

Monitoreo y evaluación de los efectos de la interacción vehículo - puente con inteligencia artificial

Diana Millán Yusti, Mauricio Marín, Johannio Mauranda, Peter Thomson

**Universidad del Valle
Cali, Colombia**

Resumen

Los puentes son uno de los elementos de infraestructura más importantes para el desarrollo socioeconómico y productivo de una región. Durante su vida útil, estas estructuras están expuestas a cargas dinámicas vehiculares de gran magnitud, además de la acción de agentes químicos, eventos naturales (como crecientes, sismos y cargas eólicas), procesos de deterioro, falta de mantenimiento y restricciones presupuestarias. Debido a lo anterior, el análisis de los efectos de la Interacción Vehículo-Puente (VBI por sus siglas en inglés) es crucial para evaluar la seguridad y durabilidad de estos elementos en la infraestructura vial. La complejidad de esta interacción radica en la variabilidad de las condiciones operativas del puente, tales como la velocidad del vehículo, el tipo y la magnitud de la carga, las condiciones ambientales y la geometría del puente.

En este artículo se presentan algunos de los resultados obtenidos en el marco del proyecto denominado "Monitoreo y evaluación en tiempo real con Inteligencia Artificial de la integridad estructural de puentes de la Región Pacífico sometidos a vehículos extrapesados", financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología dentro de la convocatoria 948-2024 del programa Orquídeas: Mujeres en la Ciencia. En dicho proyecto, se propone una alternativa para el análisis de la integridad estructural de los puentes, considerando los efectos de la Interacción Vehículo-Puente mediante la evaluación de indicadores de rendimiento, tales como el factor de impacto, variaciones en las propiedades dinámicas de la estructura y del sistema Vehículo-Puente, integrando técnicas de Inteligencia Artificial para el análisis de los datos experimentales obtenidos mediante un sistema de monitoreo.

Palabras clave: puentes vehiculares; interacción vehículo-puente; factor de impacto

Abstract

Bridges are among the most important infrastructure elements for the socioeconomic and productive development of a region. During their useful life, these structures are exposed to dynamic vehicular loads of great magnitude in addition to the action of chemical agents, natural events (such as floods, earthquakes, and wind loads), deterioration processes, lack of maintenance, and budgetary restrictions. Therefore, the analysis of the effects of Vehicle Bridge Interaction (VBI) is crucial for evaluating the safety and durability of these elements in road infrastructure. The complexity of this interaction lies in the variability of the bridge operating conditions, such as vehicle speed, type and magnitude of load, environmental conditions, and bridge geometry.

This article presents some of the results obtained in the framework of the project "Monitoring and evaluation in real time with Artificial Intelligence of the structural integrity of bridges in the Pacific Region subjected to extra-heavy vehicles", financed by the Ministry of Science and Technology within the call 948-2024 of the Orchids: Women in Science program. In this project, an alternative for the analysis of the structural integrity of bridges is proposed, considering the effects of the Vehicle-Bridge Interaction through the evaluation of performance indicators, such as the impact factor, variations in the dynamic properties of the structure, and the Vehicle-Bridge system, integrating Artificial Intelligence techniques for the analysis of the experimental data obtained by means of a structural monitoring system.

Keywords: vehicular bridges; bridge-vehicle interaction; impact factor

1. Introducción

Los puentes son uno de los elementos estructurales más vulnerables y costosos. Estos permiten la interconexión de regiones y su desarrollo socioeconómico (Frangopol & Soliman, 2016). A lo largo de su vida útil los puentes se ven sometidos a diferentes cargas que aumentan en el tiempo. Dada su importancia, analizar los posibles casos de sobrecarga es menester dentro del área de la ingeniería. En los últimos años ha ido en aumento el número de casos de daño en puentes en países en vía de desarrollo, causado por vehículos con sobrecarga (Nugraha et al., 2024).

El factor de impacto dinámico (IM) en un puente depende de varios factores tales como la Interacción Vehículo-Puente (VBI), la velocidad del vehículo y la rugosidad de la capa de rodadura. El efecto dinámico producido por el paso de vehículos incrementa las fuerzas dinámicas y los desplazamientos con respecto a las respuestas estáticas, requiriendo la investigación de la respuesta en vibración generada entre el puente y los vehículos (Adhikary et al., 2021).

Actualmente existe una discusión acerca de los factores usados en los códigos de diseño, debido a la complejidad real de la Interacción dinámica entre los vehículos pesados y los puentes, lo que ha llevado a simplificaciones en la determinación de las cargas de tráfico durante el diseño (Paeglite & Paeglitis, 2014).

Autores como Zhang Chao et. al. han encontrado que para un sistema de un solo grado de libertad (SDOF) sometido a una carga dinámica repentina, el valor máximo del DAF es 2. En contraste, teniendo en cuenta que muchas estructuras de ingeniería civil deben ser consideradas como sistemas de múltiples grados de libertad (MDOF) se ha determinado que en dichos casos el DAF puede exceder este valor (Chao et al., 2020). El uso de un valor de 2 para el DAF como límite superior, tal como sugieren las normas de diseño (AASHTO, 2018) podría conducir a un diseño estructural inseguro.

Por lo anterior, es necesario la ejecución de pruebas que permitan obtener los datos reales de la respuesta tanto estática como dinámica de carga, en especial cuando se tiene el tráfico de vehículos pesados (Kalin et al., 2022).

Las áreas urbanas cuentan con numerosos puentes sometidos al tráfico diario y a cargas de vehículos pesados. El incremento del número de vehículos, de la capacidad de carga del parque automotor, sumado a la falta de mantenimiento y/o reforzamiento para la actualización de la infraestructura, resalta la importancia de comprender el comportamiento estructural de los puentes y los posibles efectos de los vehículos en movimiento (Paeglite & Paeglitis, 2014).

Los deterioros presentes en elementos como las juntas y la capa de rodadura, trae como consecuencia que los vehículos pesados al circular sobre sus superficies generen cargas dinámicas adicionales que aumentan la carga total sobre el puente. Existe una carencia de información sobre los efectos dinámicos causados por vehículos con sobrepeso que requieren permisos especiales para cruzar los puentes existentes. Es fundamental determinar si el paso de estos vehículos puede excitar excesivamente el puente y provocar daños estructurales de gravedad.

Los sistemas de monitoreo como alternativa para el pesaje de vehículos en movimiento B-WIM (Bridge Weigh-In-Motion) pueden proporcionar una solución eficiente para el pesaje de vehículos en movimiento, contribuyendo al control de la sobrecarga y la preservación de la infraestructura. Por lo anterior, se propone la instrumentación de un puente de forma permanente donde la disposición de los sensores permita incorporar el B-WIM, apoyado con un sistema de monitoreo por vídeo para determinar los factores de impacto, las propiedades dinámicas de la estructura y los casos de sobrecarga.

2. Monitoreo permanente y caracterización de los efectos de Interacción Vehículo-Puente

La componente dinámica de la respuesta de la estructura generada por la carga de tráfico en puentes es considerada mediante el Factor de Amplificación Dinámica, se define como la razón entre los efectos de carga dinámicos y estáticos (Kalin et al., 2022). La carga vehicular es uno de los parámetros más importantes para la evaluación de puentes. Con el fin de identificar parámetros importantes de los vehículos como son la velocidad, distancia entre ejes y el número de ejes, se empleó una técnica utilizada en visión por ordenador que permite la identificación y localización de objetos a partir de imágenes como las obtenidas mediante la cámara de vídeo del sistema de monitoreo.

2.1. Descripción de la estructura

El puente objeto de esta investigación es de concreto preesforzado. La estructura tiene una longitud de 19 metros y un ancho de 12.2 metros. Cuenta con dos carriles vehiculares, un bicarril, un andén y un bordillo. La aproximación al puente tiene una inclinación del 15%.

La superestructura está compuesta por un sistema viga-losa, rigidizado con dos riostras intermedias, separadas equidistantemente, y dos riostras ubicadas en cada apoyo, con una luz de 18 metros (Castellanos-Toro et al., 2022). La losa es prefabricada, constituida por placas de concreto unidas en su parte superior por la capa de rodadura, la cual está soportada por un sistema de siete vigas. Estos elementos descansan directamente sobre apoyos de neopreno de 5 cm de espesor y 50 cm de lado.



Figura 1. Puente en concreto preesforzado ubicado en la calle 16, Cali.

2.2. Caracterización de las propiedades dinámicas de la estructura

Para la caracterización dinámica de la estructura, se registraron vibraciones ambientales, generadas por el tránsito de vehículos y peatones, el flujo de viento y los microsismos presentes en la zona. Los registros de aceleración se obtuvieron durante la operación normal del puente, sin interrumpir el tráfico. Para la identificación de las formas modales del puente, se colocaron sensores en los extremos y en el punto medio de la estructura.

En total, se registraron aceleraciones en dieciocho puntos de la estructura: seis en el andén, seis en la calzada (cerca de la viga 3) y seis en el bordillo, cada uno espaciado a 2,7 metros. Los seis acelerómetros se posicionaron en diez configuraciones diferentes, en dos direcciones ortogonales. Los registros se realizaron a una tasa de muestreo de cien datos por segundo durante un período de cinco minutos. El sensor triaxial se mantuvo fijo para todos los registros, mientras que los tres sensores uniaxiales se instalaron en diferentes puntos y orientaciones. En total, se adquirieron diez registros, uno para cada configuración utilizada, como se muestra en la Figura 2.

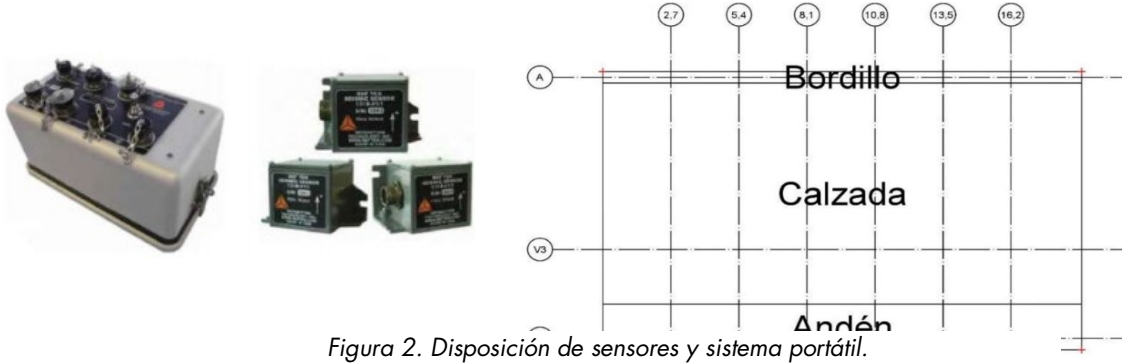


Figura 2. Disposición de sensores y sistema portátil.

Toda la información obtenida sirvió como base inicial para la localización de los sensores del sistema de monitoreo y el posterior ajuste del modelo del puente mediante elementos finitos.

Tabla 1. Propiedades dinámicas del puente.

Modo	PP		NExT-ERA				SSI			
	f (Hz)	f _{de} (Hz)	f (Hz)	f _{de} (Hz)	ξ (%)	ξ _{de} (%)	f (Hz)	f _{de} (Hz)	ξ (%)	ξ _{de} (%)
1	5.88	0.09	6.05	0.04	2.90	0.87	5.90	0.21	1.93	0.87
2	6.17	0.06	6.36	0.26	3.05	1.59	6.21	0.09	2.98	1.54
3	7.68	0.16	7.78	0.15	3.45	0.99	7.80	0.14	3.15	1.79
4	11.26	0.08	11.51	0.15	3.73	0.53	11.55	0.11	3.19	0.88
5	14.80	0.11	14.85	0.06	2.48	0.48	14.83	0.11	0.86	0.23
6	16.61	0.20	16.70	0.23	3.73	1.95	16.44	0.21	1.42	0.43
7	21.89	0.02	22.1	0.20	2.68	0.45	21.90	0.13	2.34	0.73

2.3. Sistema de monitoreo permanente

Se dispuso de un sistema de instrumentación permanente en el puente para garantizar el registro de su respuesta, tanto durante las pruebas de carga y en servicio. Para caracterizar la respuesta dinámica y estructural del puente, se instalaron acelerómetros triaxiales de alta sensibilidad y un conjunto de 24 galgas extensiométricas estratégicamente distribuidas.

Los acelerómetros triaxiales usados son modelo Wáleker SMA-551. Estos fueron instalados en cinco puntos de la superestructura, para la caracterización y el seguimiento de los modos de vibración, así como la detección de eventos dinámicos asociados tanto al tráfico vehicular como a excitaciones ambientales. Los sensores triaxiales cuentan con un sistema de adquisición interno y fue instalado con una batería de respaldo con dos horas de autonomía (Marín et al, 2021).

El sistema de 24 galgas extensiométricas se instaló sobre el centro de la luz de las vigas principales y diafragmas del tablero, con el propósito de registrar deformaciones longitudinales inducidas por cargas en servicio. Las galgas extensiométricas empleadas son las PL-90-1 1-2LJQTA, las cuales son propicias para mediciones en concreto, con un límite de deformación unitaria de 2% (20000×10^{-6} def) y su conexión a alimentación/datos es mediante dos hilos. Estas permiten determinar esfuerzos y evaluar la distribución de cargas a través de los elementos estructurales. Las galgas fueron calibradas y conectadas a un Gateway LORD modelo WSDA-2000 para la adquisición y

sincronización de datos, proporcionadas por los nodos LORD V-Link-200 (Figura 3) usados para el monitoreo.

La integración de ambas tecnologías dentro de un mismo sistema de instrumentación proporciona una visión complementaria y robusta del comportamiento estructural del puente. Los datos registrados se emplean en análisis de identificación modal operativa, detección de cambios en las propiedades dinámicas y estimación de los factores de impacto, información importante para determinar el estado de salud estructural.

El sistema cuenta con una cámara que permite realizar un seguimiento visual de los vehículos que transitan por la zona. Adicionalmente, las imágenes son usadas para determinar parámetros de carga como la velocidad del vehículo, distancia entre ejes, entre otros.



Figura 3. Sistema de adquisición de datos y galgas para concreto usadas.

2.4. Pruebas de carga diagnósticas

La estructura fue sometida a una carga viva compuesta por una volqueta con un peso total de 17,3 toneladas, distribuida en dos ejes, con un ancho de 1,7 metros y una distancia entre ejes de 4 metros. Para la aplicación de la carga pseudoestática, el vehículo fue introducido sobre el puente a una velocidad inferior a 10 km/h, con el fin de minimizar los efectos dinámicos. Se detuvo con su eje delantero posicionado a 11,5 metros del extremo de ingreso al tablero. Una vez estabilizada la respuesta estructural, el vehículo fue retirado a la misma velocidad. Este procedimiento se repitió en tres configuraciones: la primera, con el vehículo alineado hacia el borde derecho del carril 1; la segunda, orientada hacia el borde izquierdo del carril 2, sin; y la tercera, centrada entre ambos carriles.

Además, se llevó a cabo una prueba de carga dinámica, en la cual la volqueta cruzó el puente a una velocidad constante de 2,09 m/s (equivalente a 7,5 km/h). Esta prueba también se realizó en tres pasadas, siguiendo trayectorias similares a las empleadas en la prueba pseudoestática: borde derecho del carril 1, entre carril 1 y 2, y borde izquierdo del carril 2, asegurando que no se invadiera el bicarril por razones de seguridad.

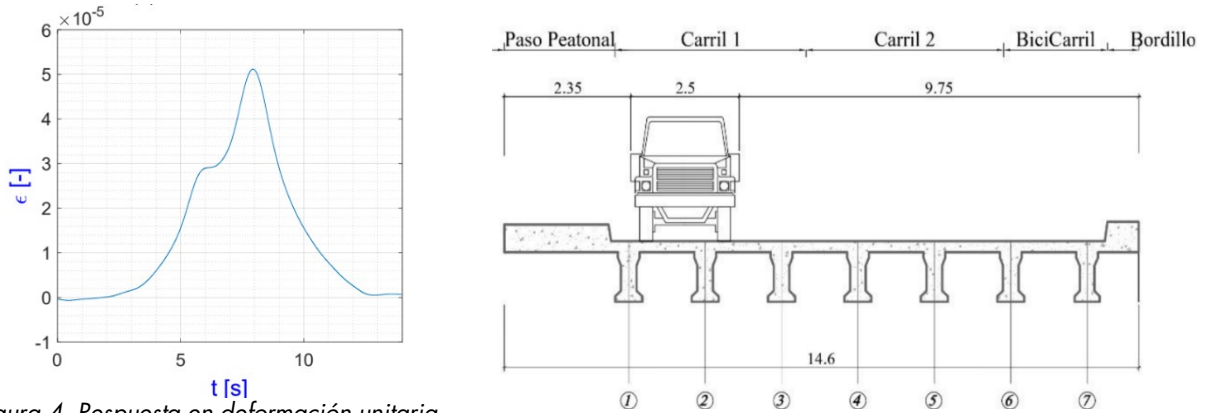


Figura 4. Respuesta en deformación unitaria medida en 'gIII' (viga 1) y paso del vehículo -distancia en metros-

Durante ambas pruebas, se registraron deformaciones unitarias y aceleraciones en cada una de las configuraciones descritas. Las señales fueron adquiridas a tasas de muestreo de 32 Hz para las deformaciones y 250 Hz para las aceleraciones. En la Figura 4 se presentan los registros correspondientes al canal **gIII**. Estos datos, que representan la deformación unitaria en la viga 1, dado que este elemento presentó la mayor deformación durante el paso del vehículo por el borde derecho del carril 1, y entre carriles, escenario 1 y escenario 3, respectivamente.

3. Resultados: Identificación de carga en servicio

Se implementó una técnica de Deep Learning para la identificación de velocidad y ejes con el fin de realizar una identificación automatizada confiable. Para este propósito se seleccionó la red de detección YOLO v8 (Li et al., 2024).

En este caso se entrenó una red neuronal para la identificación de parámetros específicos como son la velocidad, el # de ejes y el espaciamiento entre ejes. Para el entrenamiento y la evaluación de la red se usó un conjunto de datos de referencia que incluye camiones presentes en el tráfico local. El conjunto de datos cuenta con 658 imágenes de entrenamiento, 146 imágenes de validación y 150 imágenes de prueba. El objeto demarcado en las imágenes fueron las ruedas de los camiones, ya que la identificación debe realizarse únicamente para vehículos pesados que cruzan el puente.

Se presenta el siguiente esquema: (1) identificación de ruedas, (2) transformación de coordenadas para la ubicación de las ruedas, y (3) cálculo del espaciamiento entre ejes y la velocidad a partir de las ruedas identificadas y su respectiva ubicación.

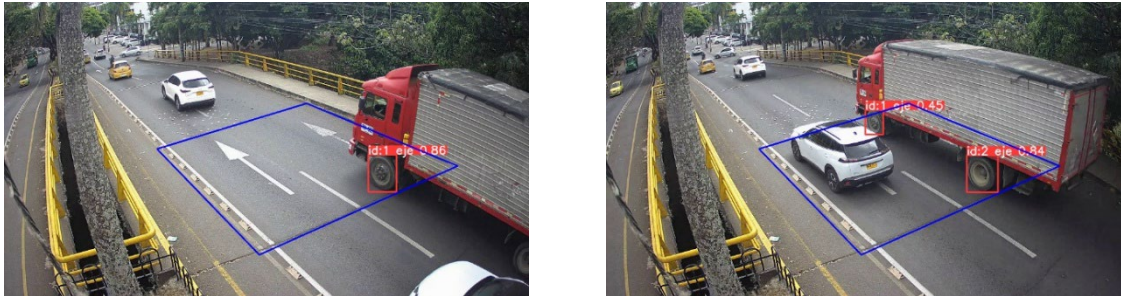


Figura 5. Identificación de carga caso operacional.

Luego, las coordenadas en píxeles correspondientes a los cuadros delimitadores de las ruedas identificadas se utilizan para la transformación de coordenadas.

Finalmente, los puntos resultantes en el sistema de coordenadas de la losa del puente se utilizan para determinar el espaciamiento entre ejes para cualquier cantidad de ejes. La velocidad se calcula utilizando dos fotogramas diferentes con el eje delantero en distintas ubicaciones, y los segundos que el vehículo tarda en recorrer la distancia entre ambos puntos. El tiempo se obtiene a partir del número de muestras entre los dos fotogramas y la frecuencia de muestreo (Figura 5).



Figura 6. Caso de sobrecarga en área urbana.

Parámetro	Resultado de la identificación
Velocidad [m/s]	5.5
Número de ejes	6
Longitud [m]	17.4
Peso [t]	64

Empleando la cámara del sistema de monitoreo, se realizó un aforo vehicular durante una semana, encontrando que transitaban aproximadamente 3300 vehículos de carga, de entre dos y seis ejes. Se evidenció el tránsito de vehículos de carga pesada, como tractocamiones de seis ejes (Figura 6), que transitan principalmente entre las 04:00 a.m. y 04:50 a.m.

3.1. Factor de Impacto Experimental

Durante las pruebas de carga se estimaron los factores de amplificación dinámica (DAF). Dado que este parámetro está influenciado por múltiples variables inherentes tanto al puente como a los vehículos, su estimación requiere el uso de información obtenida mediante sistemas B-WIM. En 2020, Kalin et al. determinaron el DAF asociado a cada paso vehicular sobre el puente utilizando la relación expresada en la Ecuación (Kalin et al., 2022):

$$DAF = \frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_e}$$

Ec. 1

donde ε_T es el efecto total debido a la carga cruzando el puente y ε_e es el efecto estático. Ambos efectos se pueden diferenciar filtrando la señal de respuesta experimental mediante un filtro pasabajo con frecuencia de corte menor que la primera frecuencia natural del puente (Brady et al., 2006). De esta forma es la señal sin modificar ε_T y ε_e es la señal filtrada (ver Figura 7).

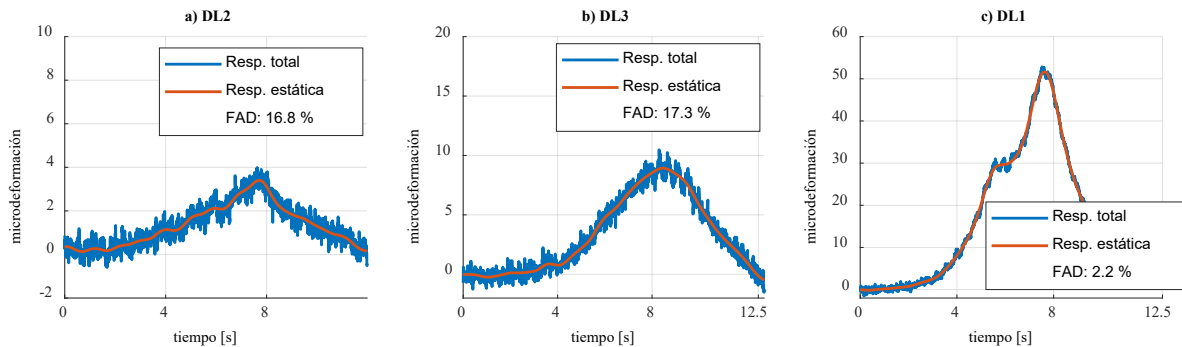


Figura 7. Factores de amplificación dinámica experimentales.

La información obtenida de las pruebas de carga diagnóstica fue empleada para calibrar un modelo de elementos finitos (EF) del puente, a partir de la respuesta estructural registrada. Estas pruebas y modelos proporcionan información cuantitativa valiosa sobre la amplificación dinámica. Mediante la simulación del caso de carga dinámico, se determinó un conjunto de factores de impacto para todas las vigas cómo se muestra en la Figura 8.

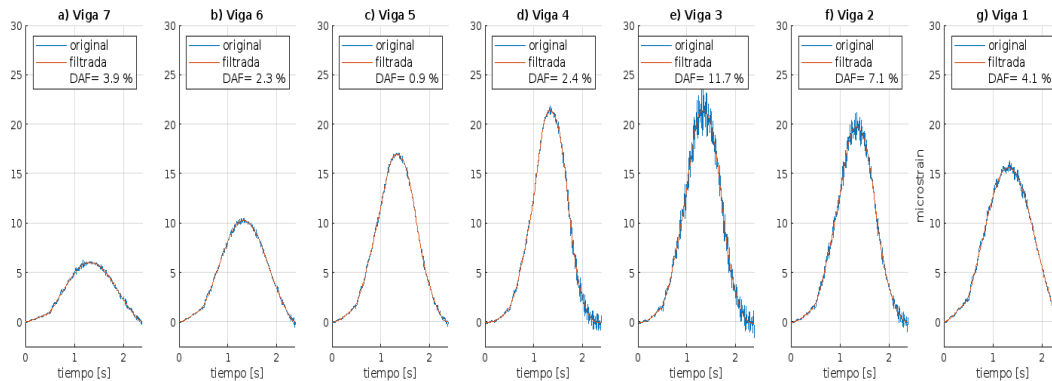


Figura 8. Factores de Amplificación dinámica obtenidos del modelo en FEM.

4. Conclusiones

Los DAF experimentales correspondientes a las vigas ubicadas en la zona de carga presentan cierta concordancia con los valores especificados por AASHTO LRFD. No obstante, los DAF de las vigas alejadas de dicha zona resultan significativamente inferiores a los propuestos por la normativa. Por



su parte, los DAF derivados del modelo EF ajustado muestran una alta similitud con los valores experimentales, lo cual resulta coherente considerando que dicho modelo fue calibrado utilizando registros empíricos obtenidos del sistema de monitoreo.

Durante el tiempo de monitoreo se pudo encontrar que sobre el puente ubicado en el área urbana de Cali transitan vehículos que tienen una carga total vehicular de 62 toneladas, lo cual se estima que corresponde a casi el doble de la carga de diseño, siendo éste un caso de sobrecarga y posible causante del deterioro presente en las vigas que actualmente presentan fisuras. El estado actual de la capa de rodadura favorece la aparición de los efectos dinámicos, ya que se incrementa la intensidad del impacto del vehículo al ingresar y salir del puente.

Los resultados de las pruebas de carga dinámica se utilizaron para implementar y evaluar el proceso de identificación de carga en el puente. De esta manera, las pruebas de carga estáticas y dinámicas resultaron muy útiles para obtener una clasificación de carga realista. Los puentes se evalúan comúnmente con la carga de diseño, pero en la mayoría de los casos, esta no representa la demanda del puente. Por lo tanto, la identificación B-WIM resulta en una herramienta eficaz para evaluar la capacidad del puente.

5. Referencias

Artículos de revistas

- Adhikary, S., Rana, S., Tasnim, J., & Islam, N. (2021). Dynamic Impact Factor Determination of an Existing Pre-stressed Concrete I-Girder Bridge Using Vehicle-Bridge Interaction Modelling. *Journal of Civil Engineering and Construction*, Vol. 10, No. 3, pp. 163–176. <https://doi.org/10.32732/jcec.2021.10.3.163>
- Brady, S. P., O'Brien, E. J., & Žnidarič, A. (2006). Effect of Vehicle Velocity on the Dynamic Amplification of a Vehicle Crossing a Simply Supported Bridge. *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 11, No. 2, pp. 241–249. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2006\)11:2\(241\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2006)11:2(241))
- Chao, Z., Hong, H., Kaiming, B., & Xueyuan, Y. (2020). Dynamic amplification factors for a system with multiple-degrees-of-freedom. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, Vol. 19, No. 2, pp. 363–375. <https://doi.org/10.1007/s11803-020-0567-9>
- Frangopol, D. M., & Soliman, M. (2016). Life-cycle of structural systems: recent achievements and future directions. *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 12, No. 1, pp. 1–20. <https://doi.org/10.1080/15732479.2014.999794>
- Kalin, J., Žnidarič, A., Anžlin, A., & Kreslin, M. (2022). Measurements of bridge dynamic amplification factor using bridge weigh-in-motion data. *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 18, No. 8, pp. 1164–1176. <https://doi.org/10.1080/15732479.2021.1887291>
- Li, Y., Yin, C., Lei, Y., Zhang, J., & Yan, Y. (2024). RDD-YOLO: Road Damage Detection Algorithm Based on Improved You Only Look Once Version 8. *Applied Sciences*, Vol. 14, No. 8, pp. 3360. <https://doi.org/10.3390/app14083360>

Libros

- American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO. *The Manual for Bridge Evaluation Third Edition*, 3rd ed. Washington, D.C.: AASHTO; 2018.

Memorias de congresos

- Castellanos-Toro, S., Millán, D., Ortiz, A. R., Marulanda, J., Thomson, P., & Lantsoght, E. O. L. (2022). Load Testing of a Deteriorated Prestressed Concrete Girder Bridge Without Plans. "SP-352: Live Load Distribution on Concrete Bridges: Design, Evaluation, Construction, Innovation." <https://doi.org/10.14359/51734854>
- Marín M., Millán D., Castellanos-Toro S., Marulanda J., Thomson P. (2021). Caracterización de cargas vehiculares en un puente con monitoreo estructural. In: Desarrollo e Innovación en Ingeniería. Sexta Ed. Medellín, Colombia.; pp. 627–640.
- Nugraha, W., Ramadhani, S., & Sukmara, G. (2024). Assessment of the accuracy of Bridge Weigh-In-Motion (B-WIM) system in Indonesia. In Bridge Maintenance, Safety, Management, Digitalization and Sustainability, pp. 1388–1396. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003483755-162>
- Paeglīte, Ilze., & Paeglītis, Ainārs. (2014). Dynamic Amplification Factors of Some City Bridges. International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering, pp. 1183–1187.

Sobre los autores

- **Diana Millán Yusti:** Ingeniera Civil, Máster en Ingeniería con Énfasis en estructuras y Doctora en Ingeniería Énfasis en Mecánica de Sólidos de la Universidad del Valle. Pasante posdoctoral de la Universidad del Valle. diana.c.millan@correounivalle.edu.co
- **Mauricio Marín:** Ingeniero Civil, Estudiante del Máster en Estructuras de la Universidad del Valle. Miembro del Grupo de Investigación G-7. mauricio.marin@correounivalle.edu.co
- **Johannio Mauranda:** Ingeniero Civil, Máster en Ingeniería y Doctor en Ingeniería Civil de la Universidad de Carolina del Sur. Profesor titular de la Universidad del Valle, Miembro del Grupo de Investigación G-7. johannio.marulanda@correounivalle.edu.co
- **Peter Thomson:** Ingeniero Aeroespacial y Mecánica, Máster en Ingeniería Aeroespacial y Doctor en Ingeniería Aeroespacial de la Universidad de Minnesota. Profesor titular de la Universidad del Valle, director del Grupo de Investigación G-7. peter.thomson@correounivalle.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)