

Prueba de vibración ambiental del puente sobre río Chirripó, Ruta Nacional 32, Costa Rica

Ambient vibration test of the bridge over the Chirripó river, National Route 32, Costa Rica

Yi Cheng Liu Kuan

Profesor Adjunto, Escuela de Ingeniería Civil, UCR

e-mail: yi.liukuan@ucr.ac.cr

Hellen Garita Durán²

Investigadora, Unidad de Puentes, Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR

e-mail: hellen.garita@ucr.ac.cr

Sergio Lobo Aguilar

Docente e investigador, Escuela de Ingeniería Civil, UCR

e-mail: sergio.lobo@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Camión, confiabilidad, factor, LEF, pavimentos rígidos.

I. INTRODUCCIÓN

Los puentes son elementos claves dentro de la infraestructura vial y poseen el mayor costo por unidad de longitud en una carretera. Sin embargo, estos pueden sufrir deterioros con el uso y enfrentan múltiples amenazas naturales como son los sismos y diluvios, razón por la que el diagnóstico de su estado estructural es determinante para los usuarios así como en la toma de decisiones sobre su conservación y rehabilitación. Las pruebas de vibraciones ambientales y en conjunto con el método de identificación estocástico de subespacios basado en covarianzas (SSI-COV) han demostrado su capacidad para conducir el análisis modal operacional y detectar y localizar daños, los cuales servirían de insumos para un diagnóstico acertado del estado estructural en complemento con la inspección visual, además de permitir validar los supuestos de diseño y evaluar la eficacia de la rehabilitación [1]-[4].

La Ruta Nacional n.º 32 es de vital importancia para el país en todas las dimensiones y está actualmente en un proceso de ampliación que incluye la construcción de puentes nuevos paralelos a los existentes y el diseño de rehabilitaciones de estos últimos. Uno de los puentes que requiere de intervención es el puente sobre el Río Chirripó, el cual posee 1 superestructura continua de viga metálica de mayor longitud en Costa Rica con unos 400 m (Fig 1). Este puente recibió el

embate del sismo de Limón de 1991 y se presentaron desplazamientos y daños en diferentes apoyos. Por este motivo, se ejecutó la prueba de vibración ambiental y el análisis modal operacional en este puente, para ello, se registraron aceleraciones con un total de 5 configuraciones de instrumentación y 96 nodos de medición, cuyos resultados modales pudieron ser empatados de manera exitosa.



Fig. 1. Vista Lateral del puente sobre el río Chirripó.

II. ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS.

Se implementó la técnica SSI-COV de dos formas: análisis por bloques mediante diagramas de estabilización y análisis de tiempo-frecuencia por medio de una ventana deslizante, ambos con el espectro de método de descomposición en el dominio de frecuencias (FDD por sus siglas en inglés de “Frequency Domain Decomposition”) como auxiliar para una validación cruzada.

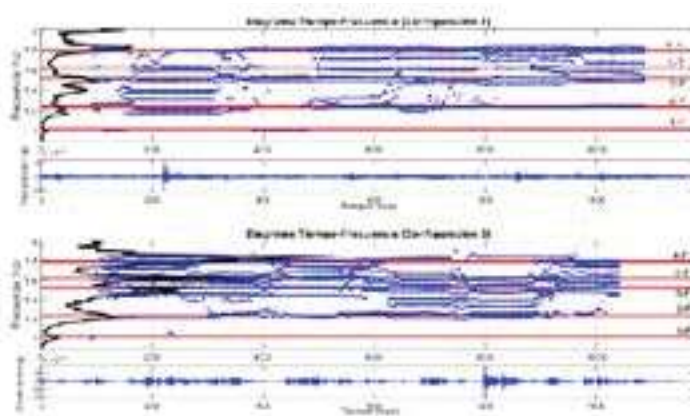


Fig. 2. Ejemplo de diagramas de tiempo-frecuencia para bloques de 20 minutos, con una tasa de muestreo reducida hasta 4 Hz, superpuestos con el espectro de descomposición en el dominio de frecuencias (FDD).

La primera forma extrae todos los modos identificables de un bloque completo de datos, pero en el caso de este puente resulta ser difícil de interpretar y empatar resultados modales de diferentes configuraciones, dado que solo en el rango de frecuencias de 1 Hz a 3,6 Hz se concentraron 11 modos de vibración, y se nota un importante acoplamiento entre los modos debido a la cercanía

de sus frecuencias naturales. Por esta razón, se recurrió al análisis de tiempo-frecuencia, para el cual, a manera de ejemplo se muestra en la Fig 2. En esta figura, que corresponde a los resultados de algunas configuraciones, donde se observa la presencia de gran cantidad de polos modales que aparentan poseer una frecuencia definida pero que corresponden a modos transitorios los cuales son el resultado de acoplamiento entre modos. Mediante un histograma de polos modales identificados como se muestra en la Fig 3, se pudo identificar las frecuencias dominantes de la estructura y empatar las correspondientes formas modales de diferentes configuraciones.

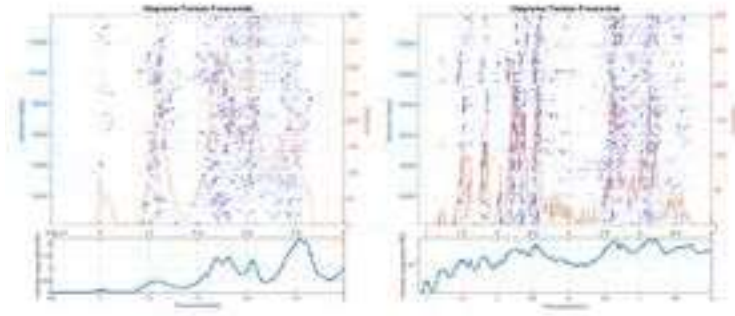


Fig. 3. Histograma resumen de los diagramas de tiempo-frecuencia de todas las configuraciones, con una tasa reducida a 4 Hz (izquierda) y 10 Hz (derecha), superpuestos con el promedio de los espectros de FDD.

En la Fig 4, se muestran solo las formas modales fundamentales, a manera de ejemplo, producto del empate de resultados de las 5 configuraciones, una vez confirmadas las frecuencias de los modos normales.

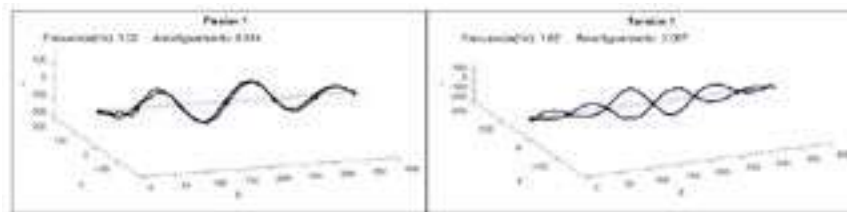


Fig. 4. Formas modales de flexión y torsión identificadas a partir del empate de 5 configuraciones de mediciones.

En principio, al tratarse de un puente con total simetría estructural respecto a su eje longitudinal, la forma modal entre ambos costados debería ser la misma, sin embargo, sí se nota una diferencia importante para los modos de flexión 4 a 7, especialmente en los tramos 1 y 2 (a mano izquierda) para los modos de flexión 4 y 6. Como fue señalado por Vargas-Alas et al. [5], existe una deformación lateral permanente de la superestructura justamente sobre la pila 3 (ubicada al final del segundo tramo), la cual podría ser la principal causante de este fenómeno identificado. Esto mismo se evidencia en los modos de torsión 2 y 3, dado que inmediatamente a la derecha de la pila 3 hay un cambio drástico e inesperado de curvatura de la forma modal en el costado aguas abajo.

CONCLUSIONES

Con base en la prueba de vibración ambiental y el análisis modal operacional realizado se concluye lo siguiente: a) el puente en estudio posee modos cercanamente espaciados entre uno y otro; se identificaron 11 modos entre 1,0 Hz y 3,6 Hz, donde hay 7 de flexión y 4 de torsión, además de presentar importante acoplamiento de modos. b) Un análisis de tiempo-frecuencia y un histograma de polos modales permite discernir con mayor facilidad las frecuencias de modos normales de modos transcientes o acoplados. c) Se detecta una importante anomalía en la forma modal en los tramos 1 y 2 (a mano izquierda). Existe alta probabilidad de que esta anomalía se debe a la deformación lateral permanente de la superestructura respecto al apoyo sobre la pila 3.

REFERENCIAS

- [1] P. Bart, “System Identification and Damage Detection in Civil Engineering”, Tesis de Doctorado, Katholieke Universiteit, Leuven, Bélgica, Dic. 2000.
- [2] Y.C. Liu, C.H. Loh y Y.Q. Ni, “Stochastic subspace identification for output-only modal analysis: application to super high-rise tower under abnormal loading condition”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 42, no. 4, pp. 477–498, 2013.
- [3] Y.C. Liu-Kuan et al., Monitoreo estructural de la superestructura No.2 del puente sobre el río Virilla Ruta Nacional No. 32, PITRA-LanammeUCR, San José, Costa Rica, LM-PI-UP-PN12-2015, Abril 2015.
- [4] C.R. Farrar y D.A. Jauregui, “Comparative study of damage identification algorithms applied to a bridge: I. Experiment”, *Smart Mater. Struct.*, vol. 7, pp. 704–719, 1998.
- [5] L.G. Vargas-Alas et al., “Fiscalización del puente sobre río Chirripó, ruta nacional No. 32”, PITRA-LanammeUCR, San José, Costa Rica, LM-PI-UP-PN21-2014, Dic. 2014.