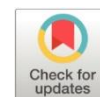


Evaluación de la fatiga del puente metálico La Saquea de tablero inferior en Zamora Chinchipe

Evaluation of fatigue in the La Saquea metal bridge in Zamora Chinchipe

- ¹ Enrique Andrés Cueva Torres  <https://orcid.org/0009-0003-5166-4704>
Universidad Católica de Cuenca (UCACUE), Cuenca, Ecuador.
Maestría en Ingeniería Civil Mención en Estructuras Sismorresistentes.
enrique.cueva@est.ucacue.edu.ec
- ² Juan Sebastián Maldonado-Noboa  <https://orcid.org/0000-0001-5329-2201>
Universidad Católica de Cuenca (UCACUE), Cuenca, Ecuador.
jmaldonadon@ucacue.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 13/01/2026

Revisado: 08/02/2026

Aceptado: 09/03/2026

Publicado: 23/03/2026

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v9i1.3625>

Cítese:

Cueva Torres, E. A., & Maldonado Noboa, J. S. (2026). Evaluación de la fatiga del puente metálico La Saquea de tablero inferior en Zamora Chinchipe. *ConcienciaDigital*, 9(1), 142-161. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v9i1.3625>



CONCIENCIA DIGITAL, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>
La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Palabras claves:

Fatiga,
cargas cíclicas,
vida remanente,
gota de lluvia,
categorización
estructural.

Resumen

Introducción. El puente de la Saquea ubicado en la provincia de Zamora Chinchipe es una estructura de vital importancia para la conectividad y el desarrollo económico, la cual ha experimentado un aumento significativo en las cargas vehiculares debido a la creciente actividad minera que enfrenta el sector, es por ello la importancia de su evaluación ante estos efectos de carga repetitiva inducidos por el tránsito, por lo cual se realizó dos casos de análisis, el primero con el peso nominal y el segundo con un incremento del 50% de las cargas, para el grupo de camiones (HL-93, 3S3 y HS-MTOP). **Objetivo.** El presente estudio tiene como finalidad evaluar la fatiga de los elementos estructurales y estimar la vida remanente de las conexiones más críticas. **Metodología.** Con la implementación de la metodología propuesta por el AASHTO LRFD la cual se basa en la determinación de la vida útil de los elementos a través de los efectos causados por la carga repetitiva del tránsito mediante la obtención de los rangos de esfuerzos y su categorización estructural. **Resultados.** El análisis de la fatiga muestra que las vigas principales son los elementos que enfrentan mayormente esfuerzos a flexión y por ende su vida remanente a fatiga se reduce a 12 años frente a sollicitaciones de sobrecarga. **Conclusión.** Las vigas principales son los elementos que mayormente enfrentan esfuerzos a flexión y por ende su vida a fatiga se ve reducida significativa al estar sometidas a las condiciones de cargas críticas. Sobrecargar los vehículos un 50% reduce más de la mitad la estimación de la vida remanente a fatiga. **Área de estudio general:** Ingeniería Civil. **Área de estudio específica:** Estructuras. **Tipo de estudio:** Artículo original.

Keywords:

Fatigue,
cyclic loads,
remaining life,
Rainflow,
structural
categorization.

Abstract

Introduction. The Saquea bridge, located in the province of Zamora Chinchipe, is a vital structure for connectivity and economic development. It has experienced a significant increase in vehicle loads due to the growing mining activity in the area. Therefore, it is important to evaluate the effects of repetitive loads induced by traffic. Two case studies were conducted: the first with the nominal weight and the second with a 50% increase in loads for the group of trucks (HL-93, 3S3, and HS-MTOP). **Objective.** The purpose of this study is to evaluate the fatigue of structural elements and estimate the remaining life of the most critical connections.

Methodology. With the implementation of the methodology proposed by AASHTO LRFD, which is based on determining the useful life of the elements through the effects caused by the repetitive traffic load by obtaining the stress ranges and their structural categorization. **Results.** Fatigue analysis shows that the main beams are the elements that face the most bending stresses and therefore their remaining fatigue life is reduced to 12 years under overload stress. **Conclusion.** The main beams are the elements most subjected to bending stresses, and therefore their fatigue life is significantly reduced when subjected to critical load conditions. Overloading vehicles by 50% reduces the estimated remaining fatigue life by more than half. **General Area of Study:** Civil Engineering. **Specific area of study:** Structures. **Type of study:** Original article.

1. Introducción

Las fallas en puentes generan consecuencias severas, incluyendo restricciones comerciales, aislamiento poblacional y riesgos para la seguridad humana. En países en desarrollo como Ecuador, cuya compleja orografía exige una infraestructura vial robusta, los puentes desempeñan un papel crítico en la conectividad y productividad económica (Marín-Guzmán & Maldonado-Noboa, 2022). Con la demanda y desarrollo de la industria, las cargas vehiculares son cada vez más complejas y la probabilidad de falla por fatiga, sobrecargas y fallas prematuras, tienen un porcentaje de incidencia más alto por lo que una oportuna evaluación y mantenimiento contribuye a la reducción de la probabilidad de falla y colapso de las mismas (Zhang et al., 2023; Berrezueta et al., 2022).

De acuerdo con una investigación realizada en 2022, se reveló que en el Ecuador entre los años 2000 al 2023, 29 puentes de estructura metálica colapsaron, es decir, perdieron su capacidad de realizar su función ya sea por un fallo total o parcial, requiriendo un reemplazo total o de un número significativo de elementos. Se atribuye como principales causas del colapso a crecientes y avalanchas, sobrecarga e impacto (14 puentes fallaron por esta causa), falta de mantenimiento y socavación. En Ecuador, provincias como Guayas (18.06%), Pichincha (13.89%) y Zamora Chinchipe (11.11%) concentran el mayor porcentaje de colapsos de puentes en las últimas dos décadas, siendo atribuibles en gran parte a la falta de monitoreo técnico periódico (Marín-Guzmán & Maldonado-Noboa, 2022).

La fatiga, entendida como un proceso progresivo de daño por cargas cíclicas repetitivas, es la tercera causa de fallas en estructuras metálicas, particularmente en zonas con soldaduras defectuosas, tensiones residuales y geometrías inadecuadas (Fuštar et al., 2018); se clasifica en tres categorías principales: Fatiga de alto ciclo (High-Cycle Fatigue - HCF), Fatiga de ciclo bajo (Low-Cycle Fatigue -LCF) y finalmente en Fatiga de ciclo ultra bajo (Ultra-Low-Cycle Fatigue-ULCF). La fatiga de ciclo alto se da cuando el elemento o la estructura está sometido a ciclos de falla de hasta 10^7 con niveles de esfuerzo de amplitud bajo que ocurren dentro del rango plástico produciéndose deformaciones mínimas y a su vez no hay fluencia plástica. Este tipo de fatiga se da cuando la estructura está sometida a acciones de carga repetitivas de baja amplitud como por ejemplo las cargas por tráfico (Wei et al., 2025). La fatiga de ciclo bajo se genera cuando la estructura o sus elementos experimentan cargas cíclicas con amplitudes muy grandes pero que se encuentran dentro del rango plástico durante un evento, por ejemplo, un sismo. El número de ciclos está entre el rango de 10^2 y 10^4 (Tang et al., 2021). La fatiga de ciclos ultra bajo se presentan cuando la estructura se encuentra sometida a pocos ciclos de carga inversa (en general menos de 20) pero que tiene grandes amplitudes de deformaciones plásticas produciendo fracturas en los elementos. Este tipo de esfuerzos son los generados por los terremotos de gran magnitud, en donde la estructura se somete a una demanda inelástica extrema (Kermajani et al., 2016).

Estudios recientes indican que factores como el tipo de soldadura, el ángulo del pie de soldadura, espesor de los elementos y la configuración del tráfico influyen notablemente en la vida a fatiga. Las altas temperaturas de procesos de soldadura pueden llegar a modificar la microestructura de las zonas cercanas al mismo, alterando propiedades mecánicas como dureza, fluencia, ductilidad y límite elástico (Gbagba et al., 2024).

Se resalta el uso de herramientas computacionales como el método de elementos finitos y herramientas de inteligencia artificial que generan modelos en 3D que permiten visualizar deformaciones, fisuras u otra anomalía, identificar zonas críticas y predecir la vida útil estructural (Cevallos et al., 2023; Intriago & Lindao, 2024).

Con la identificación de las conexiones estructurales y la cuantificación de los esfuerzos máximos generados en las conexiones durante el servicio, se emplea un modelo matemático computacional que represente adecuadamente el comportamiento estructural bajo dos casos de cargas repetitivas. Esta información permitirá identificar zonas de esfuerzos máximos que comprometan la integridad de las conexiones entre los distintos elementos estructurales del puente y estimar de manera precisa su vida remanente a fatiga.

El mayor desafío para el análisis de puentes a nivel global es la aleatoriedad de la carga de tráfico pesado, especialmente en países como Ecuador donde no existe un control y monitoreo adecuado (Lei et al., 2022). En países más desarrollados el monitoreo de estructuras ha alcanzado niveles de monitoreo continuo con el uso de sensores, uso de

inteligencia artificial, programas de predicciones y métodos probabilísticos, entre otros lo que denota la poca inversión en prevención desastres (Gokanakonda et al., 2016).

Este enfoque integral contribuirá al desarrollo de metodologías de diagnóstico más precisas, que permitan anticipar el deterioro por fatiga en puentes metálicos basados en las condiciones constructivas, climáticas y operacionales, para así optimizar las estrategias de mantenimiento preventivo en la infraestructura vial.

El objetivo general de este trabajo es evaluar la fatiga de los elementos estructurales del puente La Saquea, ubicado en la provincia de Zamora Chinchipe y estimar la vida remanente de las conexiones más críticas, con la implementación de la metodología propuesta por el AASHTO LRFD.

2. Metodología

El presente trabajo de investigación es de carácter científico de tipo descriptivo orientado a la evaluación del comportamiento de los elementos estructurales que componen la superestructura. La modalidad de la investigación es documental bajo la normativa AASHTO LRFD y su metodología es analítico. El procedimiento incluye el modelamiento y el análisis estructural.

Los pasos y materiales que se emplearon para la aplicación de esta metodología son los siguientes y se fueron desarrollando cronológicamente:

- a) Inspección Visual y caracterización geométrica de la estructura: se recopiló información proporcionada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, entidad que maneja la competencia del puente en estudio por encontrarse ubicado en la vía estatal E45. Adicionalmente se complementó con datos levantados in situ por el autor incluyendo la verificación de las secciones geométricas y el estado actual de la estructura.
- b) Selección de los camiones tipo: para este análisis se utilizará el camión de diseño tipo recomendado por la normativa AASHTO LRFD y el camión de diseño normado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (Jaramillo & Villavicencio, 2022). Adicional a esto se identificará el vehículo pesado que tiene mayor concurrencia en la zona de estudio y la velocidad promedio de los vehículos pesados, basándonos en información de estudios de tráfico recientes.

En caso de no existir esta información se recomienda realizar un estudio de tráfico.

Se realizará un segundo análisis con los mismos vehículos seleccionados, pero con sus pesos incrementados en un 50% ya que, en algunos estudios realizados en México, se ha demostrado que estos exceden entre un 40 al 60% las cargas permitidas (Maldonado, 2016).

- c) Categorización de detalles estructurales, se debe realizar en el siguiente orden:
- Identificar el tipo de detalle que posee el elemento de análisis.
 - Establecer los puntos críticos para cada detalle estructural, correspondientes a las zonas donde tienen lugar los esfuerzos máximos.
 - Clasificar de acuerdo con las categorías de la *Tabla 6.6.1.2.3-1 Categorías de detalles por cargas de fatiga inducida* de la AASHTO LRFD (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2024).
 - Seleccionar los elementos o conexiones críticas, es decir, las que presentan una menor resistencia a la fatiga.
- d) Modelación computacional con el software de elementos finitos CSI Bridge v25.3.1 para el análisis de la fatiga, herramienta que nos permite realizar lo siguiente:
- Modelación estructural de cada uno de los elementos del puente con sus respectivas propiedades mecánicas de acuerdo con los planos estructurales y levantamiento de campo. Cada uno de los elementos tendrá su respectiva identificación para el posterior análisis de resultados.
 - Análisis de líneas de influencia para determinar las zonas de máximos esfuerzos y con ello ubicar al grupo de camiones tipo a lo largo y ancho del puente.
 - Análisis dinámico de carga viva, en donde se realiza el análisis tiempo-historia con el grupo de camiones bajo las dos condiciones de estudio para la obtención de rangos de esfuerzos.

Para el caso de los elementos que están sometidos a flexión el esfuerzo será (**Ecuación 1**):

$$\sigma_M = \frac{M}{S} \quad (1)$$

Donde:

M= momento flector.

S= Módulo de sección.

En el modelo se incluyó el factor de impacto de 33% para el grupo de camiones.

- e) Evaluación de fatiga, cuya metodología de aplicación es la determinada por el AASHTO LRFD. En este procedimiento se determina el número de ciclos mediante el método de la gota de lluvia (Rainflow) el cual es aplicado para cargas de amplitud variable con lo cual nos permite identificar si la conexión es finita o infinita para su posterior estimación de la vida remanente a fatiga.

El conteo de la gota de lluvia requiere que el historial de tiempo se procese primero en una serie de pico-valle (PV) la cual está compuesta por los esfuerzos máximos y mínimos que representan los puntos de inflexión o las inversiones de carga de una serie de tiempo (Marsh et al., 2016).

El método de la gota de lluvia se confirma como un método eficaz para el conteo de ciclos y por ende para la estimación de la vida a fatiga (Bi et al., 2012).

Para la estimación de la vida a fatiga se considera los siguientes niveles de evaluación (**Ecuación 2**) (López, 2016) :

$$Y = \frac{\log \left[\frac{R_{RA}}{365 \cdot n \cdot [(ADTT)]_{sl\ present} \cdot [(\Delta F)_{eff}]^3 \cdot g \cdot (1+g)^{a-1} + 1} \right]}{\log (1+g)} \quad (2)$$

Donde:

Y: Vida remanente del detalle estructural en años

R_R: Factor de resistencia especificado para el tipo de evaluación.

A: Constante definido para la categoría del detalle estructural

n: Número de ciclos para el rango de esfuerzos por el paso del camión

g: Tasa de crecimiento vehicular

a: Edad del detalle estructural

$[(ADTT)]_{sl\ present}$: Número promedio de camiones que circulan por un carril.

$[(\Delta F)_{eff}]$: Rango de esfuerzos efectivo

2.1. Ubicación de la estructura en análisis

El puente “La Saquea” se encuentra ubicado en la vía troncal amazónica E45 a 23.5 km de la capital provincial de Zamora Chinchipe como se muestra en la **Figura 1**.

Figura 1

Puente La Saquea



El puente conecta los cantones de Centinela del Cóndor, Yacuambi, Centinela del Cóndor y el Pangui. A continuación, se presenta la **Tabla 1** en la cual se detallan las coordenadas de ubicación geográfica de la zona de estudio.

Tabla 1

Coordenadas puente La Saquea

Detalle	Inicio del puente	Final del puente
UTM X	738707.98 m E	738725.96 m E
UTM Y	9566838.43 m S	9566944.00 m S

3. Resultados

3.1. Tipología y características geométricas del puente La Saquea

El puente es de estructura metálica en arco con tablero inferior, con aceras internas, sin voladizos, con una altura máxima de 15 metros y una longitud total de 100.70m. El arco se encuentra rigidizado mediante tensores diseñados a tracción y unidas a la estructura principal mediante conexiones empernadas y soldadas. Cuenta también con las Vigas Rígidas o vigas principales, que van longitudinalmente, cuya sección transversal es tipo I. La conexión entre los arcos metálicos con las vigas rígidas o vigas principales están dadas mediante una péndola con sección transversal tipo I. Por último, se usaron vigas transversales de tipo I y arriostres para unir los arcos y las vigas longitudinales, y la superficie de rodadura es una losa maciza de hormigón armado de 0.20m de espesor.

De acuerdo con levantamiento se pudo identificar las siguientes secciones que componen el puente y con ello se calcularon sus propiedades como se muestra en la **Tabla 2**.

Tabla 2

Características geométricas del Puente La Saquea

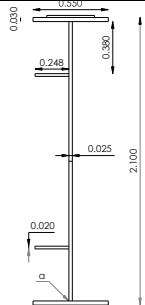
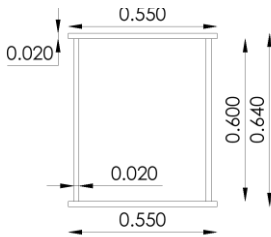
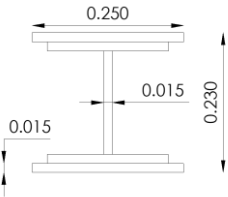
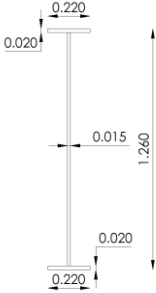
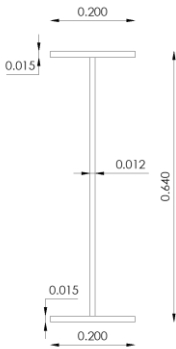
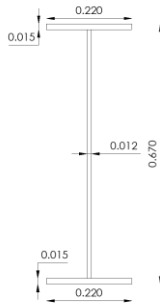
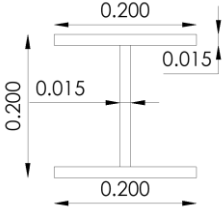
Viga principal	Viga arco
	
Área (A): 940 cm ²	Área (A): 460 cm ²
Momento de Inercia (I): 5700903 cm ⁴	Momento de Inercia (I): 283493.33 cm ⁴
Módulo de sección (S): 54294.32 cm ³	Módulo de sección (S): 8859.17 cm ³

Tabla 2

Características geométricas del Puente La Saquea (continuación)

Péndolas	Vigas transversales inferiores
 Área (A): 163.32 cm² Momento de Inercia (I): 14693.72 cm⁴ Módulo de sección (S): 1277.71 cm³	 Área (A): 271 cm² Momento de Inercia (I): 565282.30 cm⁴ Módulo de sección (S): 8972.74 cm³
Vigas transversales superiores	Vigas longitudinales
 Área (A): 133.20 cm² Momento de Inercia (I): 81303.10 cm⁴ Módulo de sección (S): 2540.72 cm³	 Área (A): 142.80 cm² Momento de Inercia (I): 97015.90 cm⁴ Módulo de sección (S): 2895.99 cm³
Diagonales superiores	
 Área (A): 85.50 cm² Momento de Inercia (I): 5759.13 cm⁴ Módulo de sección (S): 575.91 cm³	

3.2. Selección de los camiones tipo utilizados para el análisis

Con la información generada por el estudio de tráfico en el 2022 por parte de la Universidad de Guayaquil se estimó un TPDA para el año 2025 de 2669 vehículos mixtos

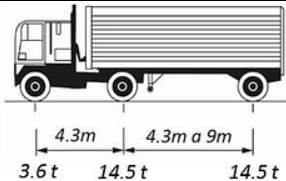
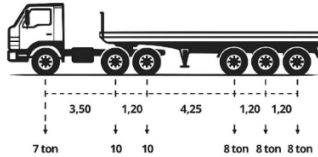
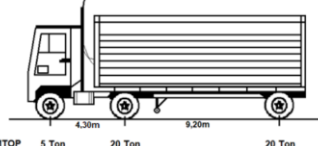
diarios con una tasa media de crecimiento anual del 4.35%; el 77% corresponde a vehículos livianos y el 23% a vehículos pesados, éste último representa un TPDA de 614 veh. pesado/día (Regalado, 2022). Entre los vehículos de mayor concurrencia registrados son los de tipo 3S3, que son utilizados por las empresas mineras de la zona.

Para una mejor comprensión del estudio se denomina caso 1 al análisis de los camiones con su peso nominal y caso 2 al análisis de los camiones con un peso incrementado al 50%.

En la **Tabla 3** se presenta los pesos de los vehículos seleccionados que se utilizaron para los respectivos análisis.

Tabla 3

Vehículos seleccionados para el análisis de fatiga

	Vehículo	Peso (ton)	Peso + 50% (ton)
HL-93		32.66	48.99
3S3		51.00	76.50
HS-MTOP		45.00	67.50

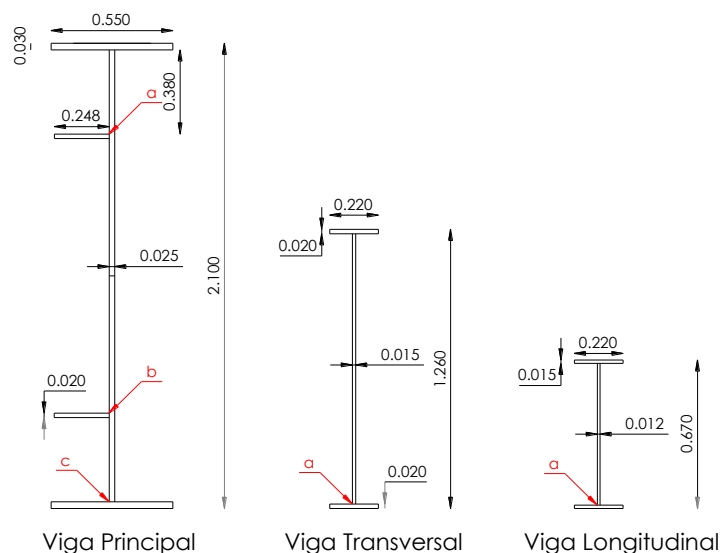
La velocidad promedio registrada de vehículos pesados en la zona de estudio varía de 47.00 km/h y 48.67 km/h, para el análisis del presente estudio, se adoptó el valor promedio de estos registros, el cual es 47.84 km/h (equivalente a 13.29 m/s)

3.3. Categorización de detalles estructurales

Para este análisis se usaron los elementos que están sujetos a flexión como: vigas transversales, vigas longitudinales y vigas principales todas de tipo I, los cuales están conformados por dos patines unidos por un alma central y ensambladas mediante soldaduras longitudinales de penetración completa como se muestra en la **Figura 2**.

Figura 2

Categorización de la sección transversal



En la **Tabla 4** se presenta la categorización de los detalles estructurales en función a la normativa AASHTO LRFD para el análisis de fatiga. Los esfuerzos máximos se identifican en la soldadura de unión entre el patín inferior y el alma denominada como punto “a” como se observa en la **Figura 2** por lo tanto corresponde a una categoría tipo B cuyos valores de constante A y umbral del rango de esfuerzos $(\Delta F)_{TH}$ se muestran continuación.

Tabla 4

Categorización realizada en base a AASHTO LRFD

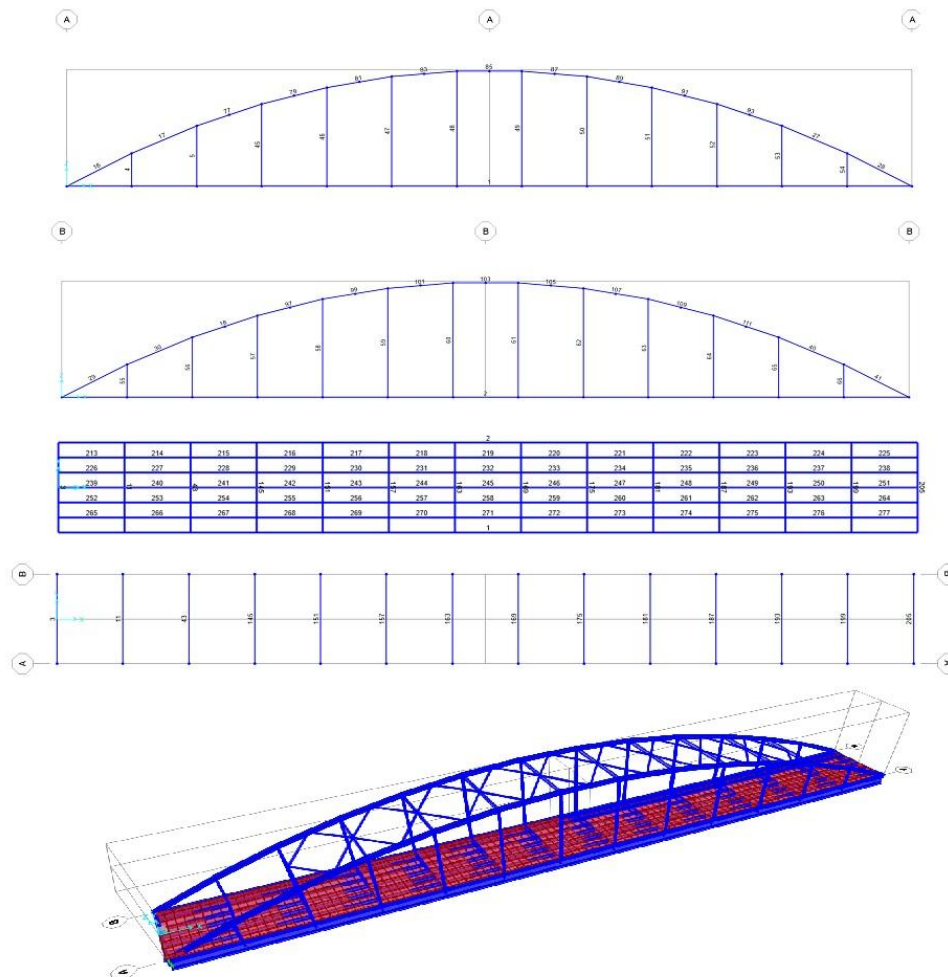
Localización	Descripción	Categoría	Punto potencial de inicio de fractura	Constante A	Umbral $(\Delta F)_{TH}$
Punto a	Para metal base y de soldadura unidos mediante soldaduras longitudinales en la dirección del esfuerzo.	B	A partir de discontinuidades superficiales internas de la soldadura, alejadas del extremo de la soldadura.	$120 \times 10^8 (ksi)^3$ $4.17 \times 10^{15} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)^3$	16 ksi $1125 \frac{kg}{cm^2}$

3.4. Modelo matemático

El modelo matemático se elaboró con elementos finitos mediante el software CSI Bridge v25.3.1. Para modelar las vigas principales, las péndolas, las vigas longitudinales, las vigas transversales y las diagonales se usaron elementos barra. En la **Figura 3** se presenta el puente La Saquea con la identificación de los elementos principales y una vista del modelo 3D.

Figura 3

Modelo computacional puente La Saquea.

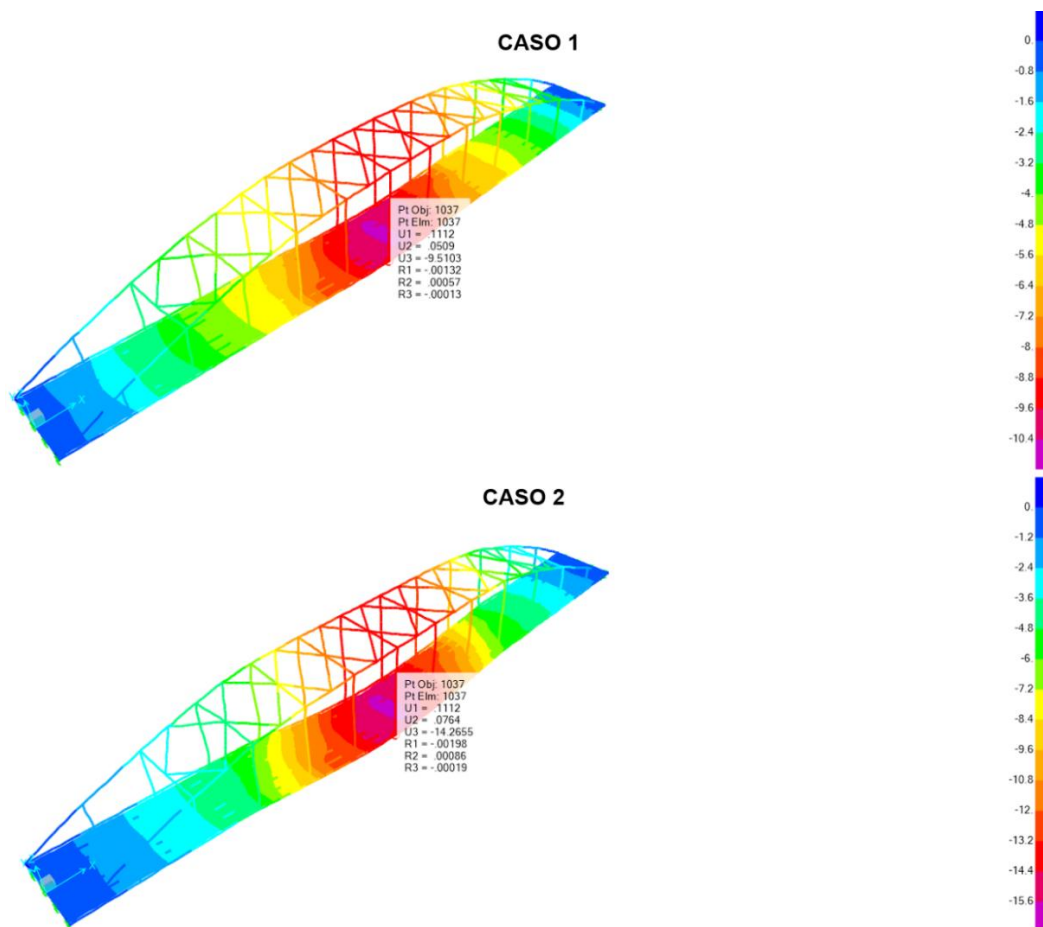


Se debe mencionar que la verificación y calibración del modelo matemático nos permite obtener resultados confiables, ayuda a predecir el comportamiento de la estructura en este caso el Puente, bajo ciertas condiciones de uso (magnitud de deformación, frecuencia de ciclos), para con ello ampliar la vida útil.

Con el análisis de las líneas de influencia se ubicaron los camiones tipo a lo largo y ancho del carril y se calculó los esfuerzos máximos, así como también la máxima deformación en el punto central de la luz del puente.

Figura 4

Deformación bajo la aplicación de casos de carga

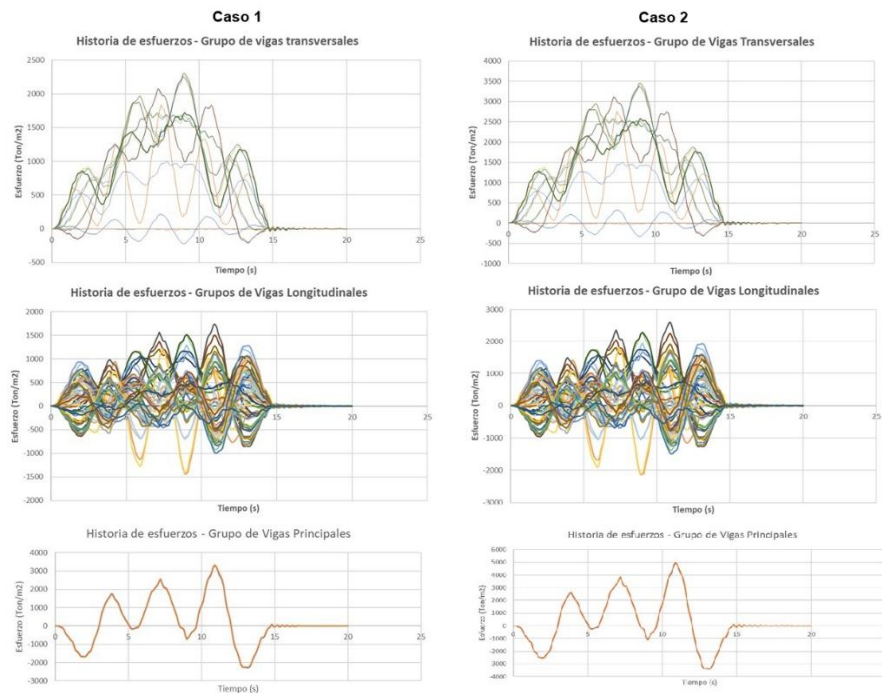


La deformación causada bajo las condiciones de análisis del caso 1, generó un desplazamiento en el sentido Z de 9.51cm mientras que en el caso 2 se generó un desplazamiento de 14.27cm como se muestra en la **Figura 4**. Del análisis tiempo historia se obtuvo los diagramas de esfuerzos para vigas transversales, longitudinales y principales de los dos casos de estudio que se presentan en la **Figura 5**.

Para ambos casos los elementos más críticos, es decir, los que presentan mayores esfuerzos son: en vigas transversales el elemento asignado con el número 187, en vigas longitudinales el 245 y para las vigas principales el elemento 2.

Figura 5

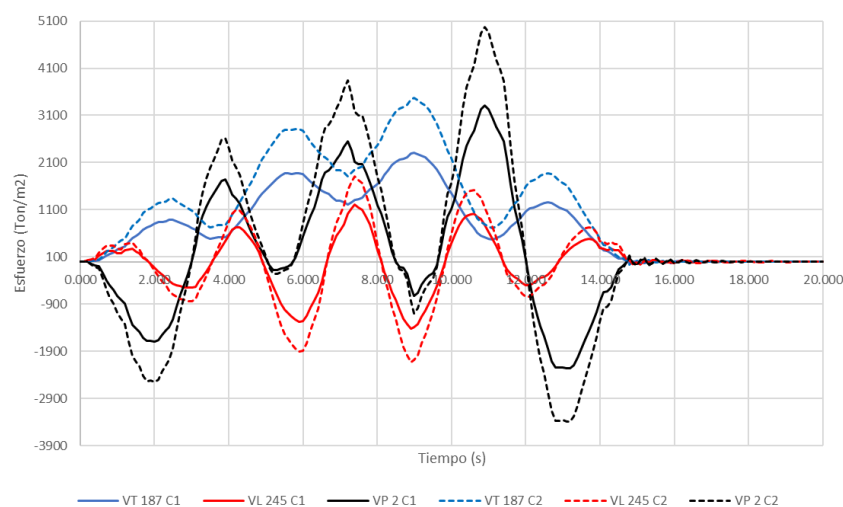
Historia de esfuerzos de elementos: Caso 1 y Caso 2



Podemos apreciar en las gráficas que los elementos analizados en ambos casos tienen características de tensión de amplitud variable, que es común en los análisis de puentes de acero bajo cargas reales de vehículos (Yang et al., 2025).

Figura 6

Historia de esfuerzos de elementos críticos



La **Figura 6** evidencia que el incremento de la carga al 50% (caso 2) produce mayores amplitudes de esfuerzo por lo que aumenta el rango de demanda a fatiga. Además, se muestra que las vigas transversales y principales experimentan variaciones significativas de esfuerzo para las distintas cargas móviles, el elemento VT 187 es el más desfavorable convirtiéndolo en el elemento más susceptible a fenómenos de fatiga. A continuación, se muestra la **Tabla 5** con los rangos de esfuerzos calculados para los elementos analizados.

Tabla 5

Rangos de esfuerzo de los elementos críticos analizados

Caso	Elementos	Máx. Ton/m ²	Min Ton/m ²	Rango Ton/m ²
1	187	2310.665	-37.801	2348.47
1	252	1203.778	-1419.917	2623.695
1	2	3316.295	-2260.654	5576.949
2	187	3465.998	-56.703	3522.70
2	252	1805.666	-2129.876	3935.542
2	2	4974.443	-3390.980	8365.423

Todos los elementos permanecen por debajo del límite de fluencia del material ($f_y=35150\text{Ton/m}^2$).

3.5. Evaluación de fatiga

Una vez calculados los esfuerzos se procedió al conteo de ciclos mediante la gota de lluvia (Rain Flow), ante el paso del grupo de camiones para cada caso de análisis.

En ambos casos se procedió a calcular su vida remanente a fatiga cuyos resultados se muestran en la **Tabla 6**.

Tabla 6

Evaluación de fatiga

Caso	Elemento	Detalle de la categoría B	Evaluación de la vida de la conexión fatigada			
		Tasa anual de crecimiento	Vida Mínima (años)	Evaluación de la vida (años)	Vida Media (años)	Vida
1	187	4.35%	36	41	50	Finita
1	252		-	-	-	Infinita
1	2		24	28	36	Finita
2	187		27	31	39	Finita

Tabla 6

Evaluación de fatiga (continuación)

Caso	Elemento	Detalle de la categoría B	Evaluación de la vida de la conexión fatigada			
		Tasa anual de crecimiento	Vida Mínima (años)	Evaluación de la vida (años)	Vida Media (años)	Vida
2	252		52	58	67	Finita
2	2		7	9	12	Finita

Para el caso 1 se registró ciclos mayores a $(\Delta f)_{TH} / 2$ correspondientes al elemento de la viga transversal y la viga principal resultando que los detalles estructurales tienen vida finita a fatiga mientras que el elemento de la viga longitudinal no superó este umbral y por ende la conexión tiene vida infinita a la fatiga.

Para el caso 2 los tres elementos presentan ciclos que superan el umbral de la constante de fatiga por lo que tiene vida finita a fatiga.

En términos de vida media la viga transversal 187 tiene una vida de 50 años y para el caso 2 de 39 años; la viga principal 2 tiene una vida media de 36 años para el caso 1 y de 12 años para el caso 2. La viga longitudinal 252 para el caso 2 resultó con una vida media de 67 años.

Se debe realizar un monitoreo constante a los elementos críticos del puente con la finalidad de planificar las futuras reparaciones. Si bien el reforzamiento en las conexiones retrasa la evolución del daño, pero bajo cargas de fatiga severas es posible que se vuelva a presentar nuevamente grietas en posiciones débiles distintas a las que fueron reforzadas (Jinhua et al., 2023).

4. Conclusiones

- De acuerdo con la inspección visual in situ del puente La Saquea se pudo evidenciar un deterioro general de la estructura ya que presenta patologías de corrosión especialmente en elementos que conforman la estructura del arco principal. Esto es un indicativo de la insuficiente gestión de mantenimiento y acelera los procesos de fisuración y fractura.
- Las vigas principales son los elementos que mayormente enfrentan esfuerzos a flexión y por ende su vida a fatiga se ve reducida significativa al estar sometidas a las condiciones de cargas críticas. Sobrecargar los vehículos un 50% reduce más de la mitad la estimación de la vida remanente a fatiga. Establecer mecanismos de control de pesaje de los vehículos de carga que circulan en los puentes se considera indispensables para alcanzar una mejor gestión estructural, fundamentales para el desarrollo comercial política y cultural.

- La deflexión registrada por el grupo de camiones es 9.50cm mientras que el límite establecido por carga vehicular es de 12.59cm, por lo tanto, la estructura cumple con el criterio de deflexión. Sin embargo, para la consideración con sobrecarga, la estructura no cumple con este criterio.
- De acuerdo con los resultados se estima que a los 12 años los elementos de las vigas principales se verán afectados por los esfuerzos de carga de los camiones. Los elementos con vida finita requieren monitoreo continuo y una planificación eventual de refuerzos en las conexiones de la soldadura entre patín inferior y alma para garantizar el cumplimiento de la vida útil de diseño.
- De acuerdo con el rango de esfuerzos generados por el paso de grupo de camiones, el puente La Saquea, se clasifica como una *fatiga de ciclo alto*, debido a que los niveles de esfuerzos permanecen dentro del rango elástico y de esta manera no se produce fluencia plástica apreciable.

5. Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

6. Declaración de contribución de los autores

Todos autores contribuyeron significativamente en la elaboración del artículo.

7. Costos de financiamiento

La presente investigación fue financiada en su totalidad con fondos propios de los autores.

8. Referencias bibliográficas

- American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO]. (2024). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (10th ed.). <https://aashtojournal.transportation.org/aashto-issues-10th-lrfd-bridge-design-spec-edition/>
- Berrezueta Torres, J. C., Calle Castro, C. J., & Cárdenas Sánchez, A. E. (2022). Frecuencia del mantenimiento de elementos estructurales de puentes colgantes de cinco toneladas en Morona-Santiago. *Alfa Publicaciones*, 4(2.1), 45–61. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i2.1.193>
- Bi, J. H., Chen, H. L., & Ren, H. P. (2012). Analysis on fatigue life of contact wire based on rain-flow counting method. *Tiedao Xuebao / Journal of the China Railway Society*, 34(6), 34–39.

<https://www.researchgate.net/publication/286977393> Analysis on fatigue life of contact wire based on rain-flow counting method

Cevallos Sánchez, K. V., Maldonado Noboa, J. S., Mantilla Suin, S. P., & Maldonado Noboa, C. H. (2023). Formación académica de los ingenieros civiles en la competencia de rigidez en el tablero de puentes. *Revista Conrado*, 19(95), 51–65. <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/3398>

Fuštar, B., Lukačević, I., & Dujmović, D. (2018). Review of fatigue assessment methods for welded steel structures. *Advances in Civil Engineering*, 2018(1), 3597356. <https://doi.org/10.1155/2018/3597356>

Gbagba, S., Maccioni, L., & Concli, F. (2024). Advances in machine learning techniques used in fatigue life prediction of welded structures. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(1), 398. <https://doi.org/10.3390/app14010398>

Gokanakonda, S., Ghantasala, M. K., & Kujawski, D. (2016). Fatigue sensor for structural health monitoring: Design, fabrication and experimental testing of a prototype sensor. *Structural Control and Health Monitoring*, 23, 237–251. <https://doi.org/10.1002/STC.1765>

Intriago Santana, M. A., & Lindao Tomalá, P. J. (2024). Structural evaluation of the steel girder deck of the bridge over the Bulubulu River, Guayas province. *Conciencia Digital*, 7(3), 168-192. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i3.3140>

Jaramillo Guzmán, J. A., & Villavicencio Ochoa, F. S. (2022). *Determinación de las solicitudes de superestructuras de puentes comparando su comportamiento ante la acción de los camiones de diseño AASHTO HL-93 y HS-MTOP* [Tesis de pregrado, Universidad del Azuay, Cuenca, Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12186>

Jinhua, T., Youwei, J., Yueguang, L., & Yang, L. (2023). Research on fatigue vulnerable details of cross beam joints after reinforcement for steel truss bridges. *Informes de la Construcción*, 75(572), e521. <https://doi.org/10.3989/IC.6273>

Kermajani, M., Ghaini, F. M., Miresmaeili, R., Aghakouchak, A. A., & Shadmand, M. (2016). Effect of weld metal toughness on fracture behavior under ultra-low cycle fatigue loading (earthquake). *Materials Science and Engineering: A*, 668, 30–37. <https://doi.org/10.1016/J.MSEA.2016.03.086>

Lei, J., Kong, Q., Wang, X., & Zhan, K. (2022). Strain monitoring-based fatigue assessment and remaining life prediction of stiff hangers in highway arch bridge. *Symmetry*, 14(12), 2501. <https://doi.org/10.3390/sym14122501>

- López Delgado, A. G. (2016). *Análisis de fatiga del tramo de armadura del puente Coatzacoalcos I* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/handle/132.248.52.100/10836>
- Maldonado Noboa, J. S. (2016). *Análisis de fatiga de un puente atirantado* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/11349>
- Marín-Guzmán, C. R., & Maldonado-Noboa, J. S. (2022). Estudio de las causas del colapso de puentes en Ecuador (2000-2022). *MQRInvestigar*, 6(4), 368–395. <https://doi.org/10.56048/mqr20225.6.4.2022.368-395>
- Marsh, G., Wignall, C., Thies, P. R., Barltrop, N., Incecik, A., Venugopal, V., & Johanning, L. (2016). Review and application of Rainflow residue processing techniques for accurate fatigue damage estimation. *International Journal of Fatigue*, 82, 757–765. <https://doi.org/10.1016/J.IJFATIGUE.2015.10.007>
- Regalado Herrera, A. D. (2022). *Evaluación del tráfico vehicular para determinar la capacidad vial y el nivel de servicio del tramo desde la abscisa 28 + 000 hasta la 34 + 000 de la vía Loja-Zamor* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/63881>
- Tang, Z., Chen, Z., He, Z., Hu, X., Xue, H., & Zhuge, H. (2021). Experimental and numerical study of combined high and low cycle fatigue performance of low alloy steel and engineering application. *Materials*, 14(12), 3395. <https://doi.org/10.3390/ma14123395>
- Wei, Z., Qian, X., Xing, S., & Jin, H. (2025). A unified structural strain method for high- and low-cycle fatigue of welded cruciform joints made from various base metals. *Journal of Constructional Steel Research*, 227, 109327. <https://doi.org/10.1016/J.JCSR.2025.109327>
- Yang, H., Lu, X., Wang, P., & Qian, H. (2025). Effects of variable amplitude load and stress ratio on fatigue performance of orthotropic steel decks: an experimental study. *Journal of Constructional Steel Research*, 227, 109353. <https://doi.org/10.1016/J.JCSR.2025.109353>
- Zhang, L., Jiang, B., Zhang, P., Yan, H., Xu, X., Liu, R., Tang, J., & Ren, C. (2023). Methods for fatigue-life estimation: a review of the current status and future trends. *Nanotechnology and Precision Engineering*, 6(2), 025001. <https://doi.org/10.1063/10.0017255>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



Open policy finder
Formerly Sherpa services