

CONFIABILIDAD EN PUENTES VEHICULARES CON SISTEMA RESISTENTE DE ARMADURAS

Ramírez Vázquez Norma Angélica, Hernández Martínez Alejandro

Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato | na.ramirezvazquez@ugto.mx

Departamento de Ingeniería Civil, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato | alejandro.hernandez@ugto.mx

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio de las fuerzas que actúan en los elementos estructurales del puente “Infiernillo” bajo cargas vehiculares reales. El puente se encuentra sobre la carretera de cuota Morelia-Lázaro Cárdenas, en el estado de Michoacán, teniendo la particularidad de ser un puente cuya superestructura es de armaduras, siendo poco común en el país. Las fuerzas de los vehículos se aplican mediante registros tipo WIM (weigh-in-motion) de poco más de cuatro millones de vehículos, con lo cual se realiza un análisis estadístico de la magnitud de fuerzas que los vehículos generan en la estructura y se comparan con las fuerzas que genera el vehículo que se empleó para el diseño del puente. Los resultados muestran el porcentaje de vehículos que producen una mayor fuerza axial a lo largo de las barras que conforman la armadura, en comparación con la producida por el vehículo de diseño usado (T3-S2-R4); es decir la excedencia que existe. Los resultados nos permiten visualizar la forma en que los vehículos de diseño son representativos de las cargas reales actuantes, considerando que el tráfico es un elemento cambiante, lo que permitirá estimar el comportamiento del puente a mediano y largo plazo ante la evolución de las cargas y de la frecuencia de ocurrencia de las mismas que permitan la toma de decisiones para mantener el puente seguro en su operación. Los resultados sugieren que el número de veces que las fuerzas son excedidas por el tráfico real respecto al de diseño requieren un estudio mas detallado cuando mucho a mediano plazo.

Abstract

Forces acting on structural members of “El Infiernillo” bridge under realand code vehicular loads are presented on this paper. The bridge is located on toll road Pátzcuaro–Lázaro Cárdenas in Michoacan state. This bridge is erected by a truss structure, which is unusual in México. Vehicular real forces are applied to the bridge using a WIM (weigh-in-motion) database with more than four million data. Obtained results permit to statistically analyze the results and compare them with code forces generated by design vehicle (T3-S2-R4). To analyze the database AMER 2.0 © software is used to optimize computational time. Results permit to visualize the way how code vehicles are representative of real traffic and considering tan magnitude and frequency of traffic are changing, this type of analysis permit to estimate de behavior of the bridge to median and long term. This is an important issue to keep the bridge operation safe and secure for adequate use. Results suggest that acting forces caused by real traffic on structural elements are exceeded in a considerable number of times that require a better study in medium term at most.

Palabras Clave

Puente carretero; análisis de cargas vivas; vehículos de diseño; armadura

INTRODUCCIÓN

Los puentes son una de las invenciones humanas más importantes, ya que han facilitado enormemente las actividades que nuestra sociedad realiza día con día, pero, así como las facilitan las pueden complicar, e inclusive poner en riesgo vidas si no son construidos y/o mantenidos de manera adecuada.

Dentro del campo de la ingeniería civil y según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), un puente es una estructura con longitud del al menos seis metros que se construye sobre corrientes o cuerpos de agua, cuyas especificaciones quedan definidas por razones hidráulicas y topográficas. Existen diferentes tipos de puentes: Puentes en ménsula, colgantes, atirantados, pórtico, en arco, viga, de armadura, etc.; estos últimos fueron el objeto de nuestra investigación porque en México es común encontrarlos con que constantemente están siendo reforzados; pero... ¿Qué sucede? ¿Por qué si fueron calculados y revisados previamente y durante su colocación se tiene la necesidad de seguir cambiando su geometría aplicando nuevas placas o cambiando piezas? No se puede tener una respuesta única para cualquier caso, pero si se pueden realizar análisis que nos permitan descartar algunas de las posibles razones y que redireccionen y disminuyan el campo de búsqueda; además, que en base a ellos no sólo se conozcan las razones de si es necesario reforzarlos, sino el riesgo que representarían para la sociedad en lo que resta de su periodo de vida útil de seguir en las condiciones en que se encuentra y encontrar maneras de solucionarlo.

En la actualidad, por cuestiones de optimización de tiempo y dinero, el diseño de puentes con sistema resistente de armaduras se lleva a cabo tomando en cuenta únicamente el efecto que estos tienen bajo ciertas cargas vivas o camiones de diseño, que el ingeniero considera pueden llegar a ser las más críticas cuando éstos se encuentren en servicio. Los camiones de diseño los define la SCT mediante reglamentaciones de diseño aplicables a nuestro país, sin embargo, estos documentos no hacen distinción del tipo de estructura del puente, ya que la mayoría de los existentes en nuestro país son puentes tipo viga, y no se tiene la certeza que otros tipos de estructuras tengan un comportamiento similar. En la actualidad se han realizado un gran número de estudios para puentes tipo viga, ya que, aunque no de manera global, se han analizado bajo cargas vehiculares reales, lo que cambia de manera notable las fuerzas internas y reacciones que se obtienen en comparación con las generadas únicamente por los camiones de diseño y que algunas veces los llegan a superar; este tipo de análisis permite además evaluar de qué forma se podrían construir estructuras de puentes que respondan de manera favorable a las demandas que tienen en toda su vida útil; es por ello que la el estudio del comportamiento de puentes de armaduras, que son poco comunes en nuestro país, permitiría que al compararlos con los obtenidos por sus cargas de diseño nos dé una idea de las relación que existe entre ambos casos para encontrar un factor estándar representativo que permita tomar decisiones para prevenir las fuerzas que el tráfico le puede generar en el presente y en los años por venir, cubriendo todos o la mayoría de los requerimientos que tendrá el puente, sin descuidar la cuestión económica, ya que la posibilidad de que algunas cargas críticas que pueden llegar a presentarse ocurren de manera esporádica y por ello pueden reducir costos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se tomó en cuenta el puente “El Infiernillo”, éste se encuentra ubicado en el kilómetro 133.9 de la autopista Siglo XXI, Pátzcuaro – Lázaro Cárdenas; además forma parte del corredor carretero Manzanillo - Tampico con ramal a Lázaro Cárdenas y Ecuandureo, y cruza el río Balsas.

Este puente tiene una longitud de 525 metros, y fue seleccionado por ser uno de los pocos con sistema resistente de armaduras en México, y de los más cercanos al estado de Guanajuato, contando con cinco tramos de armadura metálica, formados por arcos y sistemas de piso de acero estructural, con losas de rodamiento de concreto reforzado de 0.18 metros de espesor. Todas estas características lo vuelven ideal para el estudio que le queremos dar. Su construcción fue idealizada para beneficiar a usuarios provenientes de la Zona del Altiplano, de El Bajío y del norte del país, con la finalidad de que aumentara el intercambio

comercial y turístico de la zona, impulsando el crecimiento y desarrollo del Puerto de Lázaro Cárdenas a un menor costo de operación. El puente fue construido entre los años 2000 y 2003, y desde entonces ha estado en constante modificación, ya que se le han colocado refuerzos, acción que lo ha vuelto, para expertos en la materia, un objetivo de búsqueda de una solución o explicación de lo que está ocurriendo.

Para este trabajo se considera el análisis de la armadura principal de uno de los tramos, como el que se muestra en la IMAGEN 1, en donde los números mostrados se emplean para identificar las barras que forman el sistema estructural.

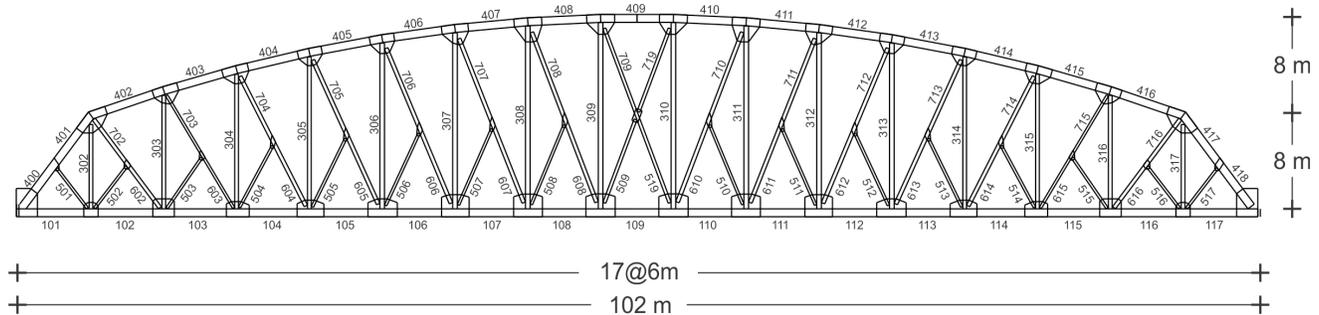


IMAGEN 1 Armadura principal del puente

Para comenzar los estudios pertinentes se recolectó toda la información necesaria para realizar el estudio de la armadura por el método de análisis estructural de nuestra preferencia; en este caso fue el Método de Rigideces, para el cual, en el caso de armaduras, es necesario conocer: la ubicación de los nodos que la conforman; la dirección que tienen sus barras y su longitud; el módulo de elasticidad del material utilizado para su construcción y el área de la sección transversal de las barras que lo conforman. Para analizar la estructura bajo las condiciones mencionadas, se emplea el software AMER 2.0 © [1], el cual está disponible para su descarga gratuita para estudiantes y público en general en el sitio web www.di.ugto/GEMEC. El software permite analizar estructuras de diferentes tipos bajo condiciones de carga estática, cargas móviles y que cuenta con la capacidad de leer los registros de bases de datos que generan las estaciones de registro tipo WIM (weigh-in-motion).

Los pesajes dinámicos tipo WIM son una opción viable para registrar características de tráfico de manera imperceptible. Esta metodología de aforo se describe esquemáticamente en la IMAGEN 2 y consta de dos partes principales: (1) Lasos de inducción magnética que permiten determinar la velocidad a la que viaja el vehículo y la disposición geométrica de los ejes de cada vehículo, (2) Sensor capacitivo piezoeléctrico que permite determinar la carga en cada uno de los ejes del vehículo. Para este estudio se emplea la base de datos reportada en estudio previos realizados por García-Soto et al. [2] y Hernández-Martínez et al. [3].

Como primer paso se recurrió a los planos originales del puente en AutoCAD; la vista frontal nos permitió identificar la geometría de la estructura, con ella pudimos numerar tanto nodos como barras, y a estas últimas asignarles una dirección, ya que esto es indispensable para el método a usar. Ya identificados los elementos barra que constituyen la armadura los separamos en seis grupos para facilitar el análisis y evitar confusiones, estos fueron: Cuerda superior (400-418), cuerda inferior (101-117), montantes (302-317), diagonales largas superiores (702-716), diagonales largas inferiores (602-616) y diagonales cortas inferiores (501-517); este último grupo fue poco tomado en cuenta, debido a que representa barras que se encuentran unidas únicamente a dos barras colineales, por lo que por principios de armaduras, éstas tienen un valor casi nulo o cero.

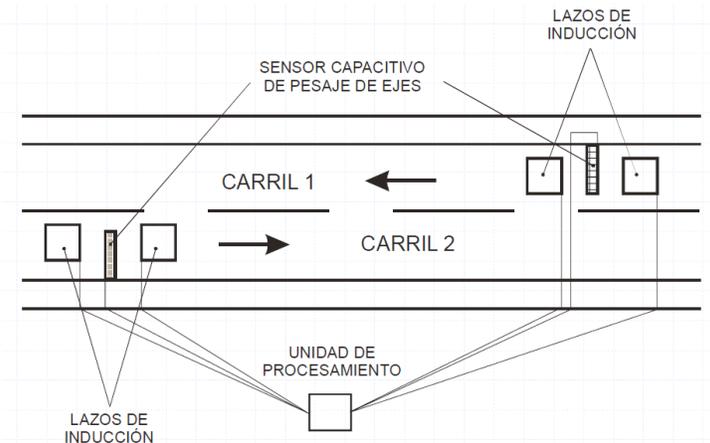


IMAGEN 2 Sistema tipo WIM en una carretera de dos carriles

Con ayuda de los planos que contenían los cortes longitudinales de las barras de la armadura pudimos obtener las áreas que necesitábamos, identificando algunos perfiles comerciales y consultándolos en bibliografías. Como siguiente paso modelamos la estructura en el programa para diseño de puentes LARSA 4D, donde obtuvimos posteriormente las envolventes de fuerza a lo largo de las barras cuando estaba actuando el vehículo de diseño de la SCT utilizado como crítico por los constructores del puente (T3-S2-R4); después, en AMER 2.0 © se probó tanto el vehículo de diseño T3-S2-R4 como el T3-S3 para identificar si en algún caso el segundo podía generar fuerzas más críticas debido a la diferente distribución de su peso sobre los ejes, y así tener otro punto de referencia que apoyara la investigación. Finalmente se estudiaron las barras del puente utilizando los aforos vehiculares de los más de cuatro millones de vehículos durante aproximadamente 84 días de prueba.

Como último paso se hizo una comparación entre las fuerzas máximas generadas en cada una de las barras que componen la armadura por los vehículos de diseño y los vehículos que realmente pasan, calculando el porcentaje de excedencia que éstos últimos generan respecto a los primeros y obteniendo una relación dividiendo fuerzas de diseño entre fuerzas reales generadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los porcentajes de veces que las fuerzas de diseño son excedidas por el tráfico real para las cuerdas superior e inferior, las cuales solamente están sometidas a fuerzas de tensión y compresión, respectivamente; además de los montantes. Como puede verse, las veces que las fuerzas de diseño son excedidas son de poco más del 2% en el caso de las cuerdas, y mayor de hasta el 15% en las barras más críticas en su interior, sin embargo, se debe considerar que para el número de vehículos registrados esto representa que, en términos generales, en un plazo de tres meses (que es lo que se considera de registro de base de datos) se rebasan más de hasta 600 mil veces las fuerzas que el camión de diseño (T3-S2-R4) impone sobre cada elemento estructural. Como información adicional se incluyen el porcentaje de excedencia del camión T3-S2, que, aunque no fue considerado como camión de diseño, puede verse que los niveles de excedencia implican que en términos globales, en los tres meses de aforo, se sobrepasan las fuerzas de diseño en más de 17 mil veces.

Tabla 1 Excedencia de las fuerzas de diseño en grupos de barras más críticas

Barra	Excedencia en tensión		Barra	Excedencia en Compresión		Barra	Excedencia en Compresión	
	T3-S3	T3-S2-R4		T3-S3	T3-S2-R4		T3-S3	T3-S2-R4
101	0.884%	2.119%	400	0.884%	2.119%	302	13.467%	15.193%
102	0.884%	2.119%	401	0.884%	2.119%	303	0.348%	0.068%
103	0.881%	2.104%	402	0.881%	2.104%	304	0.425%	0.093%
104	0.882%	2.102%	403	0.882%	2.102%	305	0.513%	0.126%
105	0.881%	2.098%	404	0.882%	2.099%	306	0.652%	0.174%
106	0.881%	2.098%	405	0.881%	2.098%	307	0.876%	0.273%
107	0.878%	2.096%	406	0.878%	2.096%	308	0.238%	0.066%
108	0.873%	2.093%	407	0.874%	2.093%	309	0.232%	0.068%
109	0.895%	2.112%	408	0.870%	2.089%			
			409	0.895%	2.112%			

CONCLUSIONES

El que las fuerzas de diseño sean rebasadas no implica que el puente esté en peligro inminente de colapso, pero si es un llamado de atención para tomar medidas a corto y mediano plazo. Adicionalmente se debe recordar que este puente ya ha tenido intervenciones de refuerzo y mejoramiento, mientras que los análisis se consideraron con los planos de construcción originales. Por otra parte, la magnitud y el número de veces que son excedidas las fuerzas hace pensar que los modelos de diseño no son los adecuados para este tipo de estructuras, ya que los vehículos de diseño se han optimizado para puentes tipo viga, debido al gran número de dicha tipología de puentes, pero tal vez no sea adecuado emplearse en otros tipos de estructuración. Es necesario emplear modelos 3D que sean mas representativos del puente real, pero los resultados aquí encontrados permiten ver que la intervención y reforzamiento de este puente puede ser inminente.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Alejandro Hernández por haber confiado en mí para el desarrollo de esta investigación, y por dedicar su tiempo y paciencia para enseñarme cosas nuevas que estoy segura me servirán tanto en el presente como en el futuro; gracias a mi familia, principalmente a mis padres, por siempre darme su apoyo en todos los sentidos, me han facilitado todo lo que está a su alcance para cumplir mis metas sin obstáculos; a mis mejores amigos y amigos que día con día me dan ánimos de seguir cumpliendo mis sueños. Gracias a mi Universidad de Guanajuato por darme esta oportunidad.

REFERENCIAS

- [1] Hernández-Martínez, A. (2018). AMER 2.0 – Análisis Matricial de Estructuras Reticulares. Universidad de Guanajuato. Disponible de forma gratuita en: www.di.ugto.mx
- [2] García-Soto, A.D, Hernández-Martínez, A. y Valdés-Vázquez J.G (2015). Probabilistic assessment of a design truck model and live load factor from weigh-in-motion data for Mexican highway bridge design. Canadian Journal of Civil Engineering. Vol. 42(11), pp. 970-974. doi: [dx.doi.org/10.1139/cjce-2015-0216](https://doi.org/10.1139/cjce-2015-0216).
- [3] Hernández-Martínez, A. García-Soto, A.D. Hernández-Barrios, H y Valdés-Vázquez, J.G (2018). Deterministic and probabilistic assessment of live load effects on an existing truss bridge. 10th International Conference on short and medium span bridges. Quebec City, Quebec, Canada. July 31–August 3.