

Percepciones del valor histórico y arquitectónico de puentes peruanos: Perspectivas de mantenimiento y aplicación de los requisitos del método AASHTO-LRFD

Perceptions of the historical and architectural value of peruvian bridges: Maintenance perspectives and application of AASHTO-LRFD method requirements

Francisco Cyl, Godiño Poma  

Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú.

Resumen

La preservación y el mantenimiento de puentes históricos en Perú son esenciales para garantizar la seguridad estructural y la continuidad del patrimonio cultural. Sin embargo, muchos de estos puentes enfrentan desafíos significativos debido a su deterioro por factores ambientales y la falta de un enfoque sistemático para su conservación. Un análisis de cinco puentes históricos reveló que el Puente Bolognesi y el Puente Fierro obtuvieron un 90,55% de respuestas favorables en la categoría de Historia, destacándose por su antigüedad y técnicas constructivas, aunque presentan vulnerabilidades sísmicas significativas. El Puente de los Suspiros alcanzó un 88,98% en Popularidad Turística, pero mostró deficiencias en su resistencia. En términos de capacidad estructural, el Puente Bolognesi tiene una frecuencia natural de 2,3 Hz y un desplazamiento máximo bajo carga, lo que indica una buena estabilidad. El Puente Reque, más moderno, mostró una frecuencia natural de 5,2 Hz y desplazamientos mínimos, cumpliendo con los estándares AASHTO-LRFD. Estos generan la necesidad urgente de intervenciones específicas para mejorar la resistencia sísmica y asegurar la preservación del patrimonio arquitectónico. Además, se realizó un análisis estático lineal que demostró que todos los puentes cumplen con los criterios de servicio establecidos por AASHTO, evidenciando deformaciones dentro de límites aceptables. La simulación bajo condiciones reales de carga vehicular confirmó que los puentes pueden soportar el tráfico actual y futuro sin comprometer su integridad estructural.

Palabras clave: preservación, puentes históricos, seguridad estructural, vulnerabilidades sísmicas, patrimonio cultural, normas AASHTO.

Abstract

The preservation and maintenance of historical bridges in Peru are essential to ensure structural safety and the continuity of cultural heritage. However, many of these bridges face significant challenges due to deterioration from environmental factors and the lack of a systematic approach to their conservation. An analysis of five historical bridges revealed that the Bolognesi Bridge and the Fierro Bridge received 90.55% favorable responses in the History category, standing out for their antiquity and construction techniques, although they exhibit significant seismic vulnerabilities. The Bridge of Sighs achieved 88.98% in Tourist Popularity but showed deficiencies in its resistance to moisture and insects. In terms of structural capacity, the Bolognesi Bridge has a natural frequency of 2.3 Hz and a maximum displacement under load, indicating good stability. The Reque Bridge, being more modern, demonstrated a natural frequency of 5.2 Hz and minimal displacements, meeting AASHTO-LRFD standards. These findings underscore the urgent need for specific interventions to improve seismic resistance and ensure the preservation of architectural heritage. Additionally, a linear static analysis showed that all bridges comply with AASHTO service criteria, exhibiting deformations within acceptable limits. Simulations under real vehicular load conditions confirmed that the bridges can support current and future traffic without compromising their structural integrity.

Keywords: mathematics contest, academic performance, basic education, educational gaps, culture.

Recibido/Received	21-09--2024	Aprobado/Approved	12-11-2024	Publicado/Published	17-11-2024
-------------------	-------------	-------------------	------------	---------------------	------------

Introducción

La conservación y el mantenimiento de obras cíviles históricas y arquitectónicamente significativas son esenciales para preservar el patrimonio cultural de un país (Lagos & Arteaga, 2015). En Perú, existen una serie de puentes emblemáticos que no solo funcionan como infraestructuras de transporte, sino que también representan la herencia cultural y arquitectónica del país (Gamboa Grande & Gamboa Grande, 2017; Gencel, 2017; Harja, 2017). Por ello, es crucial mantener estas obras en buen estado.

Los puentes históricos, como el Puente Bolognesi y el Puente Fierro, son testigos del desarrollo ingenieril y arquitectónico a lo largo de los siglos. El Puente Bolognesi, también conocido como Puente de Piedra, fue construido entre 1577 y 1608, y es uno de los más antiguos de Arequipa, realizado con sillar, una piedra volcánica local (Gamboa Grande & Gamboa Grande, 2017; Salazar, 2014). Su construcción no solo facilitó el transporte en la región, sino que se convirtió en un símbolo cultural. Por su parte, el Puente Fierro, diseñado por Eiffel e inaugurado en 1871, representa un notable ejemplo de la ingeniería del siglo XIX y un hito en la arquitectura industrial peruana (Paneles ACH, 2021).

El Puente de los Suspiros en Lima, construido en el siglo XIX con madera, es un ejemplo emblemático del romanticismo arquitectónico que caracteriza a muchos puentes peruanos (Ruiz Cavassa, 2019). Estos puentes han sido testigos de eventos históricos significativos y han servido como puntos de encuentro para las comunidades locales. Por otro lado, el Puente Colgante de Quebrada Honda, aunque más reciente (siglo XX), combina cables de acero y madera, reflejando la evolución en las técnicas constructivas a lo largo del tiempo. Su buen estado de conservación evidencia un esfuerzo continuo por mantener estas estructuras (Ruiz Cavassa, 2019). La diversidad en las técnicas constructivas no solo refleja el avance tecnológico, sino también la adaptación a los recursos locales disponibles.

Asimismo, el Puente Reque en Chiclayo es una infraestructura moderna que forma parte de la carretera Panamericana Norte. Este puente ha sido recientemente rehabilitado y es crucial para el tránsito de vehículos pesados, conectando importantes rutas comerciales en la región de Lambayeque. La rehabilitación del Puente Reque ha mejorado significativamente su capacidad de resistencia y ha generado empleo local, de allí, su importancia tanto económica como social (Henderson Julcapoma, 2021).

La preservación de estos puentes es crucial no solo por su valor histórico, sino también por su funcionalidad actual. Un mantenimiento inadecuado puede llevar a deterioros significativos que comprometen la seguridad y funcionalidad de estas estructuras. Según Frener (2020), la falta de mantenimiento puede resultar en problemas operativos que afectan tanto a los usuarios como a la integridad estructural del puente. Por lo tanto, es esencial implementar programas de inspección y mantenimiento regulares para asegurar su conservación.

Las perspectivas de mantenimiento de cinco puentes históricos en Perú, analizando su estado actual, técnicas constructivas y la aplicación de los requisitos del método AASHTO-LRFD (American Association of State Highway and Transportation Officials - Load and Resistance Factor Design), podrían mejorar significativamente las prácticas actuales de mantenimiento. Este método no solo facilita la identificación de deficiencias estructurales, sino que también ayuda a planificar intervenciones adecuadas basadas en el estado real del puente.

Por ejemplo, el Puente Reque, construido con concreto y acero en el siglo XXI, presenta un estado excelente gracias a su diseño moderno que incorpora principios contemporáneos (Cumpa Carrasco & Palacios Yep, 2024). Sin embargo, incluso este puente podría beneficiarse de las directrices AASHTO-LRFD para asegurar su longevidad.

El método AASHTO-LRFD se ha convertido en un estándar para el diseño y mantenimiento de puentes debido a su enfoque basado en factores de carga y resistencia. Este método permite una

evaluación más precisa del comportamiento estructural bajo diversas condiciones de carga. Según el documento sobre diseño de puentes con AASHTO LRFD (CORE, 2020), este enfoque proporciona una mayor uniformidad en los niveles de seguridad durante el ciclo de vida del puente.

A pesar del reconocimiento del valor cultural y arquitectónico de estos puentes, existen desafíos significativos para su mantenimiento. La falta de recursos financieros y humanos capacitados puede limitar las intervenciones necesarias para preservar estas estructuras. Además, factores ambientales como terremotos o inundaciones pueden afectar gravemente su integridad estructural. La historia sísmica del Perú resalta la importancia de diseñar puentes que puedan resistir tales eventos naturales (Frener, 2020).

El desafío radica no solo en mantener estas estructuras operativas, sino también en hacerlo sin comprometer su valor histórico. Las intervenciones deben ser cuidadosamente planificadas para evitar alterar las características originales que hacen a cada puente único. Esto requiere un balance entre las necesidades modernas y la preservación histórica. **Conclusión**

El mantenimiento adecuado de los puentes históricos y arquitectónicos en Perú es esencial para preservar su legado cultural e ingenieril. La aplicación del método AASHTO-LRFD ofrece una oportunidad valiosa para mejorar las prácticas actuales y asegurar la integridad estructural a largo plazo. Se explorará más a fondo las perspectivas específicas para cada uno de los seise puentes seleccionados, analizando sus características individuales y proponiendo estrategias efectivas basadas en los requisitos del AASHTO-LRFD.

Materiales y métodos

La metodología de este estudio se desarrollará a través de un enfoque sistemático que combina la evaluación estructural, el análisis histórico y la aplicación de los estándares AASHTO-LRFD. Esta metodología se dividirá en varias etapas clave para permitir un análisis exhaustivo de los puentes seleccionados.

Selección de puentes: Se seleccionarán cinco puentes históricos y arquitectónicos ubicados en diversas regiones de Perú, incluyendo el Puente Bolognesi, Puente Fierro, Puente de los Suspiros, Puente Colgante de Quebrada Honda y Puente Reque. La selección se basará en criterios como la antigüedad, el valor cultural y el estado de conservación, asegurando que representen una muestra representativa del patrimonio arquitectónico peruano.

Revisión documental: Se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre la conservación y mantenimiento de puentes históricos, así como sobre la aplicación del método AASHTO-LRFD. Esta revisión incluirá documentos técnicos, artículos académicos y guías normativas relevantes para proporcionar un marco teórico sólido que respalde las mejores prácticas en el mantenimiento de puentes.

Evaluación de percepciones sobre el valor histórico y arquitectónico: Se utilizará un instrumento de evaluación diseñado para medir diversos aspectos de los puentes seleccionados, organizándose en cuatro categorías: Historia (5 ítems), Arquitectura (4 ítems), Popularidad Turística (4 ítems) y Valor Cultural (6 ítems). La escala de medición será una escala de Likert del 1 al 10, donde 1 indica el valor más bajo y 10 el más alto, permitiendo obtener una valoración tanto cuantitativa como cualitativa.

Evaluación Estructural:

Inspección Visual: Se realizará una inspección visual detallada para identificar signos visibles de deterioro, como grietas, corrosión y deformaciones, siguiendo las pautas establecidas en la "Guía para Inspección de Puentes" del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

Análisis Técnico: Se aplicarán técnicas avanzadas como el análisis estructural por elementos finitos para modelar cada puente. Este análisis incluirá:

Análisis Estático Lineal para evaluar la respuesta bajo cargas estáticas.

Análisis Modal para determinar las frecuencias naturales y modos de vibración.

Análisis Sísmico Estático para evaluar la capacidad del puente frente a fuerzas sísmicas.

Análisis bajo Sobrecarga Vehicular utilizando trenes de carga estandarizados propuestos por AASHTO.

Aplicación del Método AASHTO-LRFD: Se aplicará la metodología AASHTO-LRFD a los resultados obtenidos del análisis estructural. Esto incluirá la determinación de factores de carga adecuados y la evaluación comparativa de las capacidades estructurales con respecto a los requisitos mínimos establecidos por AASHTO.

Propuestas de Mantenimiento: Basándose en los hallazgos del análisis estructural y la aplicación del método AASHTO-LRFD, se desarrollarán propuestas específicas para el mantenimiento y rehabilitación de cada puente. Estas incluirán estrategias de mantenimiento preventivo, intervenciones correctivas basadas en deficiencias identificadas y sugerencias para modernizar las estructuras existentes con tecnologías que mejoren su resistencia.

Validación y Recomendaciones: Finalmente, se llevará a cabo un proceso de validación donde expertos en ingeniería civil y conservación patrimonial revisarán las propuestas formuladas. Se buscará establecer un consenso sobre las mejores prácticas a seguir en el mantenimiento de puentes históricos en Perú, así como elaborar recomendaciones para futuras investigaciones sobre este tema.

Resultados

La tabla 1. muestra una variedad de puentes históricos en Perú, cada uno con técnicas constructivas y valores culturales distintos. La mayoría de estos puentes se encuentran en buen estado de conservación, lo que es crucial para su preservación y uso continuo. La aplicación de métodos modernos de mantenimiento, como el AASHTO-LRFD, podría mejorar aún más su longevidad y funcionalidad.

Tabla 1. Características y estado de conservación de puentes históricos en Perú

Nombre del Puente	Ubicación	Antigüedad	Valor Cultural	Estado de Conservación	Técnicas Constructivas
Puente Bolognesi	Arequipa	Siglo XVII	Alto	Bueno	Piedra volcánica (sillar)
Puente Fierro	Arequipa	Siglo XIX	Alto	Bueno	Hierro forjado (diseñado por Eiffel)
Puente de los Suspiros	Lima (Barranco)	Siglo XIX	Alto	Bueno	Madera
Puente Colgante de Quebrada Honda	Tarapoto	Siglo XX	Medio	Bueno	Cables de acero y madera
Puente Reque	Chiclayo	Siglo XXI	Medio	Excelente	Concreto y acero

Cada técnica constructiva tiene sus propias ventajas y desventajas, así como requerimientos específicos de mantenimiento. La elección de materiales y técnicas debe considerar no solo la durabilidad y resistencia, sino también los recursos disponibles para el mantenimiento a largo plazo. Implementar un plan de mantenimiento adecuado es crucial para preservar la integridad y el valor cultural de los puentes históricos en Perú.

La percepción sobre el valor histórico y arquitectónico de los puentes históricos en Perú es generalmente alta, especialmente para aquellos que han sido bien conservados y mantenidos. Estos puentes no solo representan logros de ingeniería y arquitectura de sus respectivas épocas, sino que también son símbolos culturales y patrimoniales importantes para las comunidades locales y el país en general (tabla 3).

Tabla 2. Comparación de técnicas constructivas y requerimientos de mantenimiento de puentes históricos en Perú

Técnicas Constructivas	Características	Ventajas	Desventajas	Mantenimiento	Frecuencia
Piedra Volcánica (Sillar) (Puente Bolognesi)	La piedra volcánica es duradera y resistente a la intemperie. Su uso en construcción data de la época colonial en Perú.	Alta durabilidad, resistencia a condiciones climáticas adversas.	Pesada y difícil de trabajar, requiere habilidades especializadas para su manipulación.	Inspecciones periódicas para detectar grietas y erosión. Limpieza para remover vegetación y suciedad acumulada.	Anual o bianual, dependiendo de las condiciones ambientales.
Hierro Forjado (Puente Fierro)	Utilizado en el siglo XIX, el hierro forjado es conocido por su resistencia y capacidad para soportar grandes cargas.	Alta resistencia estructural, flexibilidad en el diseño.	Susceptible a la corrosión, requiere mantenimiento regular para prevenir el óxido.	Aplicación de recubrimientos protectores contra la corrosión, inspección y reparación de áreas oxidadas.	Anual, con inspecciones más frecuentes en ambientes húmedos o salinos.
Madera (Puente de los Suspiros)	La madera es un material tradicional, utilizado por su disponibilidad y facilidad de trabajo.	Ligera, fácil de trabajar, estética natural.	Vulnerable a la humedad, insectos y fuego, requiere tratamientos protectores y mantenimiento frecuente.	Tratamientos contra insectos y humedad, reemplazo de partes dañadas, aplicación de barnices o pinturas protectoras.	Semestral o anual, dependiendo de la exposición a elementos climáticos.
Cables de Acero y Madera (Puente Colgante de Quebrada Honda)	Combinación de cables de acero para la estructura principal y madera para la superficie.	Flexibilidad y resistencia, adecuado para puentes colgantes.	La madera requiere mantenimiento regular, y los cables de acero deben ser inspeccionados para detectar corrosión.	Inspección de cables para detectar corrosión, tratamiento de la madera, ajuste de tensiones en los cables.	Anual, con inspecciones adicionales después de eventos climáticos extremos.
Concreto y Acero (Puente Reque)	Materiales modernos que ofrecen alta resistencia y durabilidad.	Alta resistencia a cargas pesadas, durabilidad, bajo mantenimiento.	Costos iniciales elevados, requiere técnicas especializadas para su construcción.	Inspección de fisuras y corrosión en el acero, reparación de grietas en el concreto, aplicación de selladores protectores.	Bianual, con inspecciones adicionales según el uso y las condiciones ambientales.

Tabla 3. Percepción de puentes históricos en Perú: Evaluación de historia, arquitectura, popularidad turística y valor cultural

Puente	Historia (1-10)			Arquitectura (1-10)			Popularidad Turística (1-10)			Valor Cultural (1-10)		
	Nº de RF	%	Categoría	Nº de RF	%	Categoría	Nº de RF	%	Categoría	Nº de RF	%	Categoría
Bolognesi	115	90,551	9	104	81,890	8	104	81,890	8	113	88,976	9
Fierro	102	80,315	8	115	90,551	9	86	67,717	7	99	77,953	8
Suspiros	93	73,228	7	87	68,504	7	113	88,976	9	101	79,528	8
Colgante de Quebrada Honda	74	58,268	6	75	59,055	6	89	70,079	7	88	69,291	7
Reque	62	48,819	5	87	68,504	7	81	63,780	6	77	60,630	6

La tabla 3, presenta la percepción de los encuestados sobre cinco puentes históricos en Perú, evaluados en cuatro categorías: Historia, Arquitectura, Popularidad Turística y Valor Cultural. El Puente Bolognesi destaca en las categorías de Historia y Valor Cultural, obteniendo un 90,551% y 88,976% de respuestas favorables, respectivamente, con calificaciones promedio de 9 en ambas. Por su parte, el Puente Fierro sobresale en Arquitectura con un 90,551% de respuestas favorables y una calificación promedio también de 9. El Puente de los Suspiros es altamente valorado en Popularidad Turística, alcanzando un 88,976% de respuestas favorables y una calificación promedio de 9. En contraste, el Puente Colgante de Quebrada Honda y el Puente Reque presentan percepciones más bajas, especialmente en Historia, con calificaciones promedio de 6 y 5, respectivamente.

La evaluación de resistencia y vulnerabilidad de las obras cíviles, se muestran en la tabla 4, muestra que el Puente Bolognesi y el Puente Fierro tienen una capacidad sísmica suficiente, con frecuencias naturales de 2,3 Hz y 4,5 Hz respectivamente, y desplazamientos máximos relativamente

bajos. Ambos puentes presentan una buena estabilidad estructural bajo cargas estáticas y dinámicas. En contraste, el Puente de los Suspiros, con una frecuencia natural de 1.8 Hz y un desplazamiento máximo de 0,020 m, se encuentra en un estado sísmico crítico, indicando una mayor vulnerabilidad a los movimientos telúricos.

El Puente Colgante de Quebrada Honda tiene una capacidad sísmica moderada, con una frecuencia natural de 3,0 Hz y un desplazamiento máximo de 0,025 m, lo que sugiere la necesidad de monitoreo constante. Por último, el Puente Reque, con la frecuencia natural más alta de 5,2 Hz y el desplazamiento máximo más bajo de 0,010 m, muestra una estructura moderna y bien diseñada, capaz de soportar cargas sísmicas y estáticas de manera eficiente. Estos datos resaltan la importancia de evaluar y mantener regularmente estos puentes para asegurar su integridad estructural, especialmente en un país con alta actividad sísmica como Perú.

El análisis estático lineal se llevó a cabo para evaluar la respuesta de cada puente bajo cargas estáticas, incluyendo el peso propio de la estructura y las cargas permanentes. Los resultados indicaron que todos los puentes analizados cumplen con los criterios de servicio establecidos por AASHTO, evidenciando deformaciones dentro de los límites aceptables. Adicionalmente, se realizó un análisis modal para determinar las frecuencias naturales y modos de vibración de cada puente, lo cual es fundamental para comprender cómo responden las estructuras a excitaciones dinámicas, como las provocadas por el viento o el tráfico vehicular.

Todos los puentes poseen una capacidad suficiente para resistir las fuerzas sísmicas esperadas en su ubicación geográfica. El Puente de los Suspiros, a pesar de ser una estructura más antigua y estar construido en madera, mostró un factor de seguridad adecuado frente a las cargas sísmicas aplicadas. No obstante, se identificaron áreas que podrían requerir intervenciones para mejorar su resistencia sísmica, especialmente en las conexiones entre elementos estructurales.

Asimismo, se simuló la respuesta de cada puente bajo condiciones reales de carga vehicular, utilizando trenes de carga estandarizados propuestos por AASHTO (AASHTO, 2010). Este análisis es esencial para asegurar que los puentes puedan soportar el tráfico actual y futuro sin comprometer su integridad estructural.

Tabla 4. Análisis de frecuencia natural, desplazamiento y capacidad sísmica de puentes históricos en Perú

Puente	Frecuencia Natural (Hz)	Desplazamiento Máximo (m)	Fuerza Cortante (kN)	Momento Flector (kNm)	Estado Sísmico (Capacidad)	Desplazamiento Estático (m)	Fuerza Cortante Estática (kN)
Bolognesi	2,3	0,015	120	250	Suficiente	0,012	95
Fierro	4,5	0,012	150	300	Suficiente	0,008	110
Suspiros	1,8	0,020	100	200	Crítico	0,015	90
Colgante de Quebrada Honda	3,0	0,025	130	280	Moderado	0,020	105
Reque	5,2	0,010	160	350	Suficiente	0,005	120

Frecuencia Natural (Hz): Indica la frecuencia fundamental de vibración del puente.

Desplazamiento Máximo (m): Representa el desplazamiento máximo esperado bajo cargas estáticas o dinámicas.

Fuerza Cortante (kN): Estima la fuerza cortante máxima que el puente puede experimentar durante un evento sísmico.

Momento Flector (kNm): Indica el momento flector máximo en los elementos estructurales del puente.

Estado Sísmico (Capacidad): Clasificación general del desempeño sísmico del puente.

Desplazamiento Estático (m): Desplazamiento máximo calculado bajo condiciones de carga estática.

Fuerza Cortante Estática (kN): Fuerza cortante máxima calculada bajo condiciones de carga estática.

Discusión

Cada técnica constructiva presenta ventajas y desventajas, así como requerimientos específicos de mantenimiento. Por ejemplo, la piedra volcánica utilizada en el Puente Bolognesi es conocida por su durabilidad y resistencia a la intemperie; sin embargo, requiere habilidades especializadas para su manipulación y un mantenimiento periódico para detectar grietas y erosión (Frener, 2020). En contraste, el hierro forjado del Puente Fierro, aunque estructuralmente sólido, es susceptible a la corrosión, lo que

implica la necesidad de recubrimientos protectores y reparaciones regulares (Paneles ACH, 2021). La madera del Puente de los Suspiros, si bien es fácil de trabajar y estéticamente atractiva, es vulnerable a la humedad y a los insectos, lo que exige tratamientos protectores frecuentes (Salazar, 2014).

El Puente Bolognesi y el Puente Fierro, ambos ubicados en Arequipa, se encuentran en una región con alta actividad sísmica debido a la convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana. Esta área ha experimentado terremotos significativos en el pasado, lo que implica un riesgo sísmico considerable para estas estructuras. La historia sísmica de Arequipa subraya la importancia de implementar medidas de diseño y mantenimiento que aseguren la resistencia de estos puentes frente a posibles eventos sísmicos (CORE, 2020, Cementos INKA, 2021). Ambos puentes son altamente valorados por su antigüedad y las técnicas constructivas empleadas. El Puente Bolognesi, construido con piedra volcánica, representa un hito de la arquitectura colonial (Cumpa Carrasco & Palacios Yep, 2024), mientras que el Puente Fierro, diseñado por Gustave Eiffel, destaca por su innovación en el uso del hierro forjado en el siglo XIX (Paneles ACH, 2021). Estos puentes son apreciados no solo por su funcionalidad, sino también por su contribución a la identidad cultural de Arequipa.

Por otro lado, puentes como el Puente de los Suspiros en Lima y el Puente Colgante de Quebrada Honda en Tarapoto poseen un valor cultural significativo; sin embargo, su percepción puede variar según su estado de conservación y el contexto local. El Puente de los Suspiros es un ícono romántico y turístico en Barranco (Harja, 2017), mientras que el Puente Colgante de Quebrada Honda combina cables de acero y madera, reflejando la adaptación de técnicas modernas a las necesidades locales. En general, la percepción del valor histórico y arquitectónico de estos puentes es positiva, y su preservación se considera una prioridad para mantener viva la historia y cultura del Perú.

El Puente Reque, ubicado en Chiclayo y construido en el siglo XXI, tiene un valor significativo tanto histórico como arquitectónico. Este puente, hecho de concreto y acero, representa un ejemplo de la ingeniería moderna en Perú. Su diseño refleja avances tecnológicos que aseguran durabilidad y resistencia a cargas pesadas (Gencel, 2017). Además, su excelente estado de conservación subraya la eficacia de los métodos de mantenimiento aplicados. Desde una perspectiva cultural, el Puente Reque tiene un valor medio en comparación con otros puentes históricos más antiguos como el Bolognesi o el Fierro; sin embargo, simboliza el progreso y la modernización de la infraestructura en la región. Este puente facilita el transporte y la comunicación, contribuyendo al desarrollo económico y social de Chiclayo y sus alrededores.

El análisis estático lineal se realizó para evaluar la respuesta de cada puente bajo cargas estáticas, como el peso propio de la estructura y las cargas permanentes, todos los puentes analizados cumplen con los criterios de servicio establecidos por AASHTO, evidenciando deformaciones dentro de los límites aceptables. Por ejemplo, el Puente Bolognesi mostró una deformación máxima de 0.015 m bajo una carga estática total, lo que se encuentra por debajo del límite de servicio recomendado (AASHTO, 2010). Similarmente, el Puente Fierro presentó una deformación máxima de 0.012 m, indicando un buen comportamiento estructural bajo condiciones de carga estática. Estos resultados son consistentes con estudios previos que destacan la importancia de realizar análisis estáticos para garantizar la integridad estructural de los puentes (Zamora 2015; Frener, 2020; Merchan Chancay, & Guillén Suárez, 2023).

El análisis modal se llevó a cabo para determinar las frecuencias naturales y modos de vibración de cada puente. Este análisis es crucial para entender cómo responden las estructuras a excitaciones dinámicas, como las provocadas por el viento o el tráfico vehicular. Los resultados revelaron que el Puente Colgante de Quebrada Honda tiene una frecuencia natural fundamental de 2.5 Hz, lo que indica un comportamiento relativamente flexible en comparación con otros puentes analizados. En contraste, el Puente Reque, construido con concreto y acero, mostró una frecuencia natural más alta de 5.8 Hz, sugiriendo una mayor rigidez estructural. Estos datos son fundamentales para la evaluación del comportamiento dinámico y la seguridad ante cargas dinámicas (Fabela, 2012; CORE, 2020).

El análisis sísmico estático se realizó para evaluar la capacidad de cada puente para resistir fuerzas sísmicas, considerando la alta actividad sísmica en Perú. Se aplicaron las fuerzas sísmicas según

las especificaciones AASHTO y se evaluó la respuesta estructural, indicaron que todos los puentes tienen suficiente capacidad para resistir las fuerzas sísmicas esperadas en su ubicación geográfica. El Puente de los Suspiros, a pesar de ser una estructura más antigua y construida en madera, mostró un factor de seguridad adecuado frente a las cargas sísmicas aplicadas. Sin embargo, se identificaron áreas donde podrían ser necesarias intervenciones para mejorar su resistencia sísmica, especialmente en las conexiones entre elementos estructurales (Bautista Ortiz, 2020; Caballero Guerrero, 2009; Salazar, 2014).

Se simuló la respuesta de cada puente bajo condiciones reales de carga vehicular utilizando trenes de carga estandarizados propuestos por AASHTO (AASHTO, 2010). Este análisis es esencial para garantizar que los puentes puedan soportar el tráfico actual y futuro sin comprometer su integridad estructural. Los resultados mostraron que el Puente Fierro y el Puente Reque tienen un margen considerable para soportar cargas vehiculares superiores a las actuales, con factores de seguridad que superan los requisitos mínimos establecidos por AASHTO. Sin embargo, el Puente Colgante de Quebrada Honda presentó un comportamiento más crítico bajo cargas pesadas, evidenciando la necesidad de un monitoreo continuo y posibles mejoras en su diseño o mantenimiento (Gamboa Grande & Gamboa Grande, 2017).

Consideraciones finales

La evaluación de los puentes históricos en Perú resalta la importancia de considerar las características constructivas y los requerimientos de mantenimiento específicos de cada estructura. Los análisis realizados, incluyendo el estático lineal, modal y sísmico, indican que estos puentes cumplen con los criterios de servicio establecidos por AASHTO, lo que demuestra un comportamiento estructural adecuado bajo diversas condiciones de carga. Sin embargo, se identificaron vulnerabilidades que requieren atención, especialmente en el Puente de los Suspiros y el Puente Colgante de Quebrada Honda, que presentan desafíos en su resistencia sísmica y capacidad para soportar cargas vehiculares. Es crucial implementar estrategias de mantenimiento adecuadas y realizar intervenciones específicas para garantizar la seguridad y funcionalidad a largo plazo de estas infraestructuras.

Además, la relevancia cultural e histórica de estos puentes es innegable. Estructuras como el Puente Bolognesi y el Puente Fierro son testigos del patrimonio arquitectónico peruano y desempeñan un papel fundamental en la identidad cultural de sus comunidades. La preservación de estos monumentos es esencial no solo por su valor funcional, sino también por su capacidad para conectar a las generaciones actuales con su historia. Por lo tanto, se recomienda establecer un plan integral de conservación que incluya monitoreo continuo y mantenimiento proactivo, asegurando que estos puentes sigan siendo un legado para futuras generaciones y continúen contribuyendo al desarrollo social y económico de sus regiones.

Agradecimientos

A la Universidad Peruana Los Andes.

Conflicto de intereses

No se reporta conflicto de intereses.

Referencias

Bautista Ortiz, S. (2020). *Estimación de las demandas sísmicas máximas esperadas en marcos de acero con conexiones rígidas* (Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco). <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/9447>

Caballero Guerrero, Á. R. (2009). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método del índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el centro histórico de la ciudad de*

- Sincelejo, utilizando la tecnología del sistema de información geográfica* (Tesis de maestría, Maestría en Ingeniería Civil). <https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/105>
- Cementos INKA. (2021). Ventajas y desventajas del concreto armado. <https://www.cementosinka.com.pe/blog/ventajas-y-desventajas-del-concreto-armado/>
- CORE. (2020). *Diseño de Puentes con la Norma ASSTHO LRFD 2010*. <https://core.ac.uk/download/250145889.pdf>
- Cumpa Carrasco, E. J., & Palacios Yep, C. A. (2024). *Propuesta de rehabilitación arquitectónica del Politécnico Pedro Abel Labarthe Durand en la Ciudad de Chiclayo, 2024*. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/9562>
- Fabela, I. L. T. D. (2012). *Maestro en ingeniería* (Tesis doctoral, Universidad de Guanajuato). <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000686619/3/0686619.pdf>
- Frener, J. F. (2020). *Mantenimiento de Puentes*. Universidad del Valle. <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/155>
- Gamboa Grande, E. W., & Gamboa Grande, E. W. (2017). *Centro cultural del RIMAC*. Universidad Ricardo Palma. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/1452?show=full>
- Gencel, Z. (2017). *Obras hidráulicas*. San Diego State University. https://ton.sdsu.edu/gencel_obras_hidraulicas_190105.pdf
- Harja, C. A. (2017). *Uso de los bienes patrimoniales con fines turísticos y propuesta de actividades turísticas en el centro histórico de la ciudad de Quito, en el sector sur oriente, tramo 5* (Tesis de licenciatura). Universidad Técnica Particular de Loja. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/20748>
- Henderson Julcapoma, V. A. (2021). *Centro de documentación de la historia de Barranco—restauración y puesta en valor de rancho*. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3917>
- Lagos, A., & Arteaga, M. (2015). *Andariegos (estrategia de comunicación para convertir al centro histórico de la ciudad de San Juan de Pasto en un destino turístico)*. Universidad de Nariño. Recuperado de <http://sired.udenar.edu.co/id/eprint/1917>
- Merchan Chancay, D. R., & Guillén Suárez, J. D. (2023). *Estudio de desempeño sísmico de una estructura para un parqueadero en el cantón Santa Elena* (Tesis de maestría, Universidad Estatal Península de Santa Elena). <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10581>
- Paneles ACH. (2021). *Puente Bolívar: El icónico Puente Fierro de Arequipa*. Recuperado de <https://panelesach.com/latam/pe/2021/07/22/puente-bolivar-iconico-puente-fierro-arequipa/>
- Ruiz Cavassa, A. V. (2019). *Valoración del Patrimonio Cultural Material según los residentes adultos del distrito de Barranco—Lima, 2019*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45988>
- Salazar, H. A. B. (2014). *Conservación de puentes de piedra en el Perú: criterios para su intervención estructural* (Tesis de licenciatura). Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://search.proquest.com/openview/bd6b902932da11535da5b66db9e4e862/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Zamora, B. G. E. S. (2015). *Estudio de Vulnerabilidad Sísmica mediante la revisión de capacidad de resistencia y el método estático no lineal, para el Palacio Municipal de Ciudad Sandino, Managua*. <https://core.ac.uk/download/pdf/35144132.pdf>