

# Topografía de un modelo físico de drenaje urbano a partir de la técnica fotogramétrica Structure from Motion

## *Topography of a drainage physical model with the photogrammetric technique Structure from Motion*

(Recepción 30/01/2018; Aceptación 05/03/2018)

Regueiro-Picallo, M.<sup>1</sup>; Naves, J.<sup>1</sup>; Sañudo, E.<sup>1</sup>; Anta, J.<sup>1</sup>; Puertas, J.<sup>1</sup>; Suárez, J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade da Coruña, Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA), A Coruña, España

Teléfono: +34 881 015 411

Email: manuel.regueiro1@udc.es

**Resumen.** Las técnicas de visualización se presentan como una herramienta innovadora para resolver algunos problemas complejos de la hidráulica experimental de forma sencilla y generalmente con un bajo coste. Este estudio muestra un caso de aplicación de la técnica fotogramétrica Structure from Motion (SFM) para reconstruir la superficie de un modelo físico de drenaje urbano. De esta manera, a partir de un barrido de imágenes se ha obtenido una malla detallada de la superficie con una resolución de 5 mm y un error relativo de  $\pm 2.5\%$  respecto a técnicas topográficas convencionales para su uso en modelos numéricos 2D de transformación lluvia-escorrentía.

**Palabras clave.** Drenaje urbano, fotogrametría, modelo físico, visualización.

**Abstract.** The use of visualization techniques appears as a novel tool to solve complex experimental procedures with a simple and low-cost solution. In this research, an application of the photogrammetric technique Structure from Motion (SFM) is developed to reproduce the surface of an urban drainage full-scale facility. Thus, a detailed mesh reconstruction of the street surface was obtained from a photo scanning with a resolution of 5 mm and a relative error of  $\pm 2.5\%$  compared with conventional techniques in order to be the input topography for 2D runoff-rainfall models.

**Keywords.** Photogrammetry, physical model, urban drainage, visualization.

## 1. Introducción

En el ámbito del drenaje urbano y de los modelos de transformación lluvia-escorrentía, las elevaciones en la superficie de la cuenca estudiada cobran una especial importancia por su gran influencia en el flujo superficial debido a los bajos calados que se dan. En este aspecto, los modelos digitales del terreno son usados habitualmente como base topográfica, siendo claves en la precisión de este tipo de modelos (Casas et al., 2006).

Esta sensibilidad a la topografía de la cuenca se acentúa en el caso de los modelos físicos de laboratorio y en cuencas pequeñas, que cuentan con un área mucho menor y en donde las mallas que se utilizan en su modelización numérica tienen elementos del orden de centímetros o milímetros. Es por ello que, en estos casos, es necesario un levantamiento topográfico en el que se determinen con precisión las dimensiones y elevaciones del modelo físico, con el coste de tiempo y recursos que ello conlleva.

Debido a esta circunstancia, las técnicas de visualización se presentan como una posible alternativa de bajo coste al levantamiento topográfico. En los últimos años estas técnicas se están empezando a emplear en el ámbito de la ingeniería hidráulica, siendo un ejemplo el estudio presentado por Detert et al. (2016) donde se utiliza la

técnica Structure from Motion (SFM) en el levantamiento de un cauce fluvial o, a una escala mucho más reducida, Regueiro-Picallo et al. (2017) analizan la acumulación de sedimentos en conducciones de saneamiento con la misma técnica de visualización.

En este artículo se plantea la utilización de la técnica fotogramétrica SFM para la obtención de las elevaciones y de la geometría de la superficie de un modelo físico de laboratorio. Esto permitirá disponer de una malla detallada para modelizar con precisión las principales variables hidráulicas que se dan en la superficie del modelo.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Modelo físico

El estudio se ha llevado a cabo en un modelo físico de escorrentía urbana situado en las instalaciones del laboratorio de hidráulica del Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC) de la Universidade da Coruña. El modelo consiste en un simulador de lluvia situado sobre un tramo de calle de  $6 \times 6 \text{ m}^2$  a escala real, dividido en una parte de acera y un pavimento de hormigón. La escorrentía generada por la lluvia en la superficie drena a través de dos arquetas hacia una red de



tuberías. En Naves et al. (2017) se puede encontrar una descripción más detallada del modelo.

## 2.2. Técnica Structure from Motion

La técnica SFM se basa en principios estereoscópicos que permiten reconstruir un objeto 3D a partir de la superposición de fotografías. Se diferencia de las técnicas fotogramétricas convencionales en que la geometría de la escena, las posiciones de la cámara y sus orientaciones se resuelven a través de cálculos computacionales (Tomás et al., 2016).

En este estudio se ha utilizado el software de licencia gratuita VisualSFM (Wu et al., 2011; Wu 2013) para la reconstrucción digital de la superficie del modelo experimental. Para ello, se han realizado 50 fotografías desde diferentes posiciones sobre la calle y planos generales a 2.50 m de altura, utilizando una cámara Lumix GH4 con una distancia focal de 28 mm y una resolución de imagen de 3264x2448 píxeles. Estas imágenes se han realizado buscando cierta superposición (60% aprox.), de manera que el software fuese capaz de obtener mediante triangulación las coordenadas del mayor número de puntos posibles. En el caso del modelo estudiado, el color del pavimento de hormigón es muy homogéneo, lo que dificulta la identificación de puntos comunes por el software. Debido a esto, se recurrió a proyectar una imagen sobre la superficie de la calle para conseguir la textura necesaria que permitiese la obtención de una nube de puntos lo suficientemente densa y, a su vez, una iluminación constante (Figura 1a).

## 2.3. Tratamiento de la nube de puntos

Una vez obtenida la nube de puntos de la superficie mediante el software VisualSFM, ésta se escala y se referencia mediante al menos cuatro puntos con coordenadas conocidas situados sobre la calle. Para ello, se ha utilizado el software de uso libre MeshLab, con el que también se ha texturizado el modelo 3D resultante a partir de las fotografías (Figura 1b).

Una vez hecho esto, se ha decidido transformar la nube de puntos bruta (967,000 elementos) en una malla con elementos espaciados 5 mm entre sí, a la cual se ha aplicado una mediana bidimensional a cada cota de tamaño 50x50 elementos. Realizando estas

operaciones se eliminan cotas erróneas de la nube de puntos bruta y se reduce considerablemente el número de puntos, manteniendo una resolución aceptable y favoreciendo los tiempos de cálculo con la malla resultante.

## 3. Resultados y discusión

En la Figura 2a se incluye el mapa de elevaciones de la superficie del modelo, obtenido a partir de la nube de puntos de la reconstrucción mostrada anteriormente en la Figura 1b. Finalmente, para el escalado y posicionamiento de los puntos se han utilizado cinco puntos de referencia sobre la superficie obteniéndose un error en el ajuste del 0.5%.

Esta topografía resultante se ha comparado además con un mapa de elevaciones obtenido a partir de las distancias de una malla rectangular de 144 puntos, separados 50 cm entre sí, a un plano láser horizontal de referencia (Figura 2b). Para poder comparar ambas topografías se han interpolado las alturas medidas a partir del plano láser con la misma resolución (5 mm) del mapa de elevaciones obtenido con la técnica SFM. En la Figura 2c se presentan las diferencias relativas entre ambas topografías, obteniendo valores máximos en torno al 2.5%. En esta comparación se puede ver como la técnica fotogramétrica es capaz de obtener unos resultados de precisión similar al método de medir las distancias a un plano de referencia.

## 4. Conclusiones

En este trabajo se ha obtenido una topografía detallada de la superficie de un modelo físico de drenaje urbano a partir de un barrido de imágenes del mismo. En la comparación de los resultados con mapas de elevaciones obtenidos mediante la interpolación de medidas puntuales, se concluye que la técnica presentada es capaz de mantener la precisión de las medidas pero con una resolución diez veces mayor y con un coste económico y de tiempo muy reducido. Con esta mayor resolución es posible medir variaciones en la superficie del modelo debidas a imperfecciones constructivas o desgaste, que pueden llegar a formar canales preferenciales de flujo.

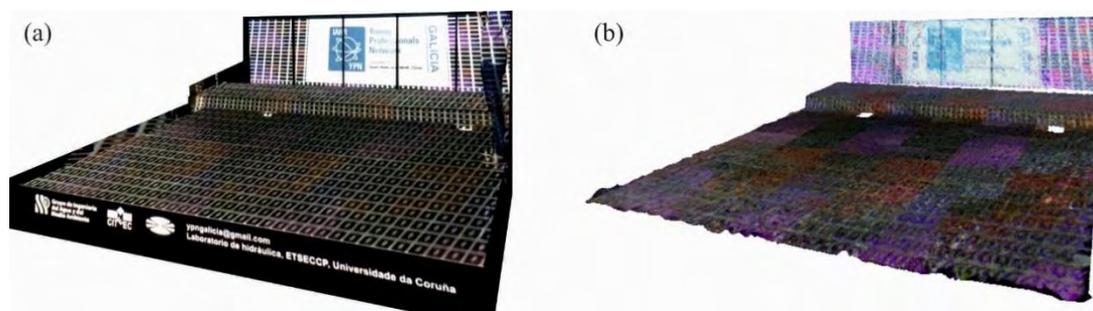


Figura 1. (a) Imagen proyectada sobre la superficie del modelo físico. (b) Reconstrucción 3D a partir de la nube de puntos obtenida mediante la técnica fotogramétrica SFM.

Ante los resultados obtenidos en este trabajo, la técnica fotogramétrica SFM se presenta como una herramienta de bajo coste muy adecuada para la obtención de la topografía base para modelos numéricos 2D de transformación lluvia-escorrentía, como por ejemplo Iber (Bladé et al., 2014). En estos modelos los bajos calados desarrollados hacen que la precisión al medir las elevaciones sea fundamental.

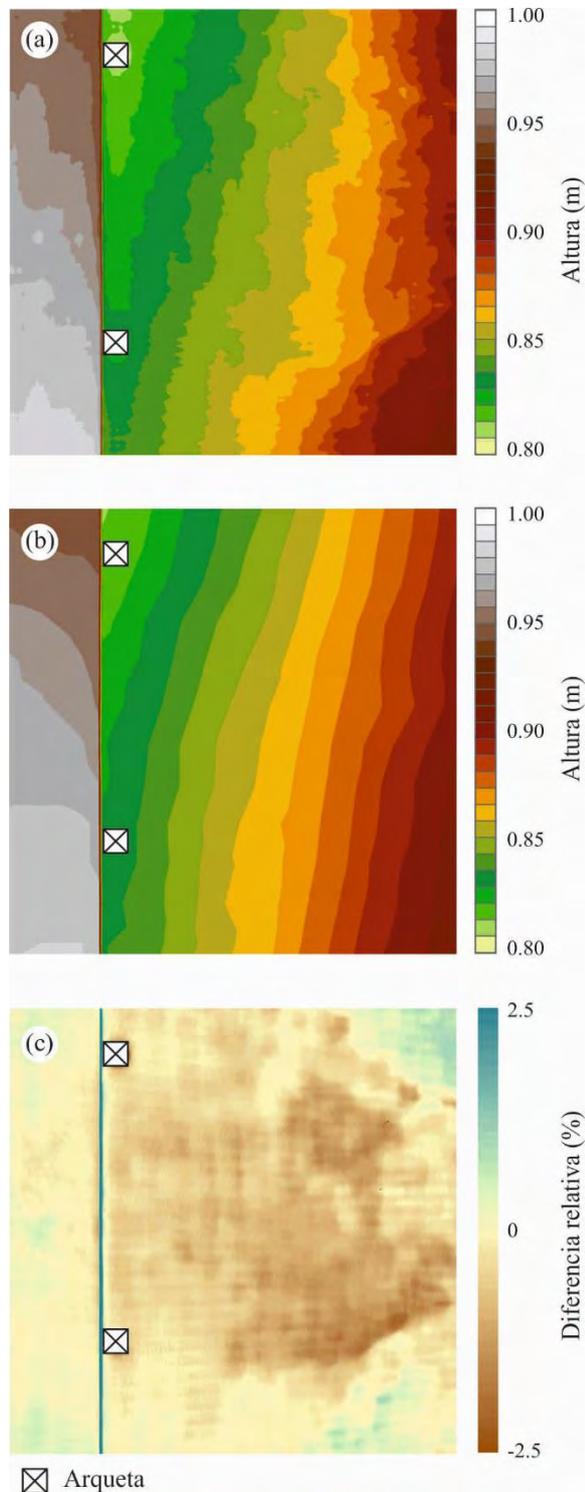


Figura 2. (a) Mapa de elevaciones obtenido a partir de la técnica fotogramétrica SFM; (b) mapa de elevaciones mediante medidas puntuales respecto a un plano láser; (c) diferencia relativa entre las anteriores topografías.

## Agradecimientos

El trabajo del autor Juan Naves ha sido financiado por la beca de doctorado FPU14/01778.

## Referencias

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, M. E., Dolz, J., Coll, A. (2014). "Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos". *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*; 30(1): 1-10.

Casas, A., Benito, G., Thorndycraft, V. R., Rico, M. (2006). "The topographic data source of digital terrain models as a key element in the accuracy of hydraulic flood modelling". *Earth Surface Processes and Landforms*; 31(4): 444-456.

Detert, M., Huber, F., Weitbrecht, V. (2016). "Unmanned aerial vehicle-based surface PIV experiments at Surb Creek". *Proceedings of the River Flow 2016*, Julio 12-15, St. Louis, MO, USA, pp. 563-568.

Naves, J., Jikia, Z., Anta, J., Puertas, J., Suárez, J., Regueiro-Picallo, M. (2017). "Experimental study of pollutant washoff on a full-scale street section physical model". *Water Science and Technology*; 76(10): 2821-2829.

Regueiro-Picallo, M., Naves, J., Anta, J., Suárez, J., Puertas, J., Jácome, J. (2017). "Aplicación de la técnica Structure From Motion (SfM) para la determinación de la acumulación de sedimentos en redes de saneamiento". *V Jornadas de Ingeniería del Agua*, Octubre 25-26, A Coruña, España, pp. 202-203.

Tomás, R., Miguel Cano, A. R., Abellán, A., Jordá, L. (2016). "Structure from Motion (SfM): una técnica fotogramétrica de bajo coste para la caracterización y monitoreo de macizos rocosos". *Simpósio sobre reconocimiento, tratamiento y mejora del terreno*, Octubre 19-21, A Coruña, España, pp. 209-215.

Wu, C., Agarwal, S., Curless, B., Seitz, S.M. (2011). "Multicore bundle adjustment". *Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Junio 20-25, Colorado Springs, CO, USA, pp. 3057-3064.

Wu, C. (2013). "Towards Linear-time Incremental Structure From Motion". *Proceedings of the 2013 International Conference on 3D Vision-3DV 2013*, Junio 29 - Julio 1, Seattle, WA, USA, pp. 127-134.