

EL PUENTE SAN MARCOS: La segunda superestructura con la pila más alta del mundo

Raquel Ochoa

-

Fotografías cortesía de: Constructora
Nuevo Necaxa Tihuatlán (ICA-FCC)

Un proyecto audaz que domina el ambiente agreste
de la Sierra Madre Oriental: El Puente San Marcos.





Las superestructuras en México evolucionan a pasos agigantados y se incorporan a la ola de las tecnologías avanzadas en la construcción de Puentes. Desde 1970, la edificación de estas mega construcciones en regiones donde el grado de complejidad es gigantesco -por las condiciones topografías, geológicas y climáticas- se ha convertido en un reto que los ingenieros mexicanos han conseguido vencer valiéndose de la aplicación y elaboración de nuevos estudios, capital humano calificado, equipo y maquinaria.

El Puente San Marcos –suspendido en pleno corazón de la Sierra Madre Oriental- dentro de una geografía que parecía imposible dominar, considerada como la segunda zona del país de mayor precipitación pluvial e inestabilidad geológica es un ejemplo concreto de esta ola de superestructuras que desafían a la geografía.

En entrevista para *Construcción y Tecnología en Concreto*, el arquitecto Felipe de Jesús Cardona Solís, de la Constructora Nuevo Necaxa Tihuatlán (ICA-FCC), expone paso a paso los desafíos y procesos que enfrentaron para alcanzar la forma y el concepto del Puente San Marcos.

MANOS A LA OBRA

Ese día, los ingenieros de obra se reunían para discutir los estudios definitivos del diseño de la estructura de mayor impacto en el proyecto de la carretera México-Tuxpan: El Puente San Marcos, situado en el tramo Nuevo Necaxa-Ávila Camacho. Los líderes del proyecto propusieron una sagaz estrategia para imponerse a los obstáculos de la complejidad topográfica y geológica de la Sierra Madre Oriental. El viaducto tendría la segunda pila más alta del mundo, sería curvo e incrementarían su longitud y altura, estaban seguros que vencerían los desafíos establecidos por el difícil acceso y las dimensiones de la nueva superestructura de doble voladizo.

GEOMETRÍA DEL DISEÑO

De hecho, ni siquiera el ambiente agreste de la Sierra Madre Oriental evitó la materialización de un proyecto tan audaz como es el Puente San

Nombre de la obra: Proyecto Nuevo Necaxa - Ávila Camacho, Puente San Marcos.

Ubicación de la obra: Sierra norte del estado de Veracruz.

Superficie construida: 37 kilómetros.

Fecha de inicio de la obra: 14 de abril 2008.

Fecha de fin de obra: 28 de noviembre del 2013.

Fecha de inauguración de la obra: 15 de diciembre 2013.

Materiales utilizados: acero de refuerzo, Acero de presfuerzo y concreto.

Maquinaria utilizada: grúas torre, grúa hidráulica, elevadores, bomba de concreto, lanzadora de concreto, equipo de barrenación, excavadora 330, tractor D8 y camión articulado.



Marcos, el cual integró diseño, tecnología y un minucioso cuidado al medio ambiente dando forma a la superestructura que cambiaría el mapa entre el Océano Pacífico y el golfo de México.

“El Puente forma parte del plan estratégico de la autopista México-Tuxpan. Por la complejidad topográfica y geológica de la Sierra Madre Oriental, los riesgos de la construcción y evolución de la autopista fueron evaluados minuciosamente”, expuso Felipe Cardona. Y es que –agrega el entrevistado-, “en primer lugar fue reubicado el sitio de construcción del proyecto. Esta decisión implicó modificar la longitud, altura y forma del viaducto, adicionalmente a la realización de múltiples estudios geológicos, geofísicos, geotécnicos, hidráulicos, ambientales y de viento. ¡Los resultados fueron excelentes!”.

El concepto final: un sistema de doble voladizo en curva, con longitud de 850 metros, calzada de 18.70 metros de ancho, altura máxima de 225 metros hasta la superficie de rodamiento, dos estribos, claros de 180 metros y seis pilas –que van de los 33 hasta los 208 metros de altura-. Por sus características



únicas, la pila cuatro, es sin lugar a dudas el elemento prioritario de la superestructura, ubicándose como la segunda con la pila más alta del mundo.

PRUEBA SUPERADA

Para Felipe Cardona Solís, las propuestas conceptuales del diseño del Puente no podían ser muchas. La solución estaba determinada por la ubicación geográfica de la autopista -en lo más agreste de la Sierra Norte del Estado de Puebla-, las complicadas condiciones geológicas de la zona y las dimensiones singulares de la estructura. El reto fue construir el Puente con la segunda pila más alta del mundo. Desde su desarrollo el proyecto ejecutivo contó con los procedimientos constructivos precisos. El objetivo debía garantizar no tener atrasos en los diversos procesos de construcción, para lograrlo se empleó la tecnología más avanzada en manejo de concreto, cimbra, equipo mecánico, de bombeo, grúas y mano de obra especializada.

Quedaba claro que alcanzar la meta no sería algo fácil. Los desafíos fueron diversos: el primer desafío fue la construcción del



Características de la obra

- Puente voladizo con longitud de 850 metros.
- 6 apoyos que van desde 90 metros hasta 225 metros de altura.
- La pila 4 es la segunda Pila más alta con 225 metros de altura desde su nivel de desplante hasta la superficie de rodamiento (más alto después del Viaducto de *Millau en Aveyron*, Francia que tiene una altura de 343 metros sobre el río Tam).
- 180 metros de Vanos de luz.
- Tablero para ambas calzadas de autopista con 19 metros de ancho.
- Sistema de construcción: encofrados auto-trepantes, utilización de trepa y bombeo de concreto más avanzados.
- La obra es una superestructura.
- Accesorios y herramientas: acero de refuerzo como varilla o malla electrosoldada, anclajes, reglas para emparejar y cortar, alambre, llanas, planas, cucharas y otros.



Concretos

Tipos de concreto: Concreto $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$, Concreto $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, en zapatas de pilas, Concreto $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$, en zapata de pila 4, bajo en calor de hidratación, Concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$, en cuerpo de pilas, Concreto $f'c=400 \text{ kg/cm}^2$, auto compactable con resistencia de 100% a 3 días en la superestructura o dovelas, concreto lanzado $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, en tratamiento de taludes durante la excavación para el desplante de las pilas.

Total de concreto utilizado: 54,000 m³

Nombre de la constructora: Constructora Nuevo Necaxa Tihuatlán, (ICA-FCC).

Nombre del despacho estructuralista: Servicios Técnicos FCC.

camino de acceso a la estructura. Los parámetros normales o estándar fueron sobrepasados –se encontraron pendientes de hasta 30 por ciento en caminos de seis kilómetros, donde existían desniveles de 700 metros, aproximadamente. Para abatir las pendientes fue necesario revestir con concreto hidráulico -más del 40 por ciento- del camino de acceso. Al mismo tiempo, se eligió y adecuó el equipo exacto para trasladar insumos, maquinaria y componentes requeridos en la construcción del proyecto.

Otra meta crítica fue la elaboración de colado masivo más grande en infraestructura carretera, tanto en México como América Latina. Y es que, a decir del entrevistado, “construir la zapata de la pila cuatro, representó un enorme esfuerzo, para su edificación fue necesario vencer las condiciones adversas de construir sobre el lecho del río que en temporada de lluvias, por el nivel de flujo de las aguas, se convertía en una amenaza constante para la ejecución de los trabajos. La implementación de innovadores procedimientos constructivos considerados desde el proyecto ejecutivo, así como la utilización de la cimbra auto trepante y el equipo de bombeo fueron determinantes para alcanzar los objetivos programados en tiempo, forma, calidad, ahorro de recursos y cero accidentes.

EL CONCEPTO SUSTENTABLE

Para conceptualizar un diseño totalmente sustentable es necesario visualizar el todo del proyecto. La solución: promover el desarrollo del eje económico México-Tuxpan fomentando el turismo y comercio del corredor, a través de la reducción en tiempos de traslado y condiciones seguras de transportación. Y, adicionalmente, el diseño debía prever la conservación del hábitat de la zona. Por el lado de los materiales, se debía garantizar la calidad, durabilidad y resistencia del diseño estructural, así como el cuidado con el entorno. Se seleccionó detenidamente el tipo de concreto para cada uno de los elementos que conformarían la estructura -zapatas de pilas, cuerpo de pilas, en dovelas y para tratamiento de taludes durante la excavación para el desplante de las pilas-. El uso de concretos de altas resistencias o desempeño redujo gran cantidad de agua en mezcla.



En tanto que, para la fabricación de concreto –añade el entrevistado- se utilizaron dos plantas con capacidad de producción de 60 metros cúbicos por hora, cada una, ubicadas a dos kilómetros de distancia del sitio. Para la colocación en las pilas y superestructura se utilizó el equipo Putzmeister HBS14000, con capacidad para bombear concreto a una altura de 500 metros en forma vertical. Por otra parte, se implementó el procedimiento de conectores roscados para empalmar las varillas de las columnas, permitiendo comprimir la cantidad de acero de refuerzo consumido y, en consecuencia, disminuir la cantidad de chatarra en la obra y los gases contaminantes en la fabricación del acero. **C**