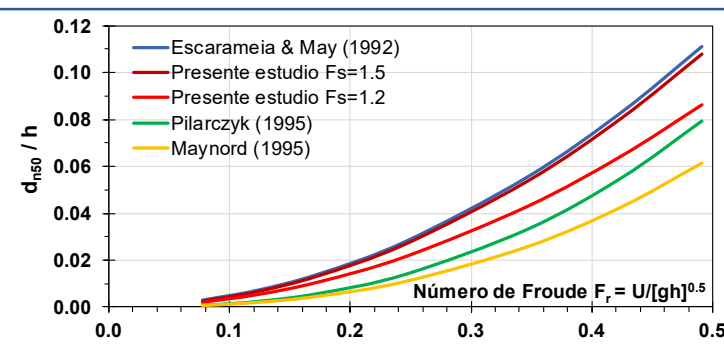


Figura 3. Comparación de métodos.

El método también fue aplicado para reproducir 33 experimentos en canal de laboratorio; seleccionados del trabajo realizado por Escarameia y May (1992). Tales experimentos fueron ejecutados en el laboratorio HR Wallingford-UK con el objetivo de analizar la estabilidad de enrocados para protecciones de cauces de ríos.

En la Figura 4 se presentan los resultados de la aplicación. Se observa que la relación (d_{50} calc./d_{50} obs.) varía entre 0.7 y 1.3 para el 79 % de los experimentos seleccionados. Para solicitaciones hidrodinámicas elevadas, es decir u*≥0.055 m/s, la relación (d_{50} calc./d_{50} obs.)>1 en todos los casos y acotada a un valor máximo de 1.6-1.7.

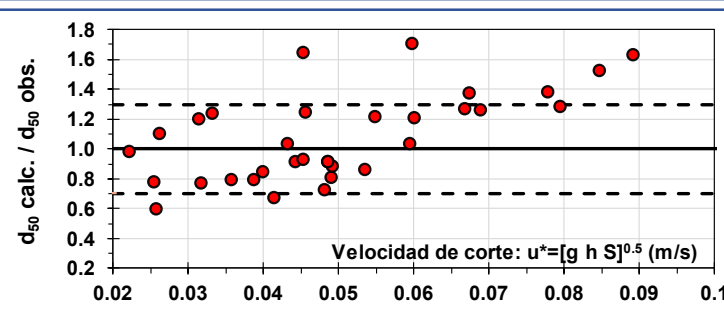


Figura 4. Relación (d_{50} calc./d_{50} obs.) vs. u*.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un método de dimensionamiento de enrocados para protecciones contra erosión de márgenes y/o lechos de ríos. El mismo permite determinar contemporáneamente el diámetro d_{50} y la distribución granulométrica del enrocado de diseño. Esto representa un avance respecto a los métodos disponibles actualmente, los cuales determinan solamente el tamaño medio del enrocado.

En la situación de diseño considerada, el método propuesto con F_s=1.5 es similar al de Escarameia y May; mientras que, con F_s=1.2 proporciona resultados moderadamente mayores que el de Pilarczyk (1995). El método de Maynord (1995) produce los menores valores de la relación d_{n50}/h para todo el rango del número de Froude, lo cual es debido a que no contempla el efecto de turbulencia del flujo mayor que la normal.

El método propuesto, aplicado a los experimentos en el canal de laboratorio considerando F_s=1.35, reproduce adecuadamente las 33 pruebas experimentales seleccionadas.