

IDENTIFICACIÓN DE FRECUENCIAS DE VIBRAR EN PUENTES VEHICULARES DE CIUDAD UNIVERSITARIA

ADRIÁN POZOS ESTRADA, RIGOBERTO NAVA GONZÁLEZ, MIGUEL A. HERNÁNDEZ MARTÍNEZ, DANIEL CORTÉS PORTILLO Y CARLOS D. GARCÍA RODRÍGUEZ

El monitoreo de estructuras, así como las pruebas de vibración ambiental (PVA) han sido tareas en que el Instituto de Ingeniería, y de manera particular la Coordinación de Ingeniería Estructural, han contribuido para tener mejor entendimiento del comportamiento de la infraestructura nacional a lo largo de su vida útil, con la finalidad de evaluar la seguridad de éstas o de sus componentes.

Las PVA consisten en probar la estructura durante su etapa de servicio bajo condiciones de carga ambiental aleatoria y de banda ancha. Los resultados que se obtienen de las PVA son

frecuentemente empleados para conocer el comportamiento modal de la estructura, así como para validar modelos matemáticos. Un ejemplo típico del empleo de este tipo de pruebas es la de los puentes vehiculares ubicados en Ciudad Universitaria (CU), con la finalidad de identificar sus frecuencias de vibrar.

Ubicación y descripción general de los puentes

Dentro del campus de CU se pueden identificar 22 puentes vehiculares, de los cuales, seis se ubican dentro del circuito escolar y 16 sobre la avenida de los Insurgentes. La Figura 1 muestra un mapa con la localización de los puentes en estudio.

Los puentes se conforman de una losa de concreto reforzado y se soportan sobre columnas de sección transversal con geometría elipsoidal prismática y variable en algunos casos. Se emplean estribos de concreto reforzado y de mampostería. El único puente que cuenta con una superestructura a base de trabes de concreto presforzadas es el que se ubica en la zona cultural. La cantidad de carriles por puente es variable, identificándose puentes con un mínimo de tres y un máximo de cinco carriles. La longitud total de los puentes varía de 15 y 32 m.



Figura 1. Localización de los puentes vehiculares en CU. El número en la esquina superior derecha del icono indica el número de puentes en la ubicación mostrada.

Pruebas de vibración ambiental

El objetivo principal de las PVA fue identificar las frecuencias fundamentales en dirección vertical de los puentes, para posteriormente emplearlas para calibrar modelos matemáticos de éstos.

Para realizar las PVA, se organizó una brigada de cinco personas, de las cuales, dos se ocuparon de la instalación de los sensores de aceleración y del registro de los datos; mientras que el resto de los integrantes de la brigada auxiliaron con la logística y medidas de seguridad durante las pruebas. Las pruebas iniciaron con los puentes ubicados dentro del circuito escolar (i. e., puentes de Química, Ingeniería y Arquitectura) y terminaron con los puentes ubicados sobre la avenida de los Insurgentes. La Figura 2 ilustra las actividades realizadas durante una PVA de uno de los puentes.

Se empleó un sistema de registro que incluyó dos acelerómetros inalámbricos, una base de registro y una antena. La aceleración en tres direcciones fue registrada y visualizada en tiempo real a través de la aplicación Sensor Connect, proporcionada por el fabricante de los sensores. Durante las PVA, los acelerómetros se colocaron al centro de los claros, sobre los acotamientos o banquetetas. Se procuró realizar las pruebas cuando se presentaba el tránsito de carga viva (i. e., Pumabús para los puentes dentro del circuito de CU y Metrobús para los puentes sobre la avenida de los Insurgentes). Se realizaron cinco repeticiones de cada PVA, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos por prueba. La frecuencia de muestreo empleada fue de 256 Hz.

Procesamiento de los registros de aceleración

Los registros de aceleración obtenidos de las PVA fueron procesados y analizados. La Figura 3 muestra un ejemplo de aceleraciones registradas durante una PVA en uno de los puentes y su función de densidad de potencia espectral. Las historias en el tiempo de aceleraciones muestran incrementos súbitos de las amplitudes, los cuales, se deben al paso de vehículos pesados sobre el puente. Los picos que se observan en las funciones de densidad de potencia espectral se asocian con las frecuencias de vibrar del puente.

Análisis de resultados

En todas las PVA fue posible identificar frecuencias en dirección vertical; sin embargo, sólo en algunas se logró identificar frecuencias asociadas con modos de vibrar en las direcciones longitudinal y transversal. La Figura 4 muestra una gráfica de cajas con la variación de las primeras cuatro frecuencias identificadas para los puentes vehiculares estudiados. Se observa en la Figura 4 que la primera frecuencia de vibrar oscila entre 2.4 y 13.8 Hz, y que la mediana (i. e., línea roja horizontal dentro de la caja) para la primera frecuencia identificada es alrededor de 8.5 Hz. También se observa que el valor de la mediana va en aumento para el resto de las frecuencias identificadas, como se esperaba. La Figura 4 también indica que la dispersión en los valores identificados de frecuencia es similar para las primeras tres, y que ésta aumenta significativamente para la cuarta.



Figura 2. PVA en uno de los puentes vehiculares de CU

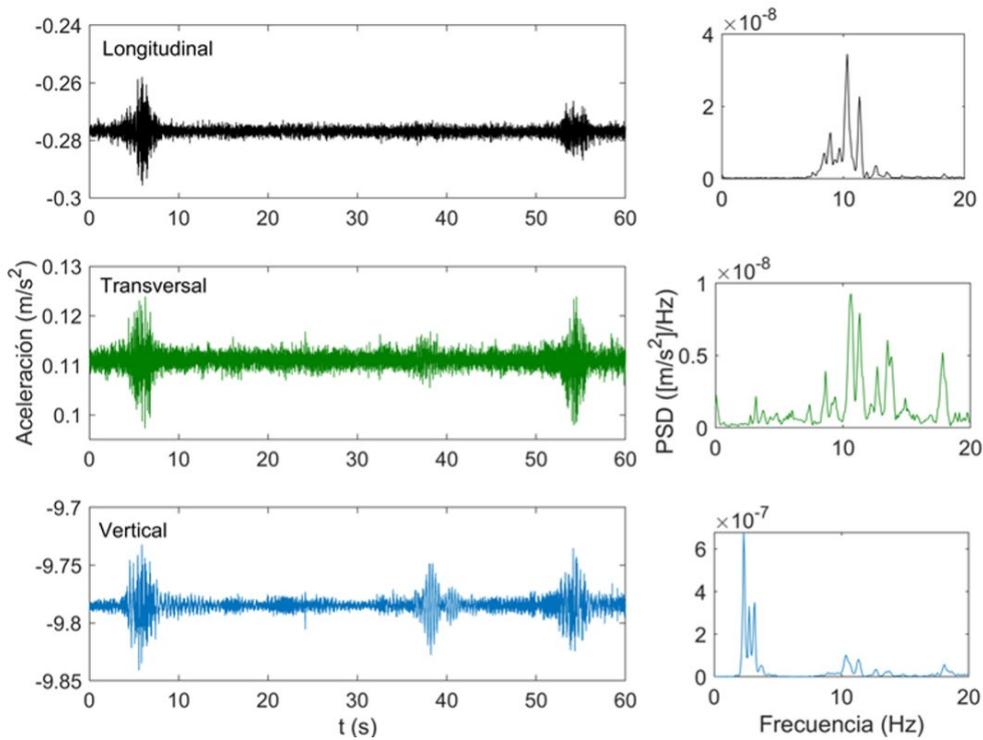


Figura 3. Ejemplo de aceleraciones registradas durante una PVA en uno de los puentes y su función de densidad de potencia espectral (PSD por sus siglas en inglés)

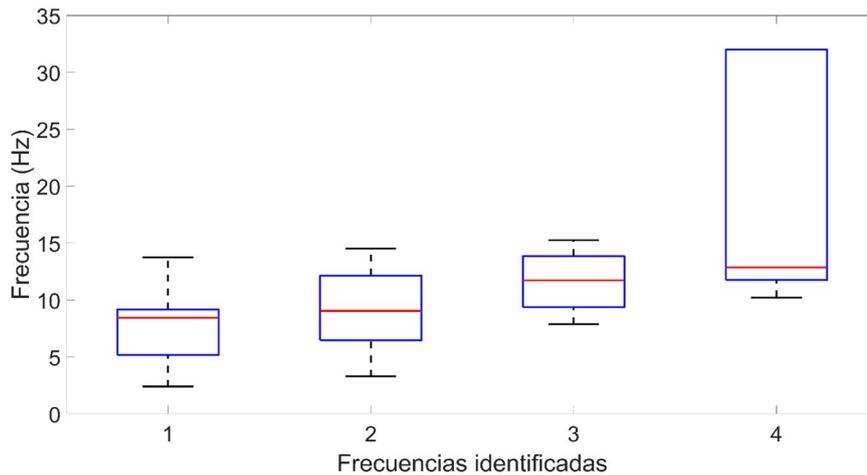


Figura 4. Gráfica de cajas con la variación de las primeras frecuencias identificadas de los puentes vehiculares estudiados

Comentarios finales

Se presentó una descripción general de las PVA realizadas en los puentes vehiculares ubicados en CU y se mostraron algunos resultados de los análisis para identificar las frecuencias de vibrar de los puentes. Los resultados de los análisis de las PVA son útiles para la calibración de modelos matemáticos y la evaluación del comportamiento estructural de los puentes.

Agradecimientos

Agradecemos al M. I. Abraham Roberto Sánchez Ramírez por su apoyo para la realización de las PVA. También agradecemos a la Dirección General del Patrimonio Universitario por el permiso otorgado para realizar las pruebas.