

## Revisión estructural del puente El Colorado bajo la norma SCT

### Structural revision of the El Colorado bridge under the SCT standard

KAMPFNER-RODRÍGUEZ, Oscar†\*, GARCÍA-URBINA, José, SILVA-BADILLO, Martín y ARELLANO-PENAFIEL, Uriel

*Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Pachuca*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Oscar, Kampfner-Rodríguez* / **ORC ID:** 0000-0002-6349-471X, **Researcher ID Thomson:** P-3894-2018, **arXiv ID:** 2362680

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *José, García-Urbina* / **ORC ID:** 0000-0001-7872-8606, **Researcher ID Thomson:** P-5694-2018, **arXiv Autor ID:** 2366990

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Martín, Silva-Badillo* / **ORC ID:** 0000-0002-9858-5726, **Researcher ID Thomson:** P-4779-2018, **arXiv Autor ID:** 2364780

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Uriel, Arellano-Peñañiel* / **ORC ID:** 0000-0001-7182-2616, **Researcher ID Thomson:** P-3928-2018, **arXiv Autor ID:** 2362748

Recibido: Septiembre 24, 2018; Aceptado: Noviembre 26, 2018.

#### Resumen

En México, corresponde a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) publicar las normas para elaborar proyectos estructurales de puentes vehiculares para las diferentes carreteras del país. Para este fin, se apoya en las investigaciones hechas por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Actualmente se encuentran en operación puentes vehiculares que se diseñaron con normas que no están vigentes, las cuales consideran pesos vehiculares que no corresponden a los pesos actuales, razón por la cual deben ser revisados con normas vigentes para determinar su estado de funcionalidad. Se presenta el estudio de caso del puente "El Colorado", al que se le realizó una visita de inspección detallada, encontrando que la estructura presenta zonas de agrietamiento. Con el propósito de revisar las condiciones de operación del puente, se obtuvieron los diagramas de momentos flexionantes y esfuerzos cortantes, con las normas que se utilizaron para el diseño del puente y con las normas vigentes para este tipo de estructuras. Se determinó que los elementos mecánicos que resiste hoy en día el puente son mayores a los de diseño, lo que explica el agrietamiento de la estructura. Se propone una alternativa de rehabilitación para reforzar la estructura para que el puente continúe operando.

#### Normas, Puentes Vehiculares, Elementos Mecánicos

#### Abstract

In Mexico, it corresponds to the Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) to publish the rules to develop structural projects of vehicular bridges for the different roads of the country. For this purpose, it is based on the research done by the Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Nowadays there are vehicle bridges in operation that were designed with norms that are not in force, which consider vehicle weight that do not correspond to the current standards, that is why they must be reviewed with current regulations to determine their functionality. The case study of "El Colorado" bridge is presented, to which a detailed inspection visit was made, finding that the structure presents fissured areas. In order to review the operation conditions of the bridge, the diagrams of flexing moments and shear forces were obtained, with the standards that were used for the design of the bridge and with the valid regulations for this type of structures. It has been determined that the mechanical elements of the bridge are bigger than those within the design, which explains the fissures of the structure. A rehabilitation alternative is proposed to reinforce the structure, so the bridge can continue functioning.

#### Standards, Vehicle Bridges, Mechanical Elements

**Citación:** KAMPFNER-RODRÍGUEZ, Oscar, GARCÍA-URBINA, José, SILVA-BADILLO, Martín y ARELLANO-PENAFIEL, Uriel. Revisión estructural del puente El Colorado bajo la norma SCT. Revista de Tecnologías en Tecnologías Computacionales. 2018, 2-8: 24-32

\* Correspondencia del Autor (oscar.kampfner@itpachuca.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

En México, corresponde a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) promover los sistemas de transporte y comunicaciones que sean seguros, eficientes y competitivos ampliando la cobertura y accesibilidad de los servicios, logrando la integración de los mexicanos (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014). Para el logro de estos objetivos, la SCT se encarga no solo de la construcción de la red de carreteras federales, sino también de su modernización y rehabilitación. En los últimos años ha tenido un auge importante el desarrollo de proyectos carreteros que son acordes con el desarrollo del país, como el caso de las autopistas México-Tuxpan en Veracruz, Mérida-Nuevo Xcán en Yucatán y Quintana Roo, la ampliación de La Pera-Cautla en Morelos, Sonoyta-San Luis Río Colorado en Sonora y la Jerez-Tlaltenango en Zacatecas. Se estima que la inversión en estas obras asciende a 14,443 millones de pesos.



**Figura 1** Carretera México – Tuxpan

Para llevar a cabo la construcción de los diferentes sistemas carreteros, SCT se ha encargado de elaborar los proyectos ejecutivos, incluyendo los puentes vehiculares, para lo cual SCT publica las normas para la elaboración de los proyectos, considerando los tipos de autopistas y los pesos de los vehículos que sobre ellos transitarán. Por otra parte, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) es un órgano desconcentrado de la SCT, creado por acuerdo presidencial el 15 de abril de 1987 y tiene como misión “Proveer soluciones al sector transporte y logístico en México, público y privado, que garanticen su calidad, seguridad y sustentabilidad, para contribuir al desarrollo del País” (Instituto Mexicano del Transporte, 2014).

Para cumplir con su misión, sigue líneas estratégicas que consideran entre otros aspectos, la investigación aplicada y la producción de normas, manuales y metodologías.

De lo anterior se establece que corresponde al IMT realizar las investigaciones necesarias para la elaboración de las normas para proyectos carreteros y a SCT la publicación y verificación de su cumplimiento. En este sentido, las carreteras estatales también deben cumplir con estas normas, por lo que los proyectos que elabora y ejecuta la Secretaría de Obras Públicas y Desarrollo Territorial del Gobierno del Estado de Hidalgo (SOPOT) cumplen con la normatividad vigente.

Las normas que regulan los estándares con los que pueden circular los vehículos del autotransporte federal, al paso del tiempo se han modificado considerando aspectos como el uso de dispositivos mecánicos y electrónicos de alta tecnología en los vehículos y configuraciones vehiculares. Esto ha permitido que puedan mover mayores volúmenes de carga y por tanto el peso vehicular se ha modificado, aumentando de manera significativa. El pasado 24 de febrero de 2018 se publicó la actualización de la NOM-012-SCT-2-2017 que establece nuevos límites de velocidad, el registro de unidades, cambio del equipamiento, entre otras modificaciones.

La entrada en vigencia de la actualización de la norma 012-SCT implica que en la actualidad se encuentren en funcionamiento puentes vehiculares que deben soportar cargas superiores a las de diseño y que por tanto deben ser revisados para determinar su funcionalidad, como es el caso del puente El Colorado.

## Puente El Colorado

El puente el Colorado se localiza dentro de la mancha urbana de la ciudad de Tulancingo, Hgo., en las coordenadas geográficas LN 20.0891 y LW 98.3811 sobre el Km 0+150 de la carretera estatal Tulancingo – Acatlán. Este puente permite el cruce de la carretera con el río Grande.

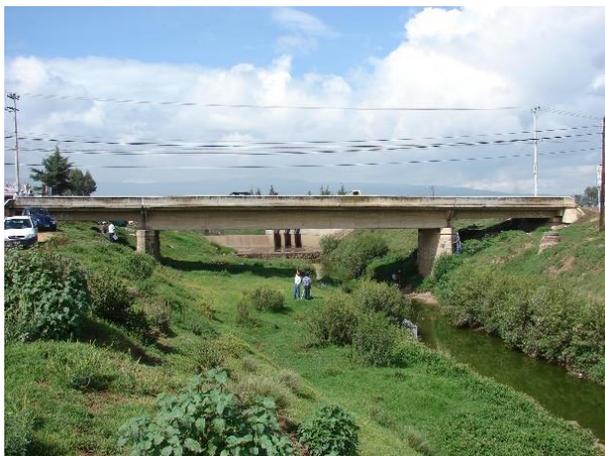


**Figura 2** Ubicación del puente El Colorado

Las características originales del puente son:

- Año de construcción: 1955
- Claro máximo: 25.0 m
- Claro en laterales: 10.5 m
- Ancho de calzada: 7.10 m
- Losa: Tipo nervadura
- Apoyos: 2 pilas de mampostería con estribos de concreto reforzado

Vale la pena mencionar que la región de Tulancingo constituye un centro de desarrollo importante, debido a que dentro de la industria manufacturera cuenta con unidades económicas dedicadas a la elaboración de productos alimenticios, bebidas y tabaco; textiles, prendas de vestir e industria del cuero; la industria de la madera y productos de madera; productos del papel, imprentas y editoriales. Esta ha sido la principal razón por la que actualmente sobre la red de carretera de esta región, transitan vehículos de carga que superan en peso a los vehículos usados en décadas pasadas; esta es una de las causas de los daños estructurales del puente El Colorado.



**Figura 3** Vista del puente El Colorado

Para atender la problemática planteada, la SOPOT de manera periódica realiza visitas de inspección a los puentes vehiculares de la red estatal de carreteras, para determinar posibles daños potenciales. Derivado de lo anterior, se llevó a cabo la revisión del puente El Colorado el cual muestra una serie de daños en su estructura, que ponen en riesgo su funcionalidad segura.

### Inspección del puente El Colorado

Para llevar a cabo la revisión detallada del puente, fue necesario realizar el levantamiento de su geometría, ya que no se logró obtener plano de la estructura.

También se llevó a cabo el levantamiento topográfico del perfil del eje, posición de pilas y estribos, con aparato de precisión.

El puente tiene 3 claros, siendo el central el de importancia con una longitud de 25 m y como se observa en la figura 4, está apoyado sobre dos pilas.



**Figura 4** Claros del puente El Colorado

La estructura del puente está constituida por dos nervaduras o vigas "T", que se caracterizan por su capacidad de carga debido al gran peralte con el que cuentan. Este tipo de vigas trabajan para momentos flexionantes positivos, por lo que deben estar simplemente apoyada, como se muestra en las figuras 4 y 5.



**Figura 5** Nervaduras del puente El Colorado

Durante la revisión a la estructura del puente, se observó la presencia de grietas en el concreto de la nervadura, que se desarrollan a lo largo del peralte de la pieza. Una de las grietas se localiza aproximadamente al centro del claro del puente.



**Figura 6** Grieta vertical en la parte central de la nervadura

También, en las proximidades de la nervadura con sus apoyos, se aprecian grietas en el concreto con un ángulo de inclinación cercano a los  $45^\circ$ , que son características de falla por cortante.



**Figura 7** Grieta inclinada en el extremo de la nervadura

La aparición de grietas en el concreto de las nervaduras es un síntoma de la fatiga de los materiales, provocado por el hecho de que el sistema de cargas actuantes sobre estos elementos estructurales es mayor a su capacidad de carga.

### Revisión de las condiciones de servicio del puente El Colorado

Para recuperar la información del diseño de la estructura, se recurrió a SOPOT, quien a través de las dependencias del Gobierno del Estado de Hidalgo que le antecedieron, fue la encargada de la construcción de puente El Colorado, sin embargo, no fue posible conseguir esta información, ya que al parecer el expediente técnico del puente no existe.

En estas circunstancias para llevar a cabo la revisión del puente, en una primera etapa se estimarán los valores de diseño para el momento flexionante y fuerza cortante provocados por el peso de los materiales que constituyen la estructura, así como por la carga que produce un vehículo HS-15 (vehículo de carga usado en la época de construcción del puente).

A partir de estos valores se puede estimar el área de acero que tienen las nervaduras del puente, a través de criterios establecidos en la teoría elástica para el diseño de estructura de concreto reforzado, ya que, en la fecha de construcción del puente, esa teoría estaba vigente.

En una segunda etapa, con la geometría de las nervaduras y la cantidad de acero obtenida, se puede definir el momento flexionante y la fuerza cortante que puede resistir la estructura.

Para concluir la revisión del estado de funcionamiento de la estructura, se cambiará el sistema de carga del puente y se utilizará la que produce un vehículo de carga T3-S2-R4, para establecer el momento flexionante y fuerza cortante que se producen actualmente sobre la estructura del puente.

Del levantamiento geométrico del puente se observan los siguientes datos, considerando un corte al centro del claro de la calzada.

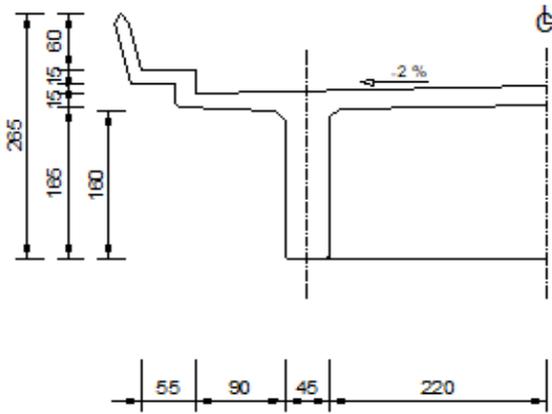


Figura 8 Dimensiones de una nervadura

Para estimar las condiciones originales de diseño, se consideran los siguientes datos:

- El puente esta simplemente apoyado.
- Las nervaduras tienen geometría "T".
- Resistencia del concreto  $f'c=200$  kg/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia del acero de refuerzo  $f_y=2,530$  kg/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia de diseño del acero  $f_s=1,265$  kg/cm<sup>2</sup>.
- Peso volumétrico de del concreto: 2,400 kg/cm<sup>2</sup>.
- Carga de diseño: 24,494 kg (Camión tipo HS 15)

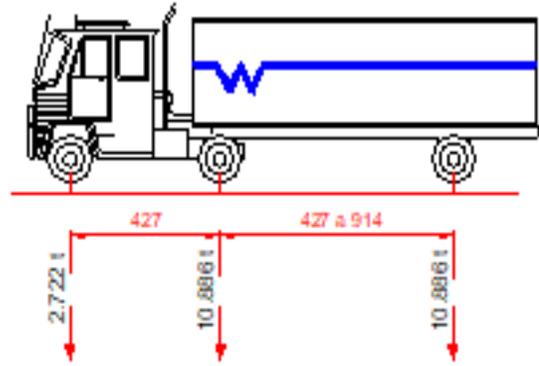


Figura 9 Camión tipo HS-15

Para estimar los elementos mecánicos de diseño, es necesario determinar la carga total que soporta la estructura, misma que resulta de acumular la carga muerta de la nervadura con la carga viva que induce el vehículo de diseño (HS 15) al moverse a través del puente. Para la primera carga, se cuantifico el peso de los diferentes componentes de las nervaduras, incluyendo el peso del asfalto sobre la calzada y de los diferentes accesorios que componen el puente.

La carga viva se determinó considerando lo estipulado en el apéndice "A" de las Normas American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1996) para una carga provocada por un vehículo tipo HS – 15. Los resultados del análisis de carga son:

- Área de la sección transversal: 1.59 m<sup>2</sup>
- Carga muerta: 4.85 kg/m
- Carga viva: 2.212 kg/m
- Carga Total: 7.062 kg/m

Para el caso de la carga viva, el valor calculado toma en cuenta el factor de impacto que induce el tipo de vehículo (HS-15), así como el respectivo factor de concentración.

Comúnmente, la carga viva se expresa en unidades de fuerza entre unidades de superficie (kg/m<sup>2</sup>), sin embargo, para facilitar la estimación de los elementos mecánicos de diseño, se realizó la conversión a unidades de fuerza por longitud de la nervadura.

De este modo, el momento flexionante y la fuerza cortante se pueden calcular con las ecuaciones para una viga con apoyos simples en los extremos. Así los resultados quedan como sigue:

$$M_D = \frac{\omega l^2}{8} \tag{1}$$

$$M_D = 551.73 \text{ ton-m}$$

$$V_D = \frac{\omega l}{2} \tag{2}$$

$$V_D = 88.28 \text{ ton}$$

Donde  $M_D$  y  $V_D$  corresponden a los valores estimados para el momento flexionante y fuerza cortante, utilizados para el diseño original del puente.

A partir de estos valores es posible estimar la cantidad de acero de refuerzo que tiene cada nervadura (Departamento del Distrito Federal, 1966).

$$A_s = \frac{MD}{(f_s j d)} \tag{3}$$

$$A_s = 298.32 \text{ cm}^2$$

nde

$$j = 0.86$$

$$d = 170 \text{ cm}$$

(se consideran 10 cm de recubrimiento)

Para la segunda etapa de la revisión, la geometría idealizada es una viga “T” como se muestra en la figura:

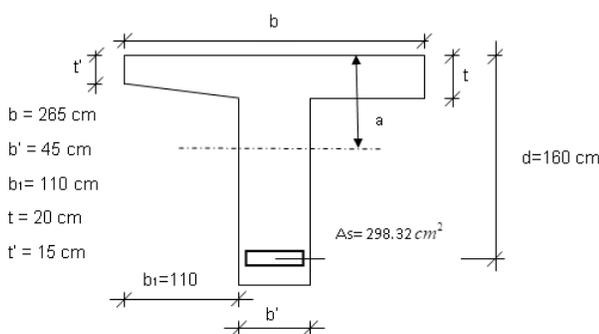


Figura 10 Geometría idealizada de la viga “T”

Como los patines de la pieza ( $b_1$ ) son de diferente longitud, se considera la menor de estas como la que prevalece para ambos lados del alma de la viga.

También el ancho de los patines es diferente, por lo que se tomará un valor promedio y corresponde a  $t = 18.98 \text{ cm}$ .

Para determinar el análisis que se debe seguir para esta sección transversal, de acuerdo a lo señalado en las Normas Técnicas Complementarias (NTC) al reglamento de construcción del Distrito Federal (Distrito Federal, 2014), se debe verificar si el comportamiento de la nervadura es como una viga “T” o una sección rectangular. Esta verificación consiste en estimar la altura del bloque de esfuerzos de compresión en el concreto de la nervadura ( $a$ ) y en caso de que esta sea mayor al espesor de los patines ( $t$ ), la sección transversal se analizará como viga “T”, de lo contrario el análisis se hará como sección rectangular.

Para este proceso, las NTC establecen que de manera previa se debe determinar el ancho efectivo de los patines, en virtud de que cuando estos son muy largos, la aportación a la compresión del concreto no es constante. El valor de  $b_1$  se debe considerar como el menor de los siguientes resultados:

$$\frac{L}{8} - \frac{b'}{2} = 290 \text{ cm} \tag{4}$$

$$\frac{L'}{2} = 220 \text{ cm} \tag{5}$$

$L'$  corresponde a la separación entre nervaduras

$$8t = 160 \text{ cm} \tag{6}$$

De los valores anteriores rige  $b_1 = 160 \text{ cm}$ , sin embargo, existe un impedimento físico, ya que para la geometría supuesta para la viga “T” el valor de  $b_1 = 110 \text{ cm}$ , el cual será tomado en cuenta en el análisis y como resultado se tiene que el ancho efectivo de los patines vale  $b = 265 \text{ cm}$ .

Para la determinación de la posición del eje neutro ( $a$ ), las NTC establecen:

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f' c b} \tag{7}$$

$$a = 16.76 \text{ cm}$$

Se observa que la altura del bloque de esfuerzos del concreto es menor que el ancho de los patines ( $a < t$ ), por lo que la nervadura debe ser analizada como viga rectangular.

Una vez que se determinó el comportamiento estructural de la nervadura, es posible estimar con mayor precisión el valor del momento flexionante y de la fuerza cortante que es capaz de soportar el puente.

Para el Momento Flexionante:

$$M_R = F_R A_s F_y (d - \frac{a}{2}) \tag{8}$$

$$M_R = 1,029.95 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Para la fuerza cortante:

$$V_R = F_R b' d (\frac{\sigma_{fy}}{f_s} + 0.53 \sqrt{f'c}) \tag{9}$$

$$V_R = 98.3 \text{ ton}$$

Ahora bien, para estimar el momento flexionante y fuerza cortante que actúan actualmente, se cambiará el tipo de vehículo de carga que circula a través del puente. El vehículo considerado es T<sub>3</sub> – S<sub>2</sub> – R<sub>4</sub> (Rascón Chávez Octavio, 2004) que tiene las siguientes características:

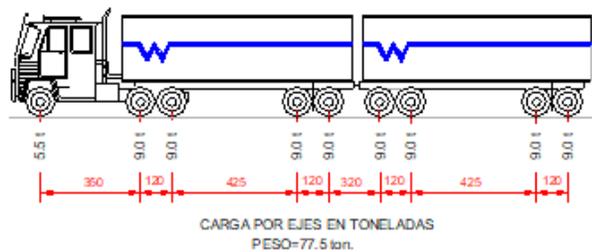


Figura 11 Camión tipo T<sub>3</sub> – S<sub>2</sub> – R<sub>4</sub>

Con relación a la carga muerta se tiene el mismo valor que en el análisis anterior, solo habrá cambios en la carga viva.

Carga muerta: 4.85 kg/m

$$M_{CM} = 378.91 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$V_{CM} = 60.625 \text{ ton}$$

Carga viva: 4.926 kg/m (incluye factor de impacto) (Rascón, 2004)

$$M_{CV} = 384.86 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$V_{CV} = 61.575 \text{ ton}$$

Para el tipo de vehículo considerado, el factor de concentración se incluye en los valores anteriores a través del siguiente criterio:

$$M_u = 1.3(M_{CM} + 1.67M_{CV}) \tag{10}$$

$$V_u = 1.3(V_{CM} + 1.67V_{CV}) \tag{11}$$

$$M_u = 1,328.11 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$V_u = 212.49 \text{ ton}$$

Con los resultados obtenidos se puede explicar la aparición de grietas en la nervadura, ya que en condiciones actuales el momento flexionante y la fuerza cortante superan en magnitud a los que puede resistir el puente El Colorado.

$$M_u > M_R$$

$$V_u > V_R$$

**Propuesta de solución**

Una alternativa de solución para aumentar la capacidad de carga del puente y lograr que continúe siendo funcional de manera segura, es agregar acero de refuerzo adicional en la nervadura, en la zona donde se ubican las grietas.

El acero de refuerzo deberá ser capaz de soportar la diferencia entre los momentos flexionantes actuante y resistente; esta situación es similar para las fuerzas cortantes. Para el acero de refuerzo que resulte se deberá buscar el mecanismo conveniente que permita adosarlo a la parte baja de la nervadura; se puede hacer uso de resinas epóxicas además de colocar taquetes de expansión sobre el concreto de la nervadura para fijar el acero adicional.

El diseño del acero de refuerzo adicional se calcula con la diferencia entre los momentos flexionantes actuante y resultante:

$$M = M_U - M_R \tag{12}$$

$$M = 298.16 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

De igual manera para la fuerza cortante

$$V = V_U - V_R \tag{13}$$

$$V = 114.19 \text{ ton}$$

De la ecuación para el momento resistente, es posible despejar el área de refuerzo que se necesita.

$$A_s = \frac{M}{F_R f_y (d - \frac{a}{2})} \quad (14)$$

$$A_s = 86.36 \text{ cm}^2$$

Esta cantidad de acero se puede cubrir con una placa de acero de 16" x 1/2" y dos placas de 6" x 1/2", que en conjunto proporcionan  $A_s = 90.32 \text{ cm}^2$ . Como la nervadura esta simplemente apoyada en las pilas, el momento máximo se localiza al centro del claro, por lo que el acero de refuerzo calculado debe colocarse en esta zona y prologarse hacia cada extremo por lo menos en una longitud de un cuarto del claro, por lo que las placas propuestas deberán tener una longitud

d de 12 m.

Las placas deberán colocarse en la parte baja de la nervadura. La disposición de estas placas de muestra en la siguiente figura:

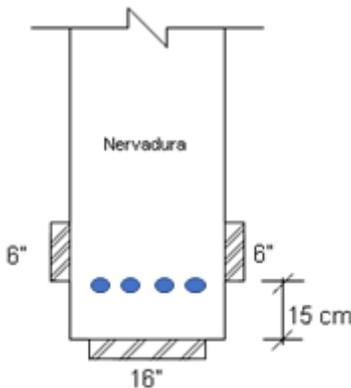


Figura 12 Refuerzo para la nervadura

Para soportar el incremento en la fuerza cortante, se propone utilizar solera de 4" x 1/2" colocadas de forma transversal sobre cada lado de la nervadura a manera de estribos con los que se obtiene  $A_s = 25.8 \text{ cm}^2$  y su separación se puede estimar de la siguiente manera:

$$S = \frac{F_R A_s f_y d (\text{sen } \theta + \text{cos } \theta)}{V - V_c} \quad (15)$$

En donde  $\theta$  corresponde al ángulo de inclinación de los estribos y es igual a  $90^\circ$  y  $V_c$  se refiere al cortante que puede tomar el concreto, que para el caso analizado se tomara igual a cero ya que este valor se debió tomar en cuenta en el diseño original.

$$S = 73.17 \text{ cm}$$

Por lo anterior se propone la colocación de los estribos con una separación de 70 cm centro a centro, en una longitud de 6 m en cada extremo de la nervadura hacia el centro.

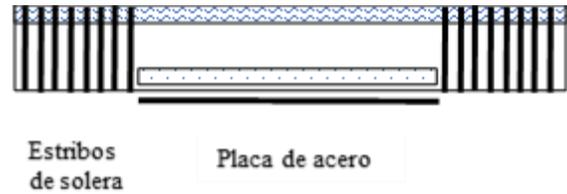


Figura 13 Vista del acero adicional de refuerzo en la nervadura

Conclusiones

La propuesta para rehabilitar el puente El Colorado constituye una alternativa de solución viable, pero se debe poner especial atención a la colocación de las placas de acero y a los estribos de solera, ya que se tendrán que hacer perforaciones sobre el concreto de las nervaduras para colocar los taquetes expansivos y no se desea causar daños adicionales al concreto. Para el caso de las placas de acero, estarán situadas en zonas donde el concreto trabaja a tensión y por tanto las perforaciones no afectarán su resistencia actual, sin embargo, para realizar las perforaciones, es necesario utilizar equipo rotativo.

Por otra parte, los cálculos realizados para determinar la cantidad de acero de refuerzo se apoyaron en la teoría elástica para diseño de estructuras de concreto reforzado, lo cual es correcto si consideramos que esta teoría estaba vigente en la época en que se diseñó la estructura del puente El Colorado; así también, el cálculo del acero de refuerzo adicional se realizó con la teoría elástica.

Otra posible alternativa para el cálculo del acero de refuerzo adicional, es a través de los criterios de la teoría plástica para diseño de estructuras de concreto reforzado (Distrito Federal, 2014), la cual considera que el concreto y el acero tomen mayores esfuerzos de trabajo y por tanto el resultado sería menores cantidades de acero adicional. Finalmente se decidió no combinar las diferentes teorías de diseño para evitar cualquier confusión que provocara errores en los cálculos realizados.

De manera adicional a la solución presentada, es necesario considerar trabajos adicionales para dejar funcional el puente, como es la rehabilitación de los apoyos del puente y la sustitución de juntas de dilatación en los puntos donde se unen las nervaduras de los diferentes claros, así como el sellado de las grietas en las estructuras.

Finalmente, no se ha realizado la rehabilitación del puente El Colorado, ya que debido a las inundaciones que se han presentado en la región de Tulancingo en los últimos años, las autoridades federales y estatales han considerado como mejor opción modernizar las diferentes estructuras que atraviesan al río Grande para evitar cualquier tipo de obstáculo al escurrimiento y por tanto se contempla la construcción de un puente nuevo.

A pesar de lo anterior, no debe desecharse la alternativa de rehabilitación presentada, ya que puede ser de utilidad para realizar análisis similares en diferentes puentes que aún se encuentran en funcionamiento y que tienen antecedentes similares.

### Recomendaciones

Para futuros proyectos de rehabilitación de puentes vehiculares con problemas estructurales como los detallados en este trabajo, se debe buscar exhaustivamente los planos constructivos, para conocer con exactitud la cantidad de acero de refuerzo utilizada en las nervaduras, así como la magnitud de los elementos mecánicos de diseño. Estos valores, comparados con los que arrojan las normas vigentes (Rascón, 2004), permitirán estimar con mayor precisión la cantidad de acero de refuerzo adicional, en caso de ser necesaria.

### Referencias

American Association of State Highway and Transportation Officials. (1996). Apendice A Norma AASHTO. 15 de junio de 2018, de Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural A.C. Sitio web: [http://www.smie.org.mx/SMIE\\_Articulos/co/co\\_10/te\\_03/ar\\_13.pdf](http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_10/te_03/ar_13.pdf).

Ana Valle. (2014). Las 5 nuevas carreteras de México. 8 de agosto de 2018, de El Financiero Sitio web: <http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/las-nuevas-carreteras-de-mexico>.

Departamento del Distrito Federal. (1966). Nuevo Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. 24 de junio de 2018, de Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C. Sitio web: <http://www.smie.org.mx/informacion-tecnica/reglamentos-construccion-mexico.php?estado=ciudad-de-mexico>

Gobierno del Distrito Federal. (2014). Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto. Distrito Federal: Gaceta Oficial del Distrito Federal.

Rascón Chávez Octavio A. (2004). Formulación de la Norma SCT de cargas vehiculares para diseño estructural de puentes carreteros. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte.

Secretaria de Comunicaciones y Transportes. (2014). Que hacemos. 8 de agosto de 2018, de Secretaria de Comunicaciones y Transportes Sitio web: <https://www.gob.mx/sct/que-hacemos>.