

PARTICIPACIÓN DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA EN LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES ESPECIALES DEL TREN INTERURBANO MÉXICO-TOLUCA

ROBERTO GÓMEZ MARTÍNEZ

El crecimiento de las Ciudades de México y Toluca, así como de sus zonas conurbadas ha generado una insuficiencia en los servicios de transporte, obligando a buscar nuevas alternativas. Una de ellas es un tren de pasajeros de mediana velocidad. Así pues, en 2014 iniciaron los trabajos del Tren Interurbano México-Toluca (TIMT), obra actualmente en construcción con una longitud aproximada de 57.7 km, 37 en el Estado de México y 20.7 en la Ciudad de México. Los municipios del Estado de México por donde atraviesa el trazo del tren son Toluca, Metepec,

San Mateo, Lerma y Ocoyoacac; mientras que las delegaciones en la CDMX por las que dicho trazo pasa son Cuajimalpa y Álvaro Obregón. El objetivo principal de este proyecto consiste en atender la problemática de transporte que se presenta en el corredor que abarca la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, el tramo interurbano a lo largo de la carretera federal 15/15 D hacia la Ciudad de Toluca desde la Ciudad de México, y la zona de Santa Fe.

El TIMT se está desarrollando en tres tramos (Figura 1): Tramo 1 Zinacantepec-Lerma de 36 km, Tramo 2 BI-Túnel de 4 km y Tramo 3 Santa Fe-Observatorio de 17 km. El proyecto del tren contempla la construcción de dos estaciones terminales que son Zinacantepec (km 0+300) y Observatorio (km 57+634), así como cuatro intermedias conformadas por Pino Suárez (km 6+173), Tecnológico (km 13+258), Lerma (km 19+524) y Santa Fe (km 49+191). Se prevé que la demanda diaria de pasajeros sea de 230 mil en 2019 y de 540 mil en 2048. La velocidad promedio de operación será de 80 a 90 km/h, alcanzando una velocidad máxima de 160 km/h.



Figura 1. Trazo del Tren Interurbano México-Toluca

Cabe destacar que de la longitud total del proyecto, 4.54 km corresponden a vía en túnel, 48 km a vía elevada (viaducto) y 4.3 km a vía en superficie.

Las soluciones estructurales para la vía elevada (viaductos) incluyen sistemas prefabricados de concreto de sección cajón, dobles voladizos, viaductos mixtos formados por un cajón metálico más losa de compresión, armaduras metálicas y utilización de dovelas prefabricadas y viga lanzadora.

Además de las mencionadas soluciones generales, existen otras particulares como el Viaducto 6, Puente Arco y Puente Delta. Dada su complejidad, el Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM), ha colaborado de forma importante para su construcción y control de calidad de las mismas, así como para el aseguramiento del control de calidad durante su montaje final. Específicamente, en el tramo I se participa bajo convenio de colaboración en los trabajos de "Apoyo técnico especializado en aspectos estructurales del

proyecto ferroviario de pasajeros México-Toluca en el tramo Zinacantepec-Desierto de los Leones". A continuación se describen las soluciones particulares mencionadas:

i) Viaducto 6. Con longitud total de 120 m repartidos en tres claros de 36, 48 y 36 m (Figura 2); se localiza justo al inicio de la vía, en la zona de salida de cocheras y talleres del TIMT en el municipio de Zinacantepec, Estado de México.

La superestructura metálica está conformada por dos cuerpos de cajones metálicos con almas inclinadas y una losa superior de concreto. Por su alineamiento en curva y configuración geométrica de los cajones, se tuvo un alto grado de dificultad en la fabricación de los diferentes elementos de cada claro, ya que se requería gran exactitud en la fabricación en taller y ensamble final en campo. Previo al montaje final se tuvieron que realizar adecuaciones/reparaciones con el objeto de cumplir con las tolerancias de construcción de la normativa aplicable.



Figura 2. Viaducto 6, Tren Interurbano México-Toluca

El IUNAM participó en este puente en la etapa final de montaje (de noviembre 2016 a febrero 2017), ya que los diferentes segmentos habían sido fabricados previamente. Por sus condiciones de carga y diseño algunas conexiones soldadas de la estructura se han considerado como Miembros a Fractura Crítica (FCM, Fracture Critical Members), lo que implica un estricto control de calidad en su fabricación. Este viaducto ya se encuentra terminado y es utilizado para las pruebas del tren en movimiento.

ii) Puente Arco. Se ubica en el municipio de Lerma, Estado de México. Es una estructura metálica en arco tipo *bow-string* (Figura 3), su peso total es de 780 t. El claro del puente tiene una longitud de 100 m, la altura máxima del arco es de 21.3 m y la longitud total del mismo es de 101.21 m.

La fabricación del “Puente Arco” inició en enero de 2017 en talleres ubicados en Benito Juárez, municipio aledaño a la ciudad de Monterrey. Un año después se embarcó hacia la obra el último componente de la superestructura metálica. Al igual que el Viaducto 6, algunas de sus conexiones soldadas también se consideraron como Miembros a Fractura Crítica.

En abril de este año inició en la obra el ensamble de componentes estructurales. El proceso constructivo indica que el arco en su totalidad debe ser armado sobre el terreno y después debe ser izado y colocado en estructuras provisionales, para al final deslizarlo lateralmente hacia su posición definitiva. Para esto último se requiere de unas

vigas auxiliares que unan los apoyos extremos del arco y los apoyos definitivos sobre el trazo del tren. Lo anterior implica el desarrollo de una cinemática de montaje. Actualmente la superestructura presenta un avance de 90% en su proceso constructivo.

iii) Columna Delta. La estructura metálica es auxiliar y se construye para poder librar un claro de 128 m. Este puente forma parte del viaducto 4 del tramo I y se ubica en el municipio de Ocoyoacac, Estado de México. La Delta está formada por dos columnas de acero estructural de sección rectangular de 4x5 m, de 53.75 m de longitud, inclinadas a 65.5° (Figura 4). La altura del terreno hasta la parte superior del cabezal es de 60 m. Cada columna pesa 293 t y se ensamblan sobre el terreno mediante 8 segmentos unidos por soldadura. Estos segmentos se fabricaron en un taller ubicado en Tala, municipio aledaño a la ciudad de Guadalajara. Una vez ensambladas las columnas se giran sobre uno de sus extremos (rótula) hasta alcanzar una forma de “V” invertida. Las columnas se unen en la parte superior mediante un cabezal de concreto de 12.6x15.1 m el cual se cuela sobre una cimbra metálica una vez que las dos columnas han sido colocadas (abatidas) en su posición definitiva. Hasta la fecha se trabaja en el colado del cabezal para que una vez terminado se proceda a colocar mediante viga lanzadora la trabe de 128 m sobre la que se desplazará el tren. El montaje de la Delta presenta un avance de 80% en su proceso constructivo.



Figura 3. Puente Arco, Tren Interurbano México-Toluca



Figura 4. Puente Delta, Tren Interurbano México-Toluca

Los trabajos que realiza el IIUNAM como entidad de control en los tres puentes descritos están referidos al proyecto ejecutivo aprobado por la SCT, sin embargo, en caso de que existan aspectos que puedan representar una mejora de la obra u optimizar los tiempos de construcción sin reducir la calidad, seguridad y durabilidad, el IIUNAM informará oportunamente a la dependencia sustentándolo debidamente. Dada la gran cantidad de soldadura aplicada, una parte de los trabajos desarrollados consisten en la verificación y seguimiento de la fabricación y ensamble de los elementos metálicos durante la construcción de las superestructuras, así como la verificación y aseguramiento de la calidad durante su ensamble final y montaje. Adicionalmente, se desarrollan modelos matemáticos para realizar análisis que simulen condiciones de carga como las que serán utilizadas durante las etapas de construcción y

montaje de las superestructuras. También, estos modelos se utilizan para proporcionar estimaciones de los valores de los diferentes parámetros característicos de las superestructuras. Una vez elaborados y calibrados los modelos matemáticos, sus resultados se utilizan para emitir recomendaciones de trabajos que sean necesarios para mejorar la seguridad estructural de los puentes durante los diferentes procesos de izaje, abatimiento y montaje, así como para las diferentes etapas de construcción. De ser necesario se emiten las recomendaciones necesarias para la realización de dichos trabajos. Cuando es el caso, el IIUNAM informa a la SCT si se requieren efectuar trabajos complementarios para garantizar la seguridad estructural de los puentes. De esta manera el IIUNAM colabora en proyectos de gran relevancia para mejorar la infraestructura del país. |