

Tratamiento de imágenes para la adquisición de perfiles de agua y sedimento en laboratorio

Image processing for water and sediment contours acquisition in the laboratory

(Recepción 11/03/2020; Aceptación 08/06/2020)

Toapaxi, J.A.^{1,2}; Guillén, S.G.¹; Carrillo, J.M.¹; Castillo, L.G.¹

¹Hidr@m Group, Dpto. Ingeniería Minera y Civil, Universidad Politécnica de Cartagena, España

²Dpto. Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Teléfono: +34 968 17 77 00

Email: sebastian.guillen@upct.es

Resumen. La adquisición de datos en laboratorio constituye una etapa indispensable en la experimentación y análisis de fenómenos hidrodinámicos y de transporte de sedimentos. Este artículo presenta la metodología para adquirir las coordenadas de los perfiles de agua y sedimento en un canal hidrodinámico, para lo cual, se ha considerado: lavado de sedimentos flushing, filmación lateral del ensayo y procesamiento de imágenes. Para validar el método se ha empleado sensores de profundidad instalados a lo largo del canal. Los resultados muestran que esta metodología tiene una buena aproximación en la medición de evolución de los perfiles de agua y sedimento.

Palabras clave. agua, flushing, imagen, perfil, sedimento.

Abstract. The acquisition data in the laboratory is an indispensable step in the experimentation and analysis of hydrodynamic and sediment transport phenomena. This article presents the methodology for acquiring the coordinates of water and sediment contours in a hydrodynamic channel, for which the following have been considered: flushing of sediments, lateral filming of the test and image processing. To validate the method, depth sensors installed along the channel have been used. The results show that this methodology has a good approximation in measuring the evolution of water and sediment profiles.

Keywords. water, flushing, image, contour, sediment.

1. Introducción

El lavado de sedimentos o flushing forma parte de una gestión óptima para evacuar los sedimentos de los embalses. Otras técnicas de lavado, como la limpieza total, es un trabajo laborioso y extenso que involucra el uso de maquinaria pesada para remover el material acumulado, con el consiguiente costo económico (Torres, et al., 2019).

En los últimos años, ha tenido gran desarrollo la aplicación de técnicas no intrusivas para medir las variables del flujo de agua, una de ellas consiste en la medición de profundidades utilizando la grabación de videos y el posterior tratamiento de imágenes.

El presente documento tiene como finalidad dar a conocer el proceso para la adquisición de coordenadas de los perfiles agua y sedimento, considerando un orden de magnitud en metros, para varios instantes de tiempo, cada 0.02 s. Trabajos precedentes han desarrollado técnicas de medición por medio del tratamiento de imágenes, sin embargo, la longitud de medición ha sido del orden de centímetros. La presencia de manchas, reflejos o una iluminación incorrecta pueden dar como resultado medidas erróneas por lo que es recomendable que se cuiden estos aspectos antes de tomar la fotografía (Jiménez, 2006).

2. Metodología

2.1. Instalación experimental

La instalación experimental consiste de un canal rectangular de 12 m de largo, 0.30 m de ancho y 0.45 m de alto. Las paredes del canal son de vidrio colocados en paneles de 1 m de longitud. El efecto de lavado de evacuación de sedimentos flushing, se genera por medio de una compuerta giratoria instalada aguas abajo del canal.

Los dos paneles del canal sujetos al análisis y que suman un total de 2.30 metros de longitud, están equipados con: 8 lámparas de iluminación para fotografía (colocados en la parte superior del canal); 6 sensores ultrasónicos para medir el nivel de agua (ubicados a 0.09, 0.24, 0.49, 0.84, 1.29 y 2.19 m) y cuya abscisa cero se ubica en el cierre de la compuerta giratoria; y dos cámaras de video DSLR Nikon D5600, equipadas con objetivos de distancia focal de 35 mm (ubicadas paralelas y niveladas a 2.5 m del canal). La Fig. 1 muestra un esquema de la configuración experimental.

2.2. Configuración y sincronización

Para obtener los contornos de agua y de sedimento resulta determinante la configuración de las cámaras.

El arreglo óptimo permite obtener los perfiles correctamente representados en espacio y tiempo, sin interferencia de la luz externa, reduciendo la mayor cantidad de reflejos y sin ocasionar que la iluminación artificial penetre en la cama de sedimento. Luego de ensayar con varias combinaciones los parámetros de las cámaras, se calibran como se indica a continuación: grabación a 50 fotografías por segundo, con una velocidad de obturación de 1/1000 s, ISO 800, exposición de -5.0, fluorescente, apertura de 5.0 y resolución de 1920 de ancho por 1080 de alto de fotograma.

En lo referente a la sincronización, las cámaras son conectadas a un ordenador y por medio del programa “digiCamControl” y una subrutina en el programa MATLAB, versión R2019b, se controla el inicio y el final de la filmación del video.

En lo que respecta a los limnímetros ultrasónicos, estos miden la superficie de agua a 1 Hz de frecuencia.

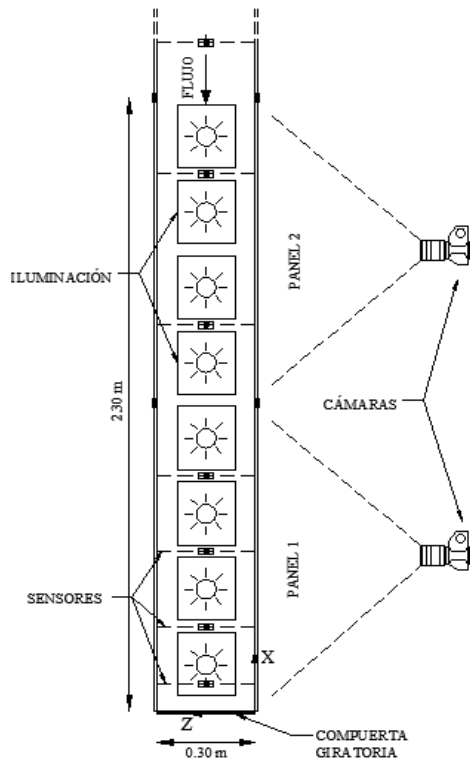


Figura 1. Instalación experimental, vista en planta.

2.3. Procedimiento experimental

Han sido realizados alrededor de 10 ensayos con diferentes combinaciones de calados de agua y sedimento, considerando una longitud de canal de 9.30 m y pendiente igual a cero. El lecho de sedimento, compuesto de arena con $D_{50} = 0.7$ mm, ha sido ubicado en la salida del canal en una longitud de 3 metros. En el ensayo representativo mostrado en este documento, el espesor de sedimentos es de 10 cm y el calado de agua de 20 cm.

Una vez nivelada la cama de sedimentos, se ubican y conectan los sensores ultrasónicos y la iluminación a lo largo del tramo de análisis. Posteriormente, se inicia el llenado del canal hasta el nivel indicado con un caudal de 2 l/s.

Luego de alcanzar el nivel y apagar la bomba, se conectan las cámaras y sensores al ordenador, y se inicia la grabación. A continuación, se abre la compuerta giratoria en un intervalo de tiempo de 0.06 s aproximadamente. La grabación es finalizada cuando el perfil de agua alcanza el perfil de sedimento, en promedio del orden de 1 min.

Para el escalamiento de las imágenes se ejecuta un segundo video con una configuración automática de las cámaras donde se pueda divisar y ubicar puntos de control referenciados en el origen y al final de cada panel. Luego, se mide in situ las dimensiones reales y se obtienen las coordenadas inferior izquierda y superior derecha de cada tramo.

2.4. Procesamientos de Imágenes

El procesamiento inicia con el recorte y la verificación de la escala de las imágenes obtenidas en el video del ensayo, en función de las coordenadas de los puntos de referencia obtenidas en el segundo video, las medidas reales tomadas en el laboratorio y la cuantificación de los tamaños de pixel para el eje “x” el eje “y”, calculados según la Ecuación 1.

$$tp = 10 \times \frac{Lr}{C_{max} - C_{min}} \quad (1)$$

Donde, tp es el tamaño de pixel en mm, Lr es la longitud real en cm, C_{max} y C_{min} son las coordenadas máxima y mínima en pixeles, respectivamente.

La Tabla 1 muestra la verificación de la escala, donde se muestra que el tamaño de pixel es prácticamente el mismo para los dos ejes y de los dos tramos.

Tabla 1. Verificación de escala en los ejes “x” y “y”.

		Coordenadas [pixel]		Lr [cm]	tp [mm]
		Inferior izquierda	Superior derecha		
Panel 1	x	222	1426	106.6	0.885
	y	693	379	27.8	0.885
Panel 2	x	243	1617	121.6	0.885
	y	687	373	27.8	0.885

Las imágenes han sido procesadas mediante el script escrito en MATLAB “Water_Sediment_JT_v1.m”, desarrollado a partir de los módulos y comandos contenidos en la sección “Image Processing Toolbox”, la cual, proporciona un conjunto completo de algoritmos estándar de referencia y aplicaciones de flujo de trabajo para el procesamiento de imágenes (MathWorks, 2020). Para obtener los contornos se lista y describen en los siguientes pasos principales:

- 1) Convertir la imagen RGB a escala de grises mediante el comando “rgb2gray”.
- 2) Ejecutar la binarización de la imagen reduciendo la información a una matriz conformada por 0 y 1, mediante el comando “imbinarize”.

- 3) Filtrar los objetos pequeños de la imagen, por medio del comando “bwareopen”. En este paso, el umbral de eliminación se configura en función de un factor que representa el número de píxeles máximo, bajo el cual los elementos serán eliminados. Por su naturaleza, este parámetro tiene un amplio rango de variación y ha sido sujeto a calibración, considerando un valor promedio de 1000 píxeles.
- 4) Identificar el perímetro del contorno en función de la conectividad del píxel, aplicando la herramienta “bwperim”. En este análisis se ha usado un valor de 8, siendo la máxima conectividad que puede tener un píxel. Esta condición es importante al considerar la variación significativa de la lámina de agua y la formación de ondulaciones debido a las formas de fondo que ocurren en los primeros instantes del lavado flushing.
- 5) Generar la matriz de información en función del número de conexiones identificadas, por medio del comando “bwlabel”.
- 6) Filtrar los valores de ordenadas máximas para el contorno de agua y ordenadas mínimas para el contorno de sedimento.

3. Resultados y validación

En la validación del método se ha tomado como referencia 3 instantes de tiempo a 0 s, 5 s y 45 s. Se ha comparado, las profundidades agua y sedimento obtenidos mediante el análisis de imágenes, con las profundidades medidas con los sensores ultrasónicos en el caso del agua y las obtenidas mediante escala graduada para el nivel de sedimentos, este último únicamente al instante inicial y final del ensayo. En la Fig. 2 se muestra los resultados obtenidos.

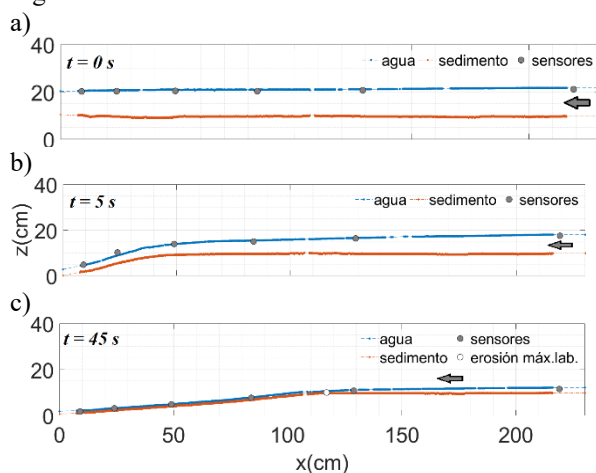


Figura 2. Perfiles de agua y sedimento, a) 0 s, b) 5 s y c) 45 s.

En la figura anterior, para el instante de tiempo de 5 s, se observa que en los dos sensores más próximos a la compuerta (primer panel), se presenta valores superiores de niveles de agua, esto se debe a que en esa zona y lapso de tiempo, el flujo es altamente turbulento y se genera burbujas de aire que se transportan por la superficie del agua, captado por el sensor; lo cual no representa el calado predominante a lo ancho del canal, alzando errores en promedio de

hasta 4.7%. Por otro lado, entre la abscisa 100 a 230 (segundo panel), el error es menor a 2.0%.

En general, comparando los datos obtenidos mediante los sensores y mediante la fotogrametría, se identifica que no existe una variación significativa, siendo el error relativo promedio inferior al 4%.

Finalmente, respecto al valor de abscisa de erosión máxima, existe un error porcentual menor de 5% entre los valores obtenidos con la medición convencional y la imagen.

4. Conclusiones

La obtención de las coordenadas de los perfiles de agua y sedimento mediante video y el análisis fotogramétrico, constituyen una alternativa válida en ensayos donde existe variación significativa de las variables geométricas en un periodo de tiempo relativamente corto, del orden de centésimas de segundo.

Cuando se presentan particularidades durante del ensayo, sean sombras, burbujas, reflejos o iluminación excesiva de elementos anexos, existen varios comandos que permiten modificar la intensidad de las imágenes, tales como: “imadjust”, “histeq”, “adaphisteq”. En búsqueda de pulir las imágenes, estas subrutinas pueden ser combinadas con otros métodos de detección de contornos que presenta el MATLAB, como “sobel” o “canny”. No obstante, con la finalidad de generalizar la metodología para la duración del ensayo, es recomendable prestar especial atención a actividades más relevantes, como por ejemplo: uniformización de las condiciones de luz, posicionamiento de cámaras, limpieza del canal y eliminación de elementos reflectantes.

Agradecimientos

Este estudio es parte del proyecto EFISED (20403/SF/17) financiando por la Fundación Séneca de la Región de Murcia (España).

El primer autor agradece a la Escuela Politécnica Nacional (Ecuador) y la Fundación Carolina (España) por la ayuda financiera recibida para sus estudios de doctorado.

Referencias

Jiménez, P. (2006). “Estudio sobre estabilidad de traviesas y lechos de escollera con transporte sólido” *Tesina*. Universidad Politécnica de Catalunya, España.

MathWorks (2020). <https://in.mathworks.com/help/images/> (Recuperado: 06/03/2020).

Torres, O., Barrera, P., García, M. (2019) “An operational sediment flushing scheme for the Ocaña hydropower plant regulation reservoir in Ecuador” *Proceedings of the 38th IAHR World Congress*, Ciudad de Panamá, Panamá, pp. 83-94.