

# ANÁLISIS DE TABLEROS DE PUENTES CON VIGAS DE REFUERZO EN SENTIDO DE CIRCULACIÓN VEHICULAR

Andrade Moreno Carlos Daniel (1); Dr. Valdés Vázquez Jesús Gerardo (2)

1 Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato Dirección de correo electrónico: webugto@ugto.mx

2 Departamento de Ingeniería Civil, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato

## Resumen

En el presente trabajo se realizó un análisis de un puente vehicular con vigas de refuerzo diseñado con las especificaciones y normas técnicas correspondientes bajo diferentes condiciones de carga con la finalidad de determinar los elementos mecánicos internos generados y la condición de carga crítica del puente por medio de un análisis por el método de elementos finitos.

## Abstract

In this present work we made an analysis of a bridge deck reinforced with beams designed with the corresponding specifications and technical standards under different load conditions in order to determine the internal mechanical elements generated and the critical load condition by using the finite element method analysis.

## Palabras Clave

Ortótropo; Inercia; Momento; Losa; Trabe.

## INTRODUCCIÓN

La insaciable curiosidad del ser humano a generado un desarrollo exponencial de la tecnología, abriendo nuevos horizontes en el campo de la ciencia y expandiendo los límites más allá de lo imaginado. El sector de la ingeniería es uno de los principales agentes que potencializan este desarrollo, haciendo uso de teorías vanguardistas y revolucionarias que desafían los más grandes misterios de la naturaleza.

Una de las principales ramas de la ingeniería que ha permitido y fomentado el desarrollo y aumento de la calidad de vida humana es la ingeniería civil y paradójicamente es una de las más antiguas. Esto supone un gran reto para la ingeniería civil hoy en día ya que muchos de los procesos y métodos de análisis y diseño están basados en fundamentos empíricos formulados hace ya algún tiempo atrás, sin embargo y gracias a las nuevas herramientas computacionales y teorías desarrolladas en la actualidad es posible indagar y conocer el comportamiento de los sistemas estructurales complejos con una aproximación más apegada a la realidad y simular la estructura bajo diferentes condiciones para lograr así una optimización en el elemento.

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se recurrió no sólo a diversas fuentes bibliográficas sino además a diferentes herramientas de cálculo y simulación. Entre los principales recursos utilizados se encuentran referencias de la AASHTO [1] (American Association of State Highway and Transportation Officials), el manual de proyecto geométrico de carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes [2], publicaciones técnicas del Instituto Mexicano del Transporte [3], así como a diversos libros tales como Stresses in beams, plates, and shells de Ugural, Ansel [4]. Thin plates and shells, theory, analysis and applications de Ventsel, Eduard y Krauthammer, Theodor [5] y Theory and Analysis of Elastic Plates and Shells, Reddy J. N. [6]. Para el cálculo y post-proceso se utilizó el programa Gid basado en elementos finitos y Fortran.

El presente trabajo consistió en el análisis de tableros de puentes con vigas de refuerzo en sentido vehicular bajo diferentes condiciones de

carga con la finalidad de determinar la condición más desfavorable y los elementos mecánicos internos que esta genera sobre el puente vehicular. A diferencia de los análisis convencionales donde se simula el problema mediante vigas simplemente apoyadas con cargas distribuidas y una superficie de rodamiento en este caso losa de concreto, la simulación de este proyecto contempla a toda la estructura como un elemento ortótropo trabajando en conjunto como un medio continuo. Dicho análisis se desarrollo en base a las teorías de mecánica del medio continuo y elementos finitos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para comenzar con el proyecto de investigación el primer paso consistió en definir las características del puente vehicular basado en el proyecto geométrico de carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes así como en el manual de la AASHTO. Las propiedades y dimensiones de las tranes utilizadas se muestran en la Figura.1.

Las dimensiones de la losa se muestran en la Figura.2.

Una vez determinadas las características del puente vehicular se prosiguió a encontrar las cargas que actuarán sobre el puente, simulando el paso de un vehículo sobre la superficie de rodamiento. En el sistema de cargas seleccionado se tomó en cuenta el peso máximo establecido por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes representado por un camión de carga tipo T3-S3 y T3-S2-R4. El sistema de cargas seleccionado se representa en la Figura.3.

Donde las cargas CV2 = 435,4 kN (44,4 t), CV3 = 698,2 kN (71,2 t) y CV1 = 88,3 kN (9,0 t); la suma de éstos es el peso vertical total de 1 222 kN (124,6 t) y donde la carga distribuida "w" se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$w = 10(L - 30)/60 \text{ (kN/m)}$$

$$w=0$$

Donde:

W = Carga uniformemente distribuida, (kN/m)

L = Longitud del claro, (m).

Las distancias,  $d_1$  y  $d_2$ , del sistema de cargas concentradas del modelo de cargas vivas se determinaron según las especificaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes,  $d_1 = 5$  m y  $d_2 = 9$  m. La Figura.3 muestra el sistema de cargas. Para lograr una correcta simulación y obtener resultados lo más parecido a la realidad posible fue necesario determinar una ecuación constitutiva que representara el trabajo en conjunto del elemento considerando las traveses y losa como un medio continuo ortótropo, para lo cual fue necesario determinar el módulo de elasticidad, la rigidez torsional de la viga y el momento de inercia de la sección.

Por último, se creó un programa en Fortran para determinar los elementos mecánicos internos de la estructura mediante elementos finitos y se realizó un post-proceso haciendo uso del software Gid con el cual se logró obtener una representación animada del comportamiento de la estructura. Cabe mencionar que se analizaron 10 casos de carga diferentes para encontrar de esta forma, las condiciones de carga críticas de la estructura. Los 10 diferentes casos se describen a continuación.

- 1.- Camión transitando por carril derecho.
- 2.- Camión transitando por carril izquierdo.
- 3.- Camión realizando cambio de carril.
- 4.- Dos camiones transitando al mismo tiempo en el mismo sentido.
- 5.- Dos camiones transitando el mismo carril, uno de tras del otro.
- 6.- Dos camiones en diferente carril uno detrás del otro.
- 7.- Dos camiones diferente sentido carriles interiores.
- 8.- Dos camiones diferente sentido carriles exteriores.
- 9.- Dos camiones diferente sentido carril interior y exterior.
- 10.- Cuatro camiones al mismo tiempo en ambos sentidos.

TRABES TIPO AASHTO

TIPO	I	II	III	IV	V
Peralte	71	91	115	135	160
A (cm <sup>2</sup> )	1,743	2,325	3,829	4,974	6,463
I (cm <sup>4</sup> )	926,273	2,056,690	5,257,638	10,261,070	21,595,200
y1 (cm)	32.00	40.07	51.2	61.5	81.3
y2 (cm)	39.00	51.00	63.8	73.5	73.84
Wo (Kg/m)	418	558	871	1,194	1,551

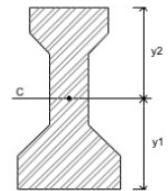


Figura.1

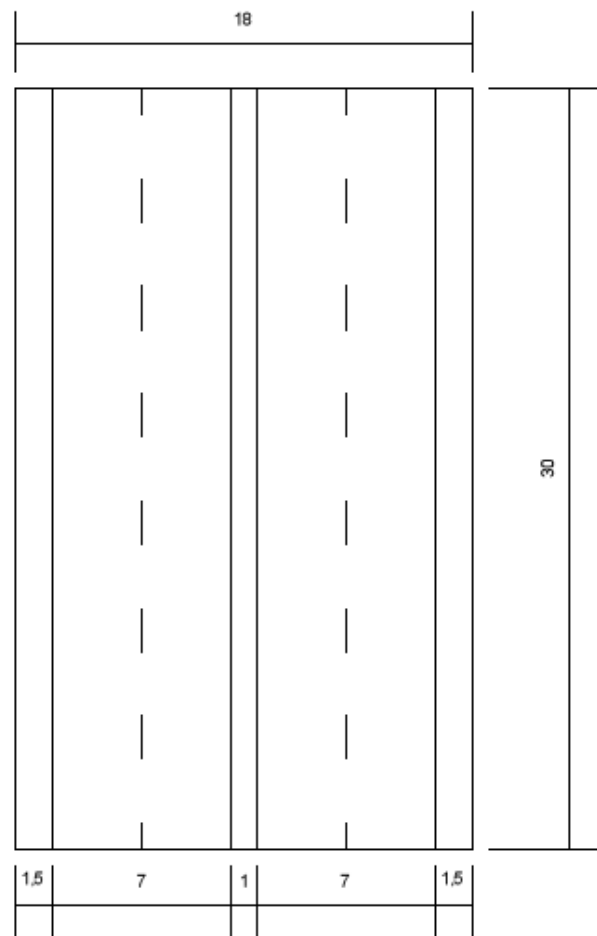


Figura.2

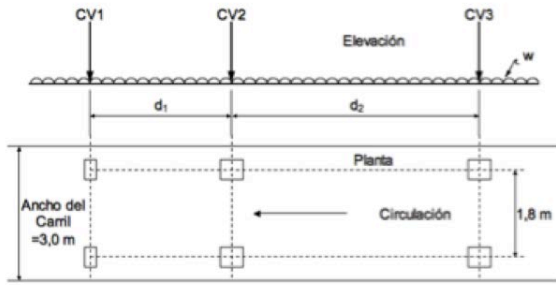


Figura.3

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se muestran a continuación, las unidades utilizadas fueron kilogramo-metro.

Momento máximo en el eje X

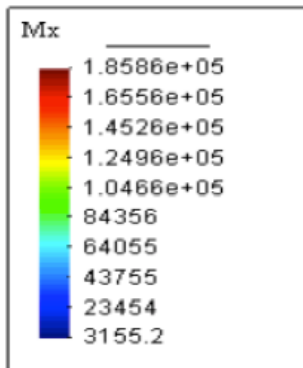
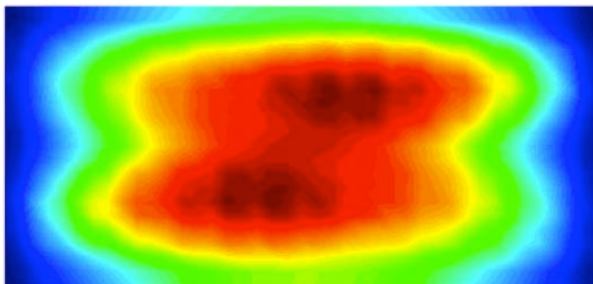


Figura.4

Desplazamiento máximo en el eje Z

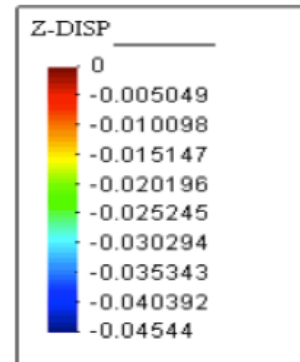
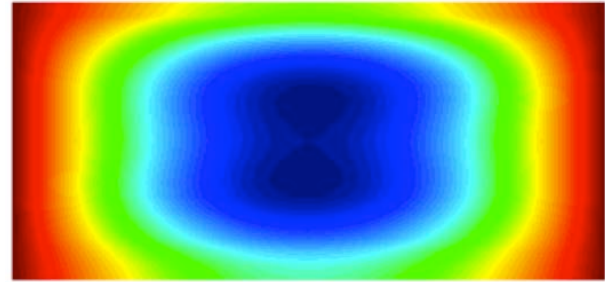


Figura.5

Los momentos en el eje Y y los momentos combinados XY no se ilustran en el reporte ya que son irrelevantes en comparación con los momentos generados en el eje X, de igual forma, los desplazamientos en los ejes X y Y son cero debido a las condiciones de apoyo designadas al puente vehicular.

La Figura.6 ejemplifica la simetría observada bajo todos los diferentes análisis de cargas. Mientras que en la Figura.7 se puede observar el comportamiento de los momentos en X de un punto en específico del puente vehicular durante todos los casos de carga con las envolventes máxima y mínima.

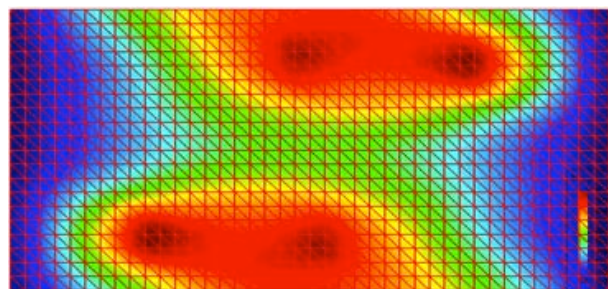


Figura.6

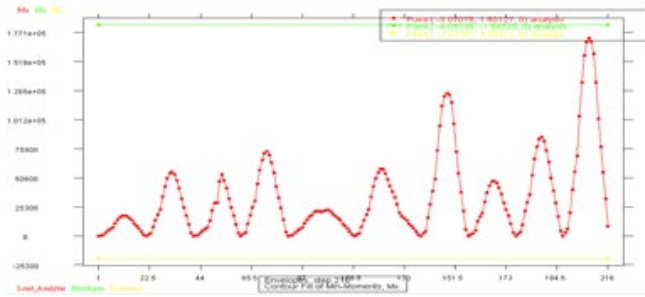


Figura.7

## CONCLUSIONES

La condición crítica se generó al coincidir cuatro camiones en el centro de la losa generando un desplazamiento máximo de 4.5 centímetros, sin embargo y gracias a este análisis se observaron comportamientos muy particulares bajo los diferentes casos de carga como una condición de simetría bajo cada análisis de carga (Figura.6), desplazamientos mayores al transitar el camión por los carriles exteriores del puente vehicular a diferencia de transitar por los interiores y momentos mayores entre las llantas del camión que debajo de ellas.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Dr. Jesús Gerardo Valdés Vázquez por su dedicación, asesoría, apoyo y consejos durante el desarrollo de cada etapa de este proyecto de investigación.

## REFERENCIAS

- [1] The American Association of State Highway Officials. (2004). Standard specifications for highway bridges. Recuperado de <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/001/aashto.bridges.1973.pdf>
- [2] Rascón Chávez, Octavio A. (2004). Formulación de la norma sct de cargas vehiculares para diseño estructural de puentes carreteros. Recuperado de <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt243.pdf>

- [3] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Servicios Técnicos. (2014). Manual de proyecto geométrico de carreteras. Recuperado de [http://www.sct.gob.mx/normatecaNew/wp-content/uploads/2014/11/SCT\\_NIS\\_0487.pdf](http://www.sct.gob.mx/normatecaNew/wp-content/uploads/2014/11/SCT_NIS_0487.pdf)
- [4] Ugural, Ansel C. Stresses in beams, plates, and shells. (2009). CRC Press, Taylor and Francis Group (Third Edition).
- [5] Ventsel, Eduard. Krauthammer, Theodor. Thin Plates and Shells: Theory: Analysis, and Applications. (2001). CRC Press, Taylor and Francis Group.
- [6] Reddy, J. N. Theory and Analysis of Elastic Plates and Shells. (2006). . CRC Press, Taylor and Francis Group (Second Edition).