

USO DE TÉCNICAS BASADAS EN IMÁGENES APLICADO A UN CASO DE INTERACCIÓN FLUIDO-ESTRUCTURA

Daniel Mella Vivanco¹ y Wernher Brevis²

¹ Departamento de Ingeniería Civil y Estructural. Universidad de Sheffield, S1 3JD Sheffield, Reino Unido.

² Departamento de Hidráulica e Ingeniería Ambiental y Departamento de Minería, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Código postal 7820436. Número de Contacto: (a) +44 (0) 114 22 25711, (b) +56 (2) 2 354 5895

E-mail: mvamellavivanco1@sheffield.ac.uk, wbrevis@ing.puc.cl

Introducción

Distintas estructuras marítimas como tuberías, parques eólicos y muelles están constantemente sometidas a complejas transferencias de momento provenientes del flujo. Estas estructuras pueden estar sujetas a importantes desplazamientos y, a largo plazo, sufrir de fatiga y falla estructural. Para este tipo de estructuras, es clave contar con mecanismos de medición que permitan obtener la dinámica de los desplazamientos y, posteriormente, controlar y monitorear su respuesta estructural. Instrumentos de medición tradicionales, como acelerómetros o extensómetros, han sido usados para la medición de respuesta estructural. Generalmente estos instrumentos requieren estar en contacto con la estructura, además solo ofrecen mediciones puntuales y unidimensionales. Lo anterior impone una restricción en su uso frente a estructuras de difícil acceso o cuya respuesta solo puede ser caracterizada por medio de mediciones en varios puntos espaciales. Desde hace ya cierto tiempo, el uso de técnicas basadas en imágenes ha resurgido debido al avance tecnológico de cámaras de video de bajo costo y alta resolución. La naturaleza no intrusiva de estas técnicas y su capacidad de medir simultáneamente múltiples objetivos (aplicado también a la medición de campo de velocidades en flujos) las hacen una herramienta atractiva frente a otros instrumentos de medición.

La precisión y capacidades de dos técnicas de seguimiento de patrones, una basada en la solución de las ecuaciones del flujo óptico y la otra en la correlación de imágenes digitales, son analizadas frente a cambios en la frecuencia de adquisición de cámara, resolución de imagen, y velocidad de un objetivo de movimiento unidimensional (máquina vibradora). Posterior a este análisis, los resultados son usados para determinar la respuesta estructural de un cilindro empotrado sometido a una serie de flujos a superficie libre turbulentos.

Montaje experimental

La máquina vibradora modelo APS 400 Electro-Seis se utilizó para producir un movimiento armónico a tres niveles de frecuencia: 1 Hz, 3 Hz y 4 Hz. Estos movimientos fueron registrados por una cámara PS3 Eye a 640x480 píxeles de resolución a 75 imágenes por segundo y por el sistema CODA modelo CX1, cuya frecuencia de muestreo es de 200 Hz a un nivel de precisión de aproximadamente 0.05 mm (ver Figura 1a).

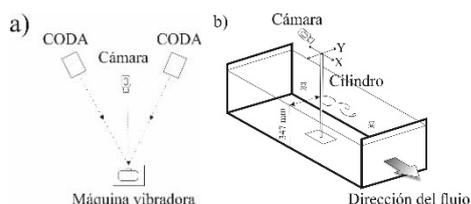


Figura 1.- Montaje. a) Máquina vibradora. b) Cilindro empotrado.

El caso experimental se compone de un canal abierto, una estructura cilíndrica de acrílico, y una cámara (Figura 1b). El cilindro posee un diámetro de 5 mm, una altura de 491 mm y una densidad de 1.19 g/cm^3 . Su configuración es empotrada al

fondo del canal de sección rectangular de 486 mm de ancho. Manteniendo la profundidad del agua constante a 347 mm, se probaron tres caudales: $Q_1=15.1 \text{ l/s}$, $Q_2=23.1 \text{ l/s}$, $Q_3=33.5 \text{ l/s}$. La respuesta estructural del extremo libre del cilindro fue grabada por dos minutos a 70 Hz con una cámara MX 4M de 2048x2048 píxeles de resolución. Las imágenes obtenidas por ambos experimentos fueron corregidas para establecer una relación no distorsionada entre píxeles y distancias reales. Se empleó un procedimiento de calibración similar al descrito en Brevis, (2011) para la visualización de flujos someros.

Técnicas de seguimiento

Las técnicas de seguimiento empleadas en esta investigación son dos, Lucas-Kanade (LK, Lucas and Kanade, 1981., Bouguet, 2001), y correlación digital de imágenes (DIC). DIC estima la posición de un objetivo a través de la búsqueda de la máxima correlación entre dos subsecciones de dos imágenes consecutivas. El tamaño de estas subsecciones, llamadas ventanas de interrogación, se escoge manualmente. LK minimiza localmente (dentro de una ventana de interrogación) los valores de intensidad entre dos imágenes sucesivas.

Test preliminar maquina vibradora

Se realizó un análisis de sensibilidad de ambas técnicas para maximizar sus capacidades en función de sus parámetros internos. Los resultados muestran que la técnica LK es altamente dependiente del pixel inicial escogido. Por otro lado, la técnica DIC presenta una dependencia entre la velocidad del objetivo y el mínimo tamaño de ventana de interrogación que produce los resultados más precisos. Estos resultados fueron implementados en el análisis de las secciones posteriores. A su vez, como una medida de precisión, se define la raíz de la media cuadrática normalizada (RMS_n) como la existente entre las señales obtenidas con las técnicas de seguimiento y el sistema CODA. Previo al cálculo de RMS_n , las señales son normalizadas en función de su frecuencia de muestreo, amplitud y posición media.

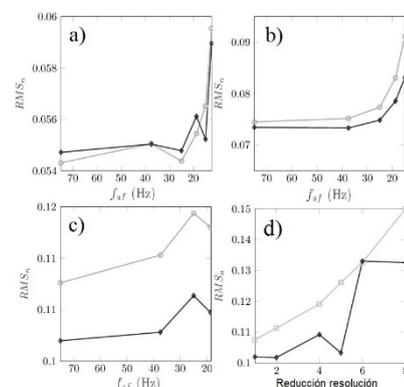


Figura 2.- Resultados máquina vibradora. RMS_n versus frecuencia de adquisición. Color negro: LK. Color gris: DIC a) 1 Hz. b) 3 Hz. c) 4 Hz. d) RMS_n versus número de reducciones en resolución.

La Figura 2 muestra distintos valores de RMS_n frente a cambios

en la frecuencia de la máquina vibradora, frecuencia de muestreo f_{sf} y resolución de imagen. f_{sf} fue reducida sistemáticamente seleccionando diferentes muestras de imágenes de la serie original. Después de una serie de pruebas sobre la frecuencia de Nyquist, se alcanzó un límite inferior de f_{sf} de 12.5 Hz, 15 Hz y 18.75 Hz para las frecuencias de vibración 1 Hz, 3 Hz, y 4 Hz respectivamente. Por otro lado, decrementos en la resolución de imagen fueron obtenidos reduciendo y, acto seguido, aumentando el tamaño de imagen usando una interpolación bilineal. Ambas técnicas fueron incapaces de seguir el objetivo a resoluciones más bajas que 10 veces la resolución de la imagen original.

La Figura 2a, 2b y 2c indican que ambas técnicas no sufren mayores fluctuaciones en todo el rango de f_{sf} , destacando la ligera superioridad de LK por sobre DIC a medida que aumenta la velocidad del objetivo. A su vez, observando los valores iniciales de RMS_n (f_{sf} igual a 75 Hz), se observa un incremento de error del 12% y 8% para la técnica DIC y LK respectivamente a medida que la frecuencia del objetivo aumenta. En la Figura 2d se observa una relación inversa entre resolución de imagen y la precisión de ambas técnicas. La técnica LK destaca por su mayor robustez en reducciones de hasta cinco veces la resolución de la imagen original.

Resultados: Interacción fluido-estructura

Este caso experimental se enmarca dentro de la temática de vibraciones inducidas por vórtices. Fluctuaciones de presión producidas por la continua generación de vórtices alrededor del cilindro pueden inducir importantes desplazamientos en la estructura, los cuales, a su vez, modifican la zona de generación de vórtices (Williamson and Govardhan, 2007). Respecto a la medición de la respuesta estructural, el máximo movimiento observado fue del orden de un diámetro en el eje Y con pequeños desplazamientos en X (ejes definidos en Figura 1b). Debido a las restricciones respecto al espacio disponible en el laboratorio para el montaje de la cámara, se utiliza una cámara de 2048x2048 píxeles de resolución. LK tiene una dependencia frente a la selección del pixel inicial a seguir. Esta limitación es abordada con la implementación de la técnica Forward-Backward, descrita en Kalal et al., (2010). Para la obtención de la respuesta estructural, se empleó una grilla de 121 puntos iniciales ubicados en el objetivo a seguir. Se seleccionan el 5% de menor error (definido en Kalal et al., 2010) de las señales resultantes. El cálculo de la mediana entre estas señales corresponde al desplazamiento final del objetivo. La Figura 4 muestra los espectros en el eje Y (Figura 4a) y desplazamientos (Figura 4b) para Q_1 , Q_2 y Q_3 . Estos valores fueron normalizados en función del diámetro del cilindro D y su frecuencia natural f_{nat} . La Figura 4a muestra un aumento en la frecuencia de oscilación predominante del cilindro en función del caudal de entrada. Se deduce que las propiedades dinámicas del cilindro cambian en función del flujo con el cual interactúa. A su vez, los desplazamientos máximos se alcanzan para el caudal medio Q_2 , indicando la existencia de un rango de caudales donde la respuesta estructural es importante. Dentro de este rango, existe una sincronización entre el movimiento del cilindro y la frecuencia de las estructuras vorticiales generadas alrededor éste (Williamson and Govardhan, 2007). Estas observaciones respecto al comportamiento del cilindro están asociadas con cambios en los modos de generación de vórtices. Preliminarmente mencionamos que, mediciones del flujo a 30 cm de la base del cilindro indican que el modo asociado al menor caudal Q_1 corresponde a la generación alternada de dos vórtices por oscilación. El modo predominante asociado con el caudal que genera los mayores desplazamientos Q_2 corresponde a dos pares de vórtices, uno de menor tamaño respecto al otro, por oscilación. Finalmente, el mayor caudal Q_3 , corresponde a

dos pares de vórtices de tamaño similar por oscilación. Es importante destacar que, debido a la condición de empotramiento, existe una variación en la magnitud de los desplazamientos a lo largo del cilindro. En consecuencia, para un determinado caudal, se esperan cambios en los modos vorticiales predominantes a lo largo de la estructura (Flemming and Williamson, 2005).

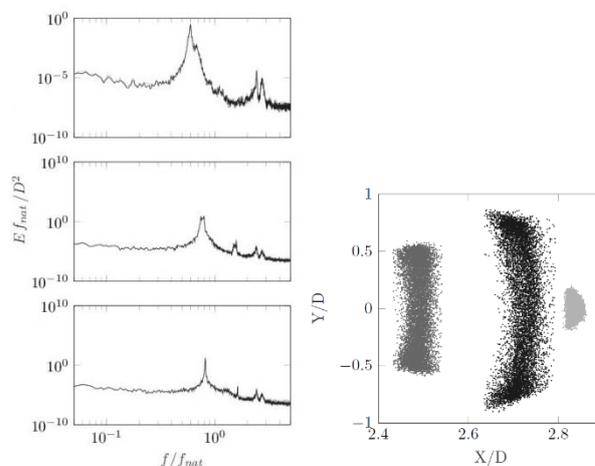


Figura 4.- a) Espectro en dirección Y. Superior: Q_1 , medio: Q_2 , inferior: Q_3 . b) Desplazamiento. De derecha a izquierda: Q_1 , Q_2 y Q_3 .

Conclusiones

En este trabajo se emplean técnicas de seguimiento basadas en imágenes para determinar la respuesta estructural de un cilindro empotrado sujeto a caudales turbulentos. Para esto, se seleccionan dos técnicas, Lucas-Kanade (LK) y correlación de imágenes digitales (DIC). Se observa que las ambas técnicas pueden seguir satisfactoriamente un objetivo bajo condiciones de baja resolución. Comparando ambas técnicas, LK es ligeramente superior en precisión y robustez, aunque posee una dependencia frente a la selección del pixel inicial a seguir. Esta limitación es abordada con la técnica Forward-Backward. Los resultados del caso experimental muestran como dentro de un determinado rango de caudales se produce la mayor respuesta estructural, la cual está asociada con los modos de generación de vórtices. Lo anterior muestra la importancia de considerar este caso como un problema acoplado y no como dos sistemas (fluido y estructura) independientes.

Referencias bibliográficas

- Lucas, B. and Kanade, T. (1981). "An iterative image registration technique with an application to stereo vision". *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Vol. 2, pp. 674-679.
- Bouquet, J. (2001). "Pyramidal implementation of the affine Lucas Kanade feature tracker description of the algorithm". *Intel Corporation*, Vol. 5, pp. 1-9.
- Brevis, W. and García-Villalba M. (2011). "Shallow-flow visualization analysis by proper orthogonal decomposition". *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 49, No. 5, pp. 586-594.
- Flemming, F. and Williamson C. H. K. (2005). "Vortex-induced vibrations of a pivoted cylinder". *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 522, pp. 215-252.
- Kalal, Z., Mikolajczyk, K. and Matas, J. (2010). "Forward-backward error: Automatic detection of tracking failures" *Proceedings – International Conference on Pattern Recognition, 20th international conference on IEEE*.
- Williamson, C.H.K and Govardhan, R. (2007). "A brief review of recent results in vortex-induced vibrations". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 96, pp. 713-735.