

MACRORUGOSIDAD COMO PROMOTOR DEL MOVIMIENTO DE LOS SEDIMENTOS

A. Bateman¹, R. Sosa¹, B. Onorati,² y B. Marín-Esteve¹

¹Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos GITS-UPC. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña. Jordi Girona 31-34 Barcelona-639217557.

²Scuola di Ingegneria. Università degli Studi della Basilicata, Potenza, 85100, Italia.
E-mail: allen.bateman@upc.edu

Resumen

Se ha escrito bastante sobre la macrorugosidad en lechos fijos, pero poco se habla de la influencia o acción de la macrorugosidad en lechos móviles. Este documento presenta un análisis cualitativo de la erosión local y movilización del sedimento en lechos móviles en presencia de macrorugosidad. La macrorugosidad es una forma de aumentar la rugosidad en una zona concreta del lecho marino o fluvial, las consecuencias son diversas, pero una de ellas es mantener activa la turbulencia local y por tanto el control de la misma aportando más o menos rugosidad al lecho. La macrorugosidad se diseñó con objetos de diferentes formas colocados a lo largo de un canal de 2.52 m de anchura en régimen de aguas claras, creando una faja de objetos con anchura de al menos 80 cm. Esto crea un corredor central dentro del canal que se comporta diferente que los laterales con el fin de observar su influencia local y general. Se han usado diferentes tipos de elementos para escoger el que mejor promueve el transporte de sedimentos, entre los bloques cúbicos de hormigón colocados de manera que una cara sea normal al flujo, bloques cúbicos de hormigón girados 45°, placas planas a nivel del lecho, y placas planas elevadas sobre el lecho. Se observa que cada elemento tiene comportamientos muy diferentes respecto a la erosión/sedimentación y transporte del material que se encuentra a su alrededor. Aunque se relatan algunos de ellos, la atención se fijará sobre las placas planas elevadas del lecho porque son las que más eficientemente mueven el sedimento.

Palabras Clave: Macrorugosidad, tensión de fondo, erosión local, inicio movimiento.

Introducción

Uno de los temas más complejos de la hidráulica evidentemente es la resistencia al flujo. Esta es el resultado de la interacción entre las superficies y obstáculos que encuentra el flujo a su paso y el propio fluido.

La rugosidad produce un efecto de intercambio de cantidad de movimiento que se traduce en lo que conocemos como turbulencia. Esta puede producirse por la interacción entre fluido y superficies como por la interacción entre las partes del propio fluido.

Así una superficie lisa produce menos turbulencia que una superficie rugosa. Es decir, existe menos transferencia de momentum transversal a la dirección del flujo en las superficies lisas que en las rugosas.

Las macrorugosidades artificiales como las que se mostraron en este trabajo pretenden dar una idea global de su comportamiento, así las formas utilizadas son diversas tales como cubos, placas y otras formas más complejas.

Otro fenómeno que provoca una macrorugosidad es la adición de una fuerza local externa en la masa de fluido. Ya que el flujo al chocar con los elementos macrorugosos tiende a acelerarse cambiando de dirección, esta aceleración está provocada por la fuerza adicional que ejerce el elemento sobre el fluido. Una de las consecuencias de este intercambio de fuerzas es la creación de vórtices que pueden ser de eje horizontal o vertical. Las placas colocadas oblicuamente al flujo provocan la formación de vórtices de eje horizontal que son capaces de generar tensiones cerca del fondo superiores a las que está soportando el

lecho si no estuviesen estas macrorugosidades. Nikuradse, J. (1926), Sayre W, Albertson (1961), Aguirre et al (1986), Koloseus J, Davidian, J. 1966, Christodoulo, (2014) son algunos autores que han realizado estudio de macrorugosidades en lecho fijo, Odgaard, 1985 estudia paneles sumergidos colocados en lechos fluviales que es otra forma de colocar macrorugosidades. La idea fundamental del estudio es comprobar la eficiencia en el transporte de sedimentos en lechos donde el flujo es incapaz de movilizar los sedimentos.

Descripción de los elementos

Se probaron diferentes elementos para colocar en el lecho como macrorugosidad. El primer elemento que pareció interesante probar fue un cubo de 2.7 cm de lado. Adicionalmente se probaron otras formas como se muestra en la **Figura 1**. Los cubos se alinearon con el flujo a 90° y 45° y los ángulos a 90° y 30°.

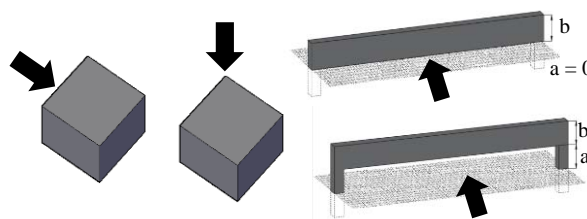


Figura 1.- Ejemplos de las formas que se analizaron; cubo en dos posiciones y placa frontal al flujo con y sin altura.

Descripción de los experimentos

Los experimentos se realizaron en el laboratorio de morfodinámica fluvial I de GITS-UPC en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Se usó un canal de 9 m de longitud por 2.52 m de ancho que comporta una zanja en el medio con una longitud de 2.50 m y una profundidad de 50 cm. La zanja se rellena de arena de $D_{50}=1.6$ mm y se allana con una pendiente de $1 \cdot 10^{-3}$. El inicio del movimiento de esta arena con las condiciones de ensayo se da para 100 l/s, con una profundidad de 10 cm, con la tensión de fondo aproximadamente de $1N/m^2$. Se ensayaron diversas disposiciones de los elementos como los de la **Figura 1**. Definitivamente el que mejor eficiencia demostró es la placa sobre elevada del lecho. Así, sobre esta placa se realizaron una serie de experimentos dirigidos a entender la distribución de velocidades y tensiones en la zona inmediata aguas abajo. Se probó para placas de 1.25, 2.5 y 3.75 cm de alto elevadas 0.83, 1.25 y 2.5 cm sobre el suelo para caudales de 50, 75 y 100 l/s. Los perfiles de velocidad se tomaron con Vectrino de visión lateral a 1cm y 5 cm de distancia.

El ensayo se hizo sobre un lecho de arena gruesa con $D_{50}=1.65$ mm y se pretende movilizar sobre ésta, la arena fina de $D_{50}=0.2$ mm. En el diagrama de Shields de la **Figura 2** se presentan los valores en que se realizaron algunos de los experimentos, para un nivel del agua de 20 cm claramente por debajo del inicio del movimiento para las partículas que se van a alimentar y que pretenden ser arrastradas por la presencia de las macrorugosidades.

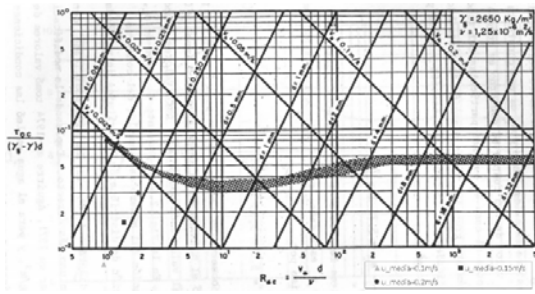


Figura 2.- Representación de las condiciones de tensión adimensional en condiciones hidrostáticas de los experimentos en el ábaco de Shields.

Resultados de la medición

Se realizó, para cada combinación de parámetros, un perfil detallado de velocidades atendiendo a medir con suficiente tiempo para registrar un buen valor medio de la misma. Ya que al estar midiendo en zona de producción de turbulencia la generación de estelas de vórtices está garantizada.

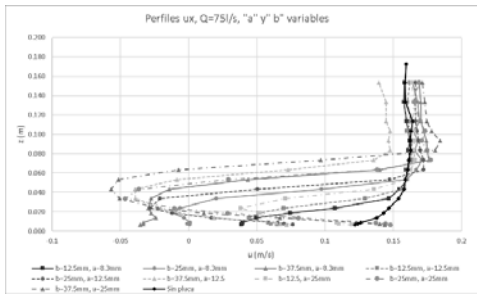


Figura 3.- Distribución de velocidades para un caudal de 75 l/s.

En la Figura 3 se muestra como la velocidad a 5 cm de distancia se ve reducida, incluso hasta llegar a tener valores medios negativos. Los resultados se dan para diferentes valores de elevación *a* y altura *b* de la placa. Así mismo utilizando la teoría de Reynolds acerca del flujo medio, las tensiones de Reynolds pueden ser evaluadas y así, caracterizar su distribución. En esta misma figura se añadió el flujo normal con que discurre el flujo antes de llegar a la placa. Se puede ver que aún no hay influencia de la placa sobre los niveles superiores del flujo.

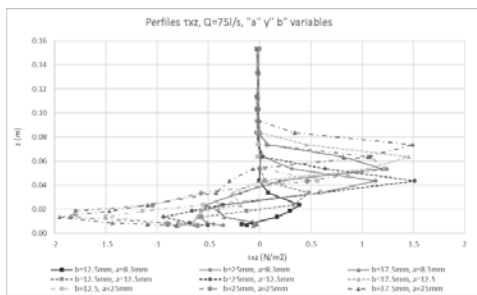


Figura 4.- Distribución de tensiones de Reynolds τ_{xz} para un caudal de 75 l/s variando todas las otras condiciones de altura de placa y elevación.

En la Figura 4 se observa el resultado de las tensiones y en ella se observa claramente la tensión elevada que se da, con puntas que llegan a superar en 6 o más veces la tensión normal de Reynolds en ausencia de placas. Las placas tienen el efecto de aumentar por encima de ellas la tensión, pero también aumentan la tensión cerca del fondo, aunque no se puede apreciar en la figura este efecto porque no es posible llegar a medir cerca del fondo, esto se observa

cuando se coloca sedimento fino por debajo. A mayor elevación de la placa menor es la tensión desarrollada, aunque si la elevación es casi nula, la tensión desarrollada disminuye. La movilización del sedimento se garantiza mientras las tensiones por debajo de la placa sean altas, y que una vez el sedimento pasa y se acumula aguas abajo, la tensión superior haga el trabajo de movilizar el sedimento a una placa situada aguas abajo y este proceso permitiría eventualmente mover el sedimento con la presencia de macrorugosidades. Una forma de valorar es adimensionalizar el fenómeno. Esto se realizó definiendo el defecto de velocidades como la diferencia entre la distribución de velocidades en ausencia de placas y la distribución de velocidades con placas dividido por el mayor valor encontrado en la diferencia. El eje de las ordenadas se adimensionalizó con la suma de la elevación y altura correspondientes a cada placa.

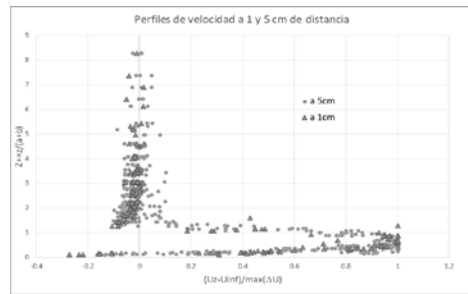


Figura 5.- Distribución adimensional del defecto de velocidades para 42 ensayos diferentes.

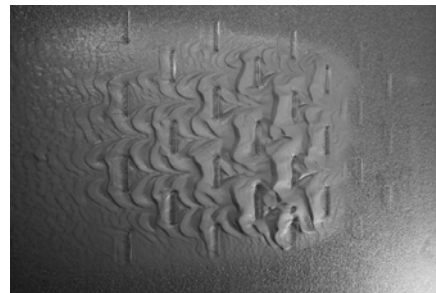


Figura 6. - Resultado de un ensayo en el que se muestra el movimiento del sedimento de derecha a izquierda.

En la Figura 6 se observa el resultado de un experimento en el que se ha suministrado sedimento fino a la derecha de la imagen y este se ha movilizado hacia la izquierda producto de la presencia de placas elevadas.

Conclusiones

La macrorugosidad incrementan sustancialmente las tensiones cerca del fondo. Las placas elevadas del suelo posibilitan la movilización del sedimento en un sitio donde normalmente las tensiones son bajas.

Referencias

Nikuradse, 1926. Untersuchungen über die Geschwindigkeitsverteilung in turbulenten Stromungen. Thesis Göttingen, VDI Forschungsheft 281, Berlin, 1926.

Sayre and Albertson Roughness Spacing in rigid open channels, Transactions, ASCE, 128, 196 pp 343-427

Aguirre, J; Olivero, M; Fuentes, R. 1986. Una formula para la fricción en escurrimiento rugosos a superficie libre. Ciencia e ingeniería volumen XVIII.

Koloseus and Davidian, 1966 Free surface instability correlation, Geologicval survey. Water Supply. Paper 1592C. U.S. Government Printing Office, 1966.