

# Aplicación de la técnica Structure From Motion (SFM) para la determinación de la acumulación de sedimentos en redes de saneamiento

Regueiro-Picallo, M.<sup>a1</sup>, Naves, J.<sup>a2</sup>, Anta, J.<sup>a3</sup>, Suárez, J.<sup>a4</sup>, Puertas, J.<sup>a5</sup> y Jácome, A.<sup>a6</sup>

<sup>a</sup>Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: <sup>a1</sup>[manuel.regueiro1@udc.es](mailto:manuel.regueiro1@udc.es), <sup>a2</sup>[juan.naves@udc.es](mailto:juan.naves@udc.es), <sup>a3</sup>[jose.anta@udc.es](mailto:jose.anta@udc.es), <sup>a4</sup>[jsuarez@udc.es](mailto:jsuarez@udc.es), <sup>a5</sup>[jeronimo.puertas@udc.es](mailto:jeronimo.puertas@udc.es), <sup>a6</sup>[ajacome@udc.es](mailto:ajacome@udc.es).

Línea temática C | Agua y ciudad

---

## RESUMEN

En el presente trabajo se ha estudiado la aplicación de la técnica fotogramétrica “Structure From Motion” (SFM) para obtener el volumen de sedimentos depositados en el lecho de tuberías de saneamiento. A partir de series de imágenes del contorno de las tuberías se consigue una reconstrucción tridimensional del fondo con sedimentos. Esta metodología permite obtener valores más precisos de acumulación de sólidos en tuberías y, además, estudiar la formación de dunas en función de las condiciones hidráulicas establecidas.

**Palabras clave** | acumulación de sedimentos; fotogrametría; sedimentos cohesivos; tuberías saneamiento.

---

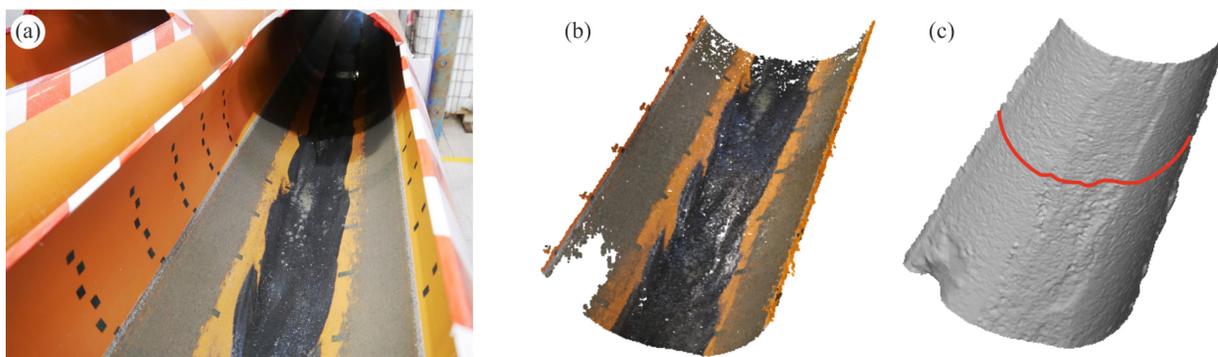
## INTRODUCCIÓN

Los sólidos acumulados en las redes de alcantarillado son una de las principales fuentes de contaminación en el saneamiento de las áreas urbanas. En este estudio se plantea una metodología basada en técnicas fotogramétricas para medir la acumulación de sedimentos. Para ello se ha utilizado una instalación diseñada para el ensayo de conducciones con agua residual urbana situada en la planta de pretratamiento de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Bens (A Coruña). La principal ventaja de esta instalación es la posibilidad de estudiar los procesos de transporte de sedimentos en conducciones de saneamiento comerciales con agua residual real y bajo condiciones controladas de laboratorio (Suárez et al., 2015). En este trabajo se han registrado los sólidos depositados en los ensayos de transporte de sedimentos sobre dos configuraciones de tuberías circulares de PVC de 7.5 m de longitud con diámetros exteriores de 315 y 400 mm, basados en la metodología planteada por Regueiro-Picallo et al. (2017).

---

## MATERIAL Y MÉTODOS

El volumen de sólidos acumulados en el fondo de las tuberías de 315 y 400 mm se ha obtenido a partir de la técnica fotogramétrica “Structure From Motion” (SFM). Para ello, se detuvo la aportación de agua residual hacia las tuberías de forma controlada evitando el lavado del lecho de sedimentos por lo que se puede considerar una técnica no intrusiva dentro de la clasificación realizada por Velasco et al. (2014). A continuación se registraron series de imágenes del interior de las tuberías (entre 30 y 40 capturas) a través de una apertura de 700 mm situada en la sección central de cada tubería. A partir de la superposición de las imágenes se obtiene la reconstrucción en 3D del contorno. Para la composición de las imágenes se ha utilizado el software VisualSFM desarrollado por Wu et al. (2011) y Wu (2013), mientras que con el software MeshLab se ha obtenido la malla para el cálculo del volumen de sedimento acumulado (Figura 1). Ambos programas no presentan licencia comercial (software libre), lo que resulta una de las principales ventajas de esta metodología.



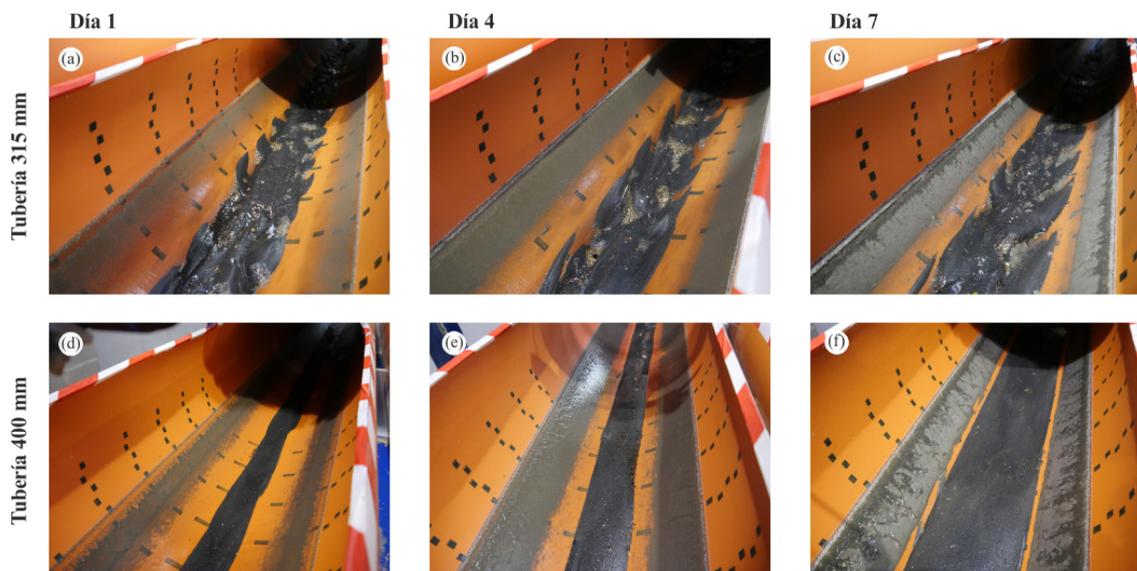
**Figura 1** | Ejemplo de una imagen del contorno de la tubería de 315 mm (a), vista de la reconstrucción del modelo 3d (b) y vista de un perfil transversal obtenido a partir de la malla.

Para que esta técnica funcione y obtener valores precisos es necesario realizar las fotografías de forma que siempre exista una cierta superposición con el resto para poder identificar los pares de puntos. Además es conveniente tener una iluminación homogénea del espacio fotografiado y que, a su vez, exista contraste en las imágenes ya que el software VisualSFM no reconoce puntos en superficies con colores uniformes. Por último, es imprescindible situar al menos cuatro puntos de coordenadas conocidas para transformar el modelo 3D a una escala y un sistema de coordenadas conocidos. Para obtener resultados más precisos se han utilizado entre 6 y 10 puntos de referencia, obteniendo errores medios cuadráticos (RMS) del modelo menores a 2.5 mm (0.4%).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

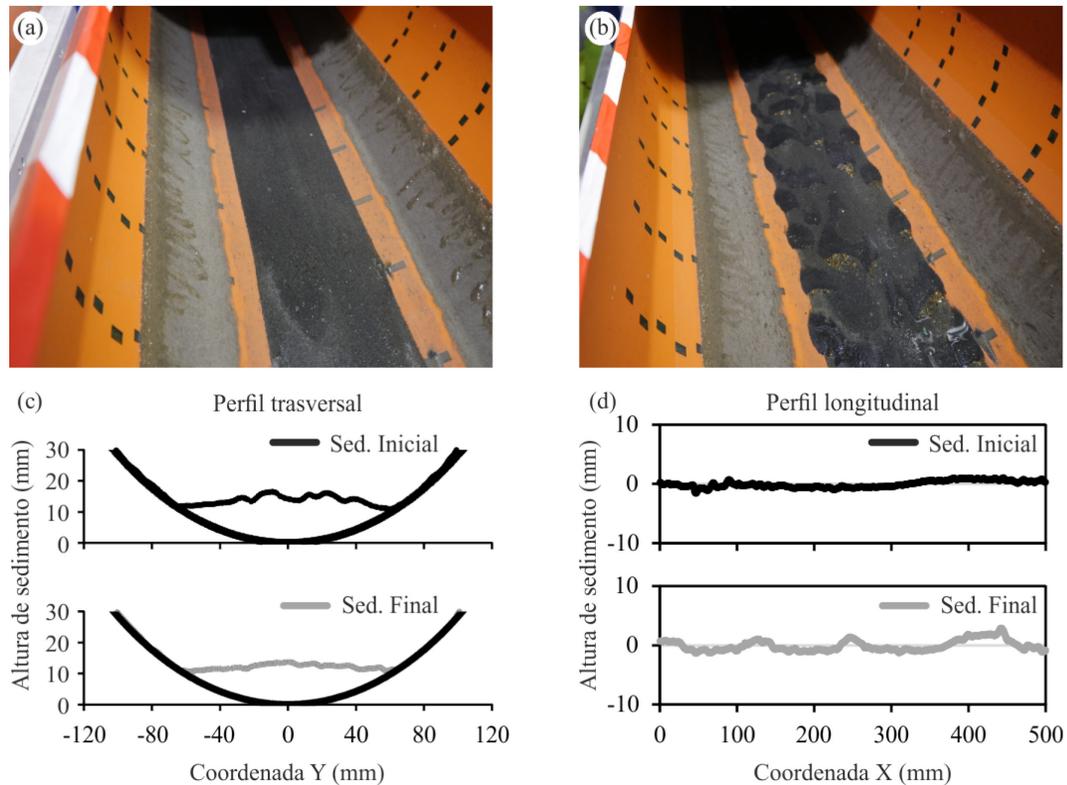
### Aplicación de la técnica SFM en el estudio del transporte de sedimentos

En este trabajo se ha aplicado la técnica fotogramétrica SFM al estudio del transporte de sedimentos, para el cual se cuenta con una serie de ensayos de acumulación y arrastre de sólidos en las dos tuberías situadas sobre el banco de ensayos. Para ello, se ha registrado el lecho de sedimentos de las tuberías en diferentes días (Figura 2). El volumen acumulado se ha obtenido a partir de la diferencia entre las alturas de la superficie del sedimento obtenida con la técnica SFM (reconstruida a través de la aproximación de Poisson) y la geometría teórica dada por el fabricante.



**Figura 2** | Imágenes durante distintos días de acumulación (1, 4 y 7 días) para las tuberías de 315 mm (a), (b), (c) y 400 mm (d), (e) y (f).

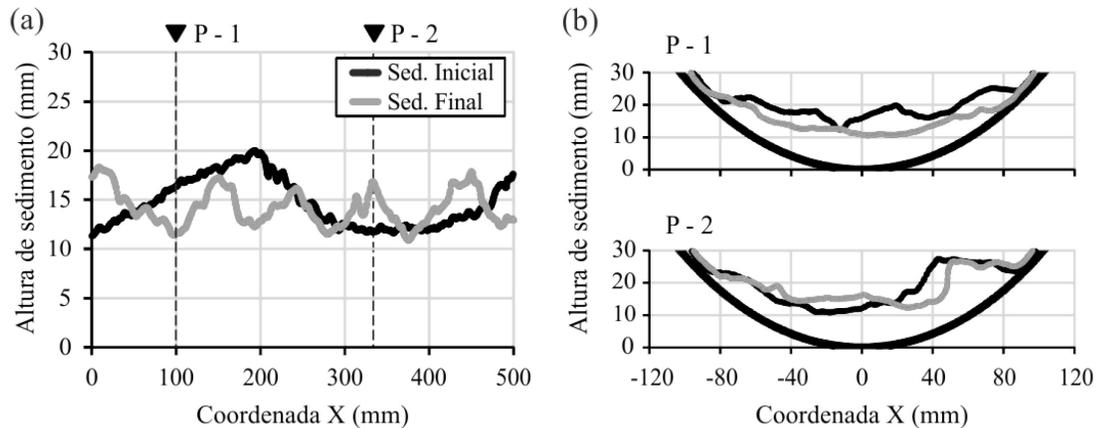
Otra de las aplicaciones de esta técnica es el cálculo de la masa erosionada después de aumentar el caudal sobre un lecho de sedimentos inicial. En este caso, la diferencia entre las mallas obtenidas antes y después del aumento del flujo en las tuberías tiene como resultado el volumen de sedimentos transportados. En la Figura 3 se muestra el resultado de un ensayo de lavado de 30 minutos de duración para el cual la altura inicial del sedimento fue de 14.4 mm y la altura final de 11.0 mm, resultando en una tasa de erosión de 0.38 g/m/s (densidad media de sedimentos de 1500 kg/m<sup>3</sup>). Además, observando las imágenes y analizando los perfiles longitudinales se aprecia la formación de pequeñas dunas o “ripples”. En el caso de la Figura 3d, se ha obtenido una altura de 3.0 mm y una longitud de 125.1 mm como características de las formas de fondo.



**Figura 3** | Imágenes de la distribución del lecho de sedimentos al inicio (a) y final (b) de un ensayo de erosión y ejemplos de perfiles transversales (c) y longitudinales (d) obtenidos a partir del modelo 3D reconstruido.

### Ventajas de la técnica SFM

Esta metodología permite reconstruir el fondo de sedimentos en la sección de control de cada tubería. De esta forma, es posible calcular el área de sedimentos acumulados a partir de las secciones transversales y las formas de fondo desarrolladas por el flujo sobre el lecho a partir de las secciones longitudinales con una resolución espacial de 0.1 mm. Esta técnica mejora a otros métodos no intrusivos como medidas puntuales o imágenes de perfiles transversales, como en Regueiro-Picallo et al. (2017) y Bertrand-Krajewski y Gibello (2008). Estas técnicas pueden llegar a subestimar o sobreestimar el valor de la masa erosionada en un ensayo de arrastre de sedimentos en función del punto de medida escogido (Figura 4), mientras que con la reconstrucción en 3D del lecho se pueden estudiar su compleja distribución.



**Figura 4** | Perfiles longitudinales (a) y trasversales (b) del lecho de sedimentos en la tubería de 400 mm al inicio y al final de un ensayo de erosión.

## CONCLUSIONES

Se ha registrado la acumulación de sedimentos en tuberías de saneamiento a través de la técnica SFM. Esta técnica se basa en la superposición de imágenes realizadas en el interior de las tuberías para reconstruir en 3D el lecho de sedimentos. La principal ventaja de esta metodología es que se puede estudiar la evolución temporal o la erosión de sedimentos en el fondo de las tuberías así como la aparición de formas de fondo en función de las condiciones hidráulicas establecidas con una gran resolución espacial. Esta técnica tiene una gran utilidad en otras aplicaciones hidráulicas como son el estudio de procesos de evolución o erosión de lechos en ríos o en canales. Por ejemplo, en el trabajo desarrollado por Detert et al. (2016) se ha utilizado la metodología SFM para la orto-rectificación de imágenes y representación de un cauce fluvial.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el MINECO y el programa FEDER a través de los proyectos “SEDUNIT” (Ref. CGL2015-69094-R) y “OVALPIPE II” (Ref. RTC-2016-4987-5). El trabajo de investigación de Juan Naves está financiado por la beca FPU14/01778. Los autores también quieren agradecer a las empresas EDAR Bens SA y ABN Pipe Systems SLU por su colaboración durante la campaña experimental.

## REFERENCIAS

- Bertrand-Krajewski, J.-L., Gibello, C. 2008. A new technique to measure cross-section and longitudinal sediment profiles in sewers. *In 11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgo, Escocia, UK.
- Crabtree, R.W. 1989. Sediments in sewers. *Water and Environment Journal* 3(6) 569-578.
- Detert, M., Huber, F., Weitbrecht, V. 2016. Unmanned aerial vehicle-based surface PIV experiments at Surb Creek. *In River Flow 2016*, Julio 12-15, St. Louis, MO, USA, 563-568.
- Regueiro-Picallo, M., Naves, J., Anta, J., Suárez, J., Puertas, J. 2017. Monitoring accumulation sediment characteristics in full scale sewer physical model with urban wastewater. *Water Science and Technology* 76(1), 115-123.
- Suárez, J., Anta, J., Puertas, J., Naves, J., Regueiro-Picallo, M. 2015. Plataforma de ensayos para conducciones con agua residual urbana en la EDAR de A Coruña. *IV Jornadas de Ingeniería del Agua*, Octubre 21-22, Córdoba, España, 851-858.

Velasco, M., Suñer, D., Bertrand-Krajewski, J.-L., Aldea, X., Pouget, L. 2014. *Development of technical guidelines for the monitoring and modelling of sediments*. Deliverable 3.2.4 of the FP7 European Project PREPARED, Abril 2014. Disponible en: <http://www.prepared-fp7.eu/prepared-publications> [Acceso 9 de Julio de 2015].

Wu, C., Agarwal, S., Curless, B., Seitz, S.M. 2011. Multicore bundle adjustment. *In Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 3057-3064.

Wu, C. 2013, Towards Linear-time Incremental Structure From Motion. *In 2013 International Conference on 3D Vision-3DV 2013*, 127-134.