

Monitoreo de salud estructural de puentes: del IMT a Colombia

Luis Guillermo Guardela Simancas · luisguardela@gmail.com · Especialización en Estructuras, Universidad Santo Tomás – Tunja
Misión Académica Internacional, México 2026 — Visita técnica al Instituto Mexicano del Transporte (IMT) · Director: Ing. Daniel Camilo Hernández Acosta, Mg.

Introducción

El monitoreo de salud estructural (SHM) permite conocer en tiempo casi real la condición de un puente mediante sensores y adquisición continua de datos, anticipando el daño y orientando un mantenimiento preventivo basado en evidencia. Este trabajo sistematiza la experiencia de la Misión Académica Internacional a México la visita técnica al IMT y a su Centro de Monitoreo de Puentes y Estructuras Inteligentes (CeMPEI), con el caso del puente atirantado El Carrizo, en monitoreo periódico desde 2021 con fibra óptica (FBG) y evalúa su aplicación a los puentes de Colombia.

Estado del arte

- El daño se identifica en niveles progresivos: detección, localización, cuantificación y pronóstico (Rytter, 1993).
- Los métodos basados en vibraciones rastrean cambios en frecuencias y formas modales (Farrar & Worden, 2007).
- Su uso en puentes de gran claro está consolidado internacionalmente (Ko & Ni, 2005; Brownjohn, 2007).
- Colombia cuenta con líneas base y experiencia académica de monitoreo (Viviescas et al., 2018).

Problema y justificación

Problema. La condición de los puentes se evalúa con inspección visual periódica: valiosa, pero subjetiva, discontinua y poco sensible al daño incipiente; los colapsos del I-35W (2007) y Morandi (2018) ocurrieron en puentes inspeccionados. Colombia, país andino y sísmico, sufrió el colapso del puente Chirajara (2018). ¿Cómo aprovechar la experiencia del IMT para el monitoreo de los puentes colombianos?

Justificación. Se sistematiza una experiencia directa y de primera mano en un referente latinoamericano del SHM, que habilita el tránsito de un mantenimiento reactivo a uno preventivo y predictivo (Ko & Ni, 2005; Brownjohn, 2007) y desarrolla competencias clave del especialista en estructuras: dinámica de puentes, análisis modal y evaluación de condición.

Metodología

Sistematización de experiencias (Jara, 2018) en cuatro fases trazables

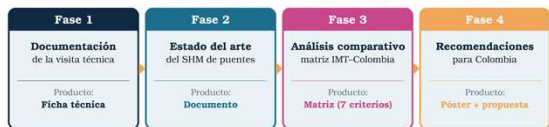


Figura 1. Metodología del trabajo: sistematización en cuatro fases, una por objetivo específico. Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

- El SHM convierte el puente en una estructura observada: identifica el daño en niveles progresivos (detección, localización, cuantificación y pronóstico) antes de que se vuelva falla.
- El IMT demuestra una metodología madura y replicable: instrumentación FBG, monitoreo periódico, análisis modal y modelos MEF calibrados con límites de operación.
- Colombia reúne la necesidad (Chirajara), el precedente (Pumarejo) y la capacidad académica e institucional (UIS, Uniandes, INVIAS, ANI y concesiones) para adoptarlo.
- Retos: inversión inicial, gestión de datos y articulación normativa con el CCP-14 y los manuales del INVIAS.**

Objetivos

General. Sistematizar la experiencia de la misión académica internacional al IMT, analizando su metodología de instrumentación, monitoreo y control de salud estructural de puentes, para evaluar su potencial de implementación en Colombia.

Específicos.

- Documentar el sistema de SHM del IMT (caso El Carrizo): sensores, adquisición y plataformas.
- Elaborar el estado del arte del SHM de puentes: vibraciones, análisis modal y detección de daño.
- Comparar la metodología del IMT con la práctica colombiana (Chirajara, Pumarejo).
- Formular recomendaciones para Colombia, conforme al CCP-14 e INVIAS (NSR-10 como amenaza sísmica).

Resultados

Criterio	IMT (México)	Colombia (hoy)
1. Sensado	FBG + acelerómetros (deformación, inclinación, temperatura)	Acelerometría puntual en campañas
2. Parámetros	Carga viva, frecuencias y formas modales, carga en tirantes	Parámetros modales (líneas base)
3. Adquisición	Permanente a 125 Hz, con transmisión remota	Temporal, in situ
4. Análisis	Modal + modelo MEF calibrado + límites de operación	Modal experimental (académico)
5. Decisión	Protocolos de actuación y mantenimiento	Inspección visual (SIPUCOL)
6. Marco institucional	Programa federal IMT-SICT (CeMPEI)	CCP-14 e INVIAS: sin programa nacional de SHM
7. Brecha / oportunidad	Sistema consolidado y escalable	Instrumentar puentes críticos prioritarios

Figura 2. Matriz comparativa IMT-Colombia (síntesis de siete criterios). Fuente: elaboración propia a partir de IMT (2024) y literatura nacional.

Monitoreo periódico del IMT - evaluación en operación normal desde 2021



Figura 3. Metodología de monitoreo periódico del IMT lecho del puente atirantado El Carrizo. Fuente: elaboración propia a partir de IMT (2024).



Figura 4. Puente atirantado El Carrizo (Durango-Mazatlán) durante la visita técnica. Fuente: IMT (2024).

Aplicación en Colombia

Recomendación: un programa nacional de SHM por etapas, que priorice los puentes críticos y se articule con el CCP-14 y los manuales del INVIAS.

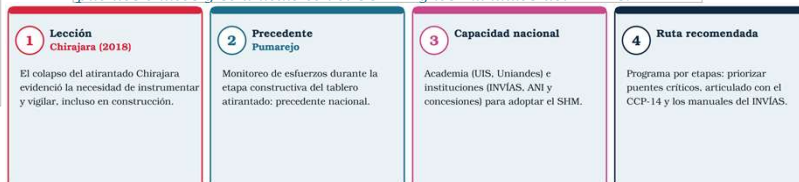


Figura 5. Ruta de aplicación del SHM en Colombia: lección, precedente, capacidad y recomendación. Fuente: elaboración propia.

Referencias

ANSI, Ministerio de Transporte e INVIAS. (2014). Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-14). Bogotá. | Brownjohn, J. M. W. (2007). Structural health monitoring of civil infrastructure. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365(1851), 589-622. | Farrar, C. R., & Worden, K. (2007). An introduction to structural health monitoring. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365(1851), 303-315. | Instituto Mexicano del Transporte. (2024). Estrategia de monitoreo periódico en un puente atirantado [Presentación, caso Puente El Carrizo]. SICT. | Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (s. f.). SIPUCOL: Manual para la inspección de puentes. Bogotá. | Ko, J. M., & Ni, Y. Q. (2005). Technology developments in structural health monitoring of large-scale bridges. Engineering Structures, 27(12), 1715-1725. | Quintana Rodríguez, J. A., Carrión Viramontes, F. J., Martínez Trujano, L. A., et al. (2020). Monitoreo y evaluación estructural en tiempo real del Puente Mezcala [Publicación Técnica No. 591]. IMT. | Rytter, A. (1993). Vibrational based inspection of civil engineering structures [Tesis doctoral, Universidad de Aalborg]. | Viviescas, A., Carrillo, J., & Vargas, C. A. (2018). Línea base para el monitoreo de la salud estructural de un puente. INGE CUC, 14(1), 52-65.

1996/2026

Memoria que trasciende

TUNJA - BOYACÁ - PBX: (608) 744 0404

Campus Centro Histórico: Cll. 19 No. 11 - 64 · Campus Avenida Universitaria:
Edificio Fray Giordano Bruno, O.P.: Av. Universitaria Cll. 48 No. 1-235 este.
Edificio Santo Domingo de Guzmán: Av. Universitaria No. 45 - 202.
Santoto Services: Centro Comercial Unicentro Tunja, Local 1-106.

ACREDITACIÓN
INSTITUCIONAL
— MULTICAMPUS —
DE ALTA CALIDAD POR 8 AÑOS
Resolución 014325 del 28 de junio de 2022