

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE TRABES DE CONCRETO PRESFORZADO PARA PUENTES CARRETEROS

Ramírez García, Mariana (1), Hernández Martínez, Alejandro (2)

¹ [Licenciatura en Ingeniería civil, Universidad de Guanajuato] | [mrmzgar@gmail.com]

² [Departamento de Ingeniería civil, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] |
[alejandro.hernandez@ugto.mx]

Resumen

Dadas las exigencias actuales, el diseño de puentes carreteros debe cumplir con solicitaciones estrictas de servicio, para garantizar seguridad y comodidad a los usuarios. En los últimos años, la tecnología ha provocado un aumento en la capacidad de carga de los camiones, por lo que cada vez transitan vehículos más pesados en los caminos mexicanos, los cuales exceden el peso bruto vehicular máximo (60.5 ton¹ [1]). Este proyecto propone una comparativa del análisis de trabes AASHTO con concreto presforzado a partir de un análisis computacional de un modelo 3D del puente con métodos de elementos finitos en el software *LARSA 4D* versus el método convencional de análisis líneas de influencia. En base a los resultados obtenidos, la interpretación de los mismos se orienta en la comparación de modelar una estructura completa, lo cual arroja elementos mecánicos de menor magnitud, y nos hace reflexionar, ¿estamos diseñando los puentes con las solicitaciones correctas? o ¿intentamos cubrir los excesos de carga de los camiones en el análisis?

Abstract

Given the current requirements, the design of road bridges must meet the strict standards to ensure the safety and comfort for the users. In recent years, technology has caused an increase in the load capacity of trucks making them heavier on the Mexican roads exceeding the maximum gross vehicle weight (60.5 ton¹ [1]). This project proposes a comparison between AASHTO constraint analysis with prescribed concrete from a computational analysis of a 3D bridge model with finite element method in the *LARSA 4D* software and the conventional method of analysis of influence lines. Based on the obtained results, the interpretation of the results is oriented in the comparison of a complete model structure, which obtains the mechanical elements of smaller magnitude, taking into consideration, are we designing the bridges with the correct standards? Or Is it designed to cover the excess loads of the cameras in the analysis?

Palabras Clave

Líneas de influencia; Pretensado; Vehículo de diseño; Envoltentes

¹ Vehículo T3-S1-R3 para camino tipo ET y A

² Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, por sus siglas en inglés

INTRODUCCIÓN

La importancia de los puentes

Los puentes son, para una persona no relacionada al ámbito de la ingeniería de transporte, una parte de un camino que disminuye su tiempo de recorrido y hasta cierto punto debe satisfacer ciertas exigencias estéticas. Y para un ingeniero civil, es una estructura que desempeña una función: salvar un claro, y debe cumplir con requerimientos económicos y de servicio con cierto grado de seguridad para los usuarios.

Constitución de los puentes

El Sistema de Puentes de México SIPUMEX, tiene a su cargo la atención de los 7,231 puentes de la red federal de carreteras libres de peaje, de los cuales el 18% son de concreto presforzado [2], tal y como se muestra en la Imagen 2



IMAGEN 1: Distribución de puentes por tipo de material

En general, el concreto presforzado permite mejorar el comportamiento de servicio y aumentar su resistencia de los elementos al crear esfuerzos permanentes los cuales contrarrestan total o parcialmente los esfuerzos producidos por las cargas que actúan en el elemento. Esto no quiere decir que las trabes no se pueden construir de

concreto reforzado, sino que al disminuir la cantidad de concreto y acero disminuyen los costos.

Códigos de diseño

Actualmente, en nuestro país no se cuenta con un código de diseño para puentes. Se basa en el código estadounidense: AASHTO² LRFD Bridge Design Specifications [4].

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este proyecto se realizaron dos modelos, los cuales son puentes isostáticos de un camino tipo C con un claro de 17 metros y 10.30 metros de ancho. Para el primer modelo se emplearon 7 vigas AASHTO tipo III y para el segundo modelo, 7 vigas AASHTO tipo IV.

Tabla 1: Cargas vehiculares para puentes

Tipo de camino	Cargas vehiculares
Puentes y pasos superiores en carreteras tipo A4, A2, B4	T3-S3 Tipo I o T3-S2-R4 Tipo IA
Puentes y pasos superiores en carreteras tipo B2	1 carril cargado con T3-S3 Tipo I o T3-S2-R4 Tipo I y 1 carril cargado con HS-20
Puentes y pasos superiores en carreteras tipo C	1 carril cargado con T3-S3 Tipo II o T3-S2-R4 Tipo II y 1 carril cargado con HS-20
Puentes y pasos superiores en carreteras tipo D	1 carril cargado con T3-S3 Tipo II y 1 carril cargado con HS-20
Puentes y pasos superiores en carreteras tipo E	Todos los carriles cargados con HS-20
Puentes inferiores vehiculares de servicio local	Todos los carriles cargados con HS-20

De acuerdo con la Tabla 1, los camiones de diseño de carga viva son un carril cargado con T3-

S3 Tipo II o T3-S2-R4 Tipo II y un carril con HS-20, cuya distribución se observa en la Imagen 2.

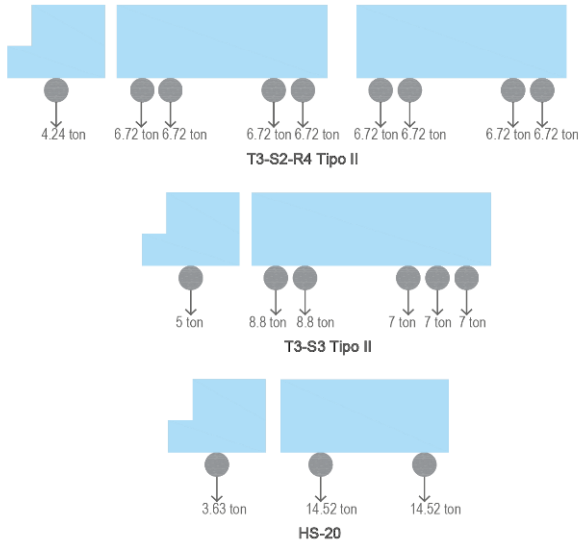


IMAGEN 2: Camiones de diseño en México

Método convencional de análisis —Líneas de influencia—

Este método permite el análisis de cargas cuya posición no es fija en la estructura, para determinar reacciones, cortantes y momentos flexionantes de vigas. Se obtiene una gráfica de elementos mecánicos máximos en función de la posición de una carga unitaria, como se ilustra en la Imagen 3, que se mueve a lo largo de la estructura [3].

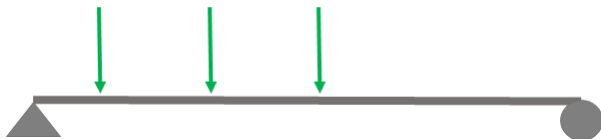


IMAGEN 3: Viga isostática con cargas puntuales

Una de las desventajas de seguir utilizando líneas de influencia es que el análisis se vuelve muy iterativo y debido a que las hipótesis del análisis son para puentes simples y muy específicos, limitan la versatilidad del diseño de puentes.

Análisis en este proyecto

A diferencia de los métodos convencionales, en este proyecto se modelan los puentes de manera tridimensional, generando modelos como el que se muestra en la Imagen 4.

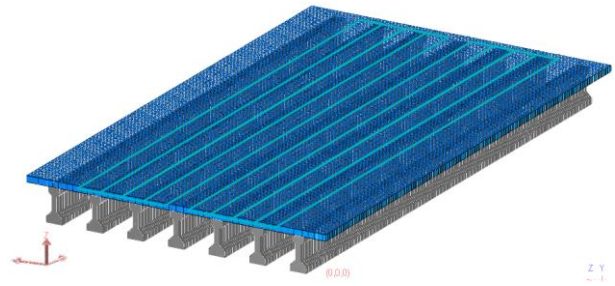


IMAGEN 4: Vista isométrica de modelo 1, con carriles.

Al estudiar el puente como una estructura compuesta de varios elementos relacionados entre sí, además, se consideraran las propiedades de los materiales y de la secciones, lo que deriva que el análisis sea más representativo de la estructura real.

Al transitar un camión de diseño, como los mostrados en la Imagen 2, la losa distribuye los esfuerzos en todas las traveses. De esta manera, en la Imagen 5, se muestra la envolvente de momentos de los camiones de diseño circulando por uno de los carriles del puente.

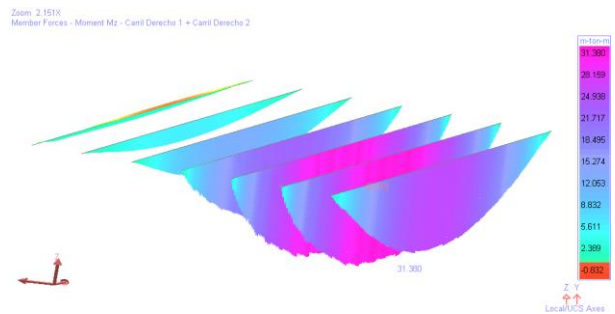


IMAGEN 5: Envolvente de momento-carril derecho (Modelo 1)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Líneas de influencia vs. Análisis 3D

Los elementos mecánicos máximos obtenidos por líneas de influencia para cada tipo de camión son:

Tabla 2: Momentos máximos por líneas de influencia

Tipo de camión	M _{max}
	Líneas de influencia
T3-S2-R4 Tipo II	127.08 ton-m
T3-S3 Tipo II	110.74 ton-m
HS-20	100.89 ton-m

Es necesario recalcar que en el análisis con líneas de influencia no se diferencian los distintos tipos de viga, por lo que, los elementos mecánicos máximos serán los mismos mientras el claro sea de igual dimensión. En contraste con el análisis en 3D, este último toma en cuenta la estructura completa como se mencionó en la sección anterior, y se obtuvieron los resultados expuestos en la Tabla 3.

Tabla 3: Momentos máximos de envolventes con análisis 3D

Carril	M _{max}
	Análisis 3D
Vigas AASHTO Tipo III	
Derecho	31.38 ton-m
Izquierdo	31.381 ton-m
Vigas AASHTO Tipo IV	
Derecho	38.823 ton-m
Izquierdo	38.823 ton-m

Resulta importante mencionar que los elementos mecánicos obtenidos por líneas de influencia no

son los mismos con los que se diseñan los elementos estructurales del puente, sino que es obligatorio el uso de factores obtenidos de códigos de diseño [4]. Y los resultados obtenidos en el análisis tridimensional requieren de combinaciones de carga para encontrar los casos más desfavorables. Por lo mencionado, podemos comparar directamente los resultados obtenidos por ambos métodos.

Análisis resistencia de vigas de concreto presforzado (pretensado)

Con base en la teoría de análisis por flexión del concreto presforzado [5], se realizó dicho análisis para vigas de concreto pretensado con las dos secciones AASHTO (Tipo III y IV) con seis torones de acero grado 270 ksi (con siete alambres de tres octavos de pulgada de diámetro). El factor de seguridad con respecto al momento nominal a la flexión se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Eficiencia respecto a momento nominal a la flexión

Viga	M _{max}		M _n	F.S.	
	Ll..	Análisis 3D		Ll..	Análisis 3D
AASHTO Tipo III	127.08 ton-m	31.381 ton-m	142.42 ton-m	1.12	4.54
AASHTO Tipo IV		38.82 ton-m	174.77 ton-m	1.38	4.50

CONCLUSIONES

Debido a que los usuarios de los caminos no son conscientes de los daños a la estructura de los puentes que se generan al transitar vehículos con sobrepeso, los métodos convencionales cubren dicho exceso de peso, de manera que los puentes son más costosos y menos eficientes.

Esta investigación continuará y concluirá en un trabajo de tesis con el diseño de las traves de

concreto presforzado, esperando que se fomente el uso de nuevos métodos, por lo que es un comienzo para que los puentes en nuestro país dejen de ser tan convencionales.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al doctor en ingeniería Alejandro Hernández Martínez por compartirme sus conocimientos y paciencia durante este proyecto y enseñarme una nueva visión de las estructuras en México. Así como a la Universidad de Guanajuato por promover la investigación dentro la comunidad universitaria.

REFERENCIAS

[1] Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2014). NOM-012-SCT-2-2014, Pg. 31-32.

[2] Instituto Mexicano del Transporte (2008). Publicación Técnica No. 348 "Evaluación electroquímica de cables postensados con aplicación estructural en el sector transporte", Pg. 19.

[3] Kassimali, A., (2015). Análisis estructural (5ta ed.). CENGAGE Learning.

[4] American Association of State Highway and Transportation Officials, (2012). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Whashington, DC.

[5] Nilson, H., (1982). Diseño de estructuras de concreto presforzado. Noriega Limusa.