

Puentes carreteros en los accesos al Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles, México

Road bridges at the access to Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles, México

Luis Matute Rubio^a, Enrique Bordó Bujalance^b, Alberto Nicolás Pazo^c, Gabriel Pérez Mondragón^d

^a Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TYLin Spain. Vicepresidente. luis.matute@tylin.com

^b Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TYLin Spain. Director Dpto. I+D+i Puentes. enrique.bordo@tylin.com

^c Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TYLin Americas. Structural Bridge Project Manager. alberto.nicolas@tylin.com

^d M.Sc. Civil Structural Engineer. TYLin México. Deputy Country Manager México. gabriel.perez@tylin.com

RESUMEN

El proyecto Accesos AIFA conecta el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles con el Circuito Exterior Mexiquense, cerca de Ciudad de México. TYLin Spain desarrolló para ALEÁTICA la revisión, optimización e ingeniería de valor, y los rediseños y mejoras del conjunto del proyecto. La obra consta de 7 km de viaductos y 54,000 m² de estructuras, con 4 viaductos resueltos con tableros mixtos, y el resto a base de estructuras de prefabricados de hormigón. El encaje de vanos y pilas resultó de gran complejidad, por los numerosos condicionantes existentes (ejes de carretera, FFCC, servicios, canales, etc.) y la compleja interacción con las fases constructivas del enlace.

ABSTRACT

The Accesos AIFA Project connects Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles with Circuito Exterior Mexiquense, close to Ciudad de México. TYLin Spain developed for ALEÁTICA the revision, optimization and value engineering, and redesign of the whole project. The connector consists of 7 km of viaducts and 54,000 m² of structures, with 4 viaducts solved using composite steel-concrete decks, and the rest being made of precast concrete boxes and girders. The definition of layout and placing of piers were very complex tasks, due to the numerous existing design constraints (road axis, railway lines, channels, ducts and services, etc.), and the interaction between traffic and construction stages.

PALABRAS CLAVE: Enlace AIFA, México, Puente de Carretera, Viaductos Mixtos.

KEYWORDS: Enlace AIFA, Mexico, Roadway Bridge, Composite Viaducts.

1. Introducción

El proyecto de los Accesos AIFA conecta el reciente Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles (AIFA) con el Circuito Exterior Mexiquense, cerca de Ciudad de México.

TYLin Spain desarrolló para ALEÁTICA los trabajos de revisión,

optimización e ingeniería de valor del proyecto original realizado por TRIADA. Posteriormente, se realizó un rediseño profundo y se introdujeron mejoras en coste y plazo en el conjunto del proyecto, desarrollado en fast-track. El periodo de diseño y apoyo técnico

cubrió desde finales de 2020 hasta marzo de 2023, fecha en que finalizó la construcción, realizada por la constructora VISE.



Figura 1. Vista general de estructuras del Enlace AIFA.

El enlace AIFA consta de diversos viaductos, sumando una longitud de obras de 7 km, con una superficie de 54000 m², comprendiendo las siguientes tipologías:

- Puentes de vigas prefabricadas de hormigón:
 - Viaductos 1 y 2 (en su mayor parte de hormigón), y Viaductos 220, 270, y 290, a base de vigas AASHTO y Nebraska, con luces entre 30 y 56m.
 - Viaducto 280, con vigas en sección cajón, con luces hasta de 55m.
- 4 puentes mixtos con la siguiente geometría:
 - Viaducto 1, de 242m de longitud y luz máxima 71m.
 - Viaducto 2, constando de dos tableros separados:
 - Calzada derecha, de 141m de longitud y luz máxima 71m.
 - Calzada izquierda, de 171m de longitud y luz máxima 73m.

- Viaducto Eje 300, de 290m de longitud, vanos isostáticos de luz máxima 32m, y gran curvatura en planta.

Los tableros mixtos se resuelven con sección transversal en cajón único (Viaductos 1 y 2 Calzada Derecha), o con dos cajones metálicos (Viaducto Eje 300 y Viaducto 2 Calzada Izquierda), en función del ancho de plataforma, en general bastante variable para adaptarse a la compleja geometría de los enlaces.

Todos los puentes tienen subestructura de hormigón armado, y cimentaciones pilotadas, debido a las bajas capacidades resistentes del terreno. El encaje de vanos y pilas resultó de gran complejidad, por la interacción con los numerosos condicionantes existentes (ejes de carretera, FFCC, servicios, canales, etc.) y la interacción con las fases constructivas del enlace y el tráfico. El emplazamiento es de una elevada sismicidad, al estar localizado en el entorno de Ciudad de México.



Figura 2. Vista aérea de estructuras desde Viaductos 270 y Eje 300.

2. Descripción de los Viaductos Mixtos

Los viaductos mixtos del enlace AIFA pueden agruparse en dos categorías en función de sus características.

El peso total de acero estructural sumó unas 2300t. La fabricación se llevó a cabo en los talleres de RECAL (Viaductos 1 y 2) y AJAX (Viaducto Eje 300).

2.1 Viaductos en el cruce sobre el FFCC

En el primer grupo se incluyen el Viaducto 1, y los dos Viaductos 2 (Calzadas Izquierda y Derecha), en el cruce sobre el FFCC, cuyos condicionantes son:

- El encaje de pilas se ve fuertemente condicionado por el cruce con el FFCC, muy fuertemente esviado.
- Restricciones geométricas a la ubicación de pilas por la presencia de conducciones de PEMEX, viales, la presencia de rampas de incorporación/salida, etc.

- La luz principal es del orden de 70-74m, con fuertes restricciones de gálibo inferior con el FFCC, lo que obliga a un canto estricto en esa zona.
- Ancho de tablero fuertemente variable por geometría del enlace.
- Apoyos con fuertes esviajes y disposición de geometría inicialmente compleja.

La solución de tablero escogida fue la de cajón continuo, con canto variable en el cruce sobre el FFCC, para tener flexibilidad con el encaje de los apoyos verticales, tanto en posición como en su orientación. Las pilas de dicho cruce se dispusieron en pastilla, con formas cuidadas, y apoyos POT únicos sobre pila, para introducir vinculaciones con un comportamiento lo más simple posible.

El cajón resultante en ambos casos tenía un canto constante de 2.20m de metal en la zona fuera del cruce sobre el FFCC, y 3.25m en la zona de canto máximo en dichas pilas de cruce. La losa superior se dispuso de 0.30m de espesor. En el caso del Viaducto 2, la proximidad del FFCC y las conducciones de PEMEX obligaron

a diseñar una pila pórtico especial, con dintel en cajón mixto, que permitía salvar tales

condicionantes, haciendo posible el apoyo del tablero sobre ella con algo más de libertad.



Figura 3. Vista de Viaductos 1 y 2 cruzando sobre el FFCC.



Figura 4. Vista en primer plano del Viaductos 1 en cruce sobre el FFCC.

Las vinculaciones fueron estudiadas para hacer frente a las solicitaciones sísmicas. El punto fijo longitudinal de los tableros se dispuso en el V1 en dos pilas pastilla fuera del cruce del FFCC, colocando apoyo libre en las pilas fuertemente esviadas; mientras que en el V2 hubo de concentrarse en una sola pila pastilla, mediante tope.

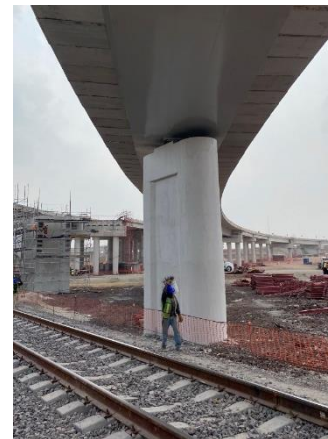


Figura 5. Pila de Viaducto 1 junto al FFCC.



Figura 6. Vista de Viaducto 1 (izquierda) y Viaducto 2 en construcción, mostrando la pila pórtico mixta junto al FFCC.

2.2 Viaducto Eje 300

El segundo tipo de estructura corresponde al viaducto del Eje 300, que es diferente los anteriores en muchos aspectos:

- El trazado en planta es de forma circular, con curvatura muy marcada (radio de 51.8m en eje).
- La posición de pilas presentaba cierta flexibilidad para su posicionamiento a lo largo del eje.
- Los requisitos de plazo para la ejecución eran más ajustados que en los otros viaductos.

La solución que se definió para hacer frente a tales condicionantes fue la de emplear un tablero con doble cajón mixto, con vigas simplemente apoyadas de luz 28.9m en eje de trazado, y canto metálico de 1.35m, más 0.25m de losa de hormigón, para un total de 1.60m de canto. Las piezas que se generaban así eran de tamaño pequeño, transportables de una vez, y permitían su montaje en obra sin realizar

empalmes de elementos principales, lo cual permitió simplificar y acelerar notablemente la construcción.

La losa superior de hormigón armado, realizada con prelosas colaborantes, tenía continuidad longitudinal sobre todos los apoyos interiores, salvo en uno, en el que se dispuso junta intermedia.

Los cajones estaban apoyados en neoprenos convencionales (4 en total por tramo isostático, y por columna), complementados por topes para resistir la acción del sismo en sollicitación transversal a la columna.

La subestructura consistía en simples pilas pórtico de doble fuste de sección circular, adaptándose a la acción sísmica, y similares a las empleadas en diversas estructuras del enlace. Los cajones se hicieron visitables mediante trampilla de acceso en el fondo de cajón, para facilitar su inspeccionabilidad y mantenimiento a largo plazo.



Figura 7. Vista aérea parcial del enlace AIFA, con el Viaducto Eje 300 en construcción en el centro.



Figura 8. Vista de los doubles cajones metálicos isostáticos en el Viaducto Eje 300.



Figura 9. Vista inferior en construcción del Viaducto Eje 300.



Figura 10. Vista superior mostrando losa y juntas del Viaducto Eje 300.

3. Aspectos relevantes de los tableros de hormigón

La gran mayoría de tableros de las estructuras del enlace AIFA se resolvieron con tableros prefabricados de hormigón, por dos motivos principales: mayor rapidez de ejecución, debido a la existencia de numerosos prefabricadores locales; y menor coste de los tableros para casos de luces estándar, y geometría en planta que no tuvieran demasiada irregularidad. Los tableros mixtos se reservaron para los cruces especiales, como se ha visto en el V1 y V2 sobre el FFCC, o geometrías más forzadas, como es el caso del viaducto del Eje 300.

En general, debido a la posición forzada de muchas de las pilas por los condicionantes existentes, el encaje de la subestructura resultó de cierta complejidad, no pudiendo recurrir al uso de columnas tipo para simplificar el diseño, y a que cada una de ellas tenía particularidades. El comportamiento general de la subestructura era irregular debido a la heterogeneidad espacial. Por simplicidad, se decidió resistir el sismo por

medio de neoprenos convencionales y topes sísmicos transversales.

Las características de los tableros de hormigón son:

- Tableros de luces hasta 30-32m, resueltos con vigas AASHTO Tipo IV.
- Tableros de luces hasta 56m (Viaducto 290), y hasta 55m en varias localizaciones (Viaducto 2), con vigas Nebraska de 2.4m de canto.



Figura 11. Acopio de vigas Nebraska 240 para Viaducto 290.

- Vigas cajón en Viaducto 280 de 53m, y 2.0m de canto. Estas últimas se dispusieron por el encaje curvo del tablero. Presentaban una disposición a hueso en su extremo superior, y voladizos variables para adaptarse al encaje curvo y apoyo esviado en planta.



Figura 12. Vista del Viaducto 280 en construcción.



Figura 13. Vista del izado de las vigas cajón de 54m del Viaducto 280.

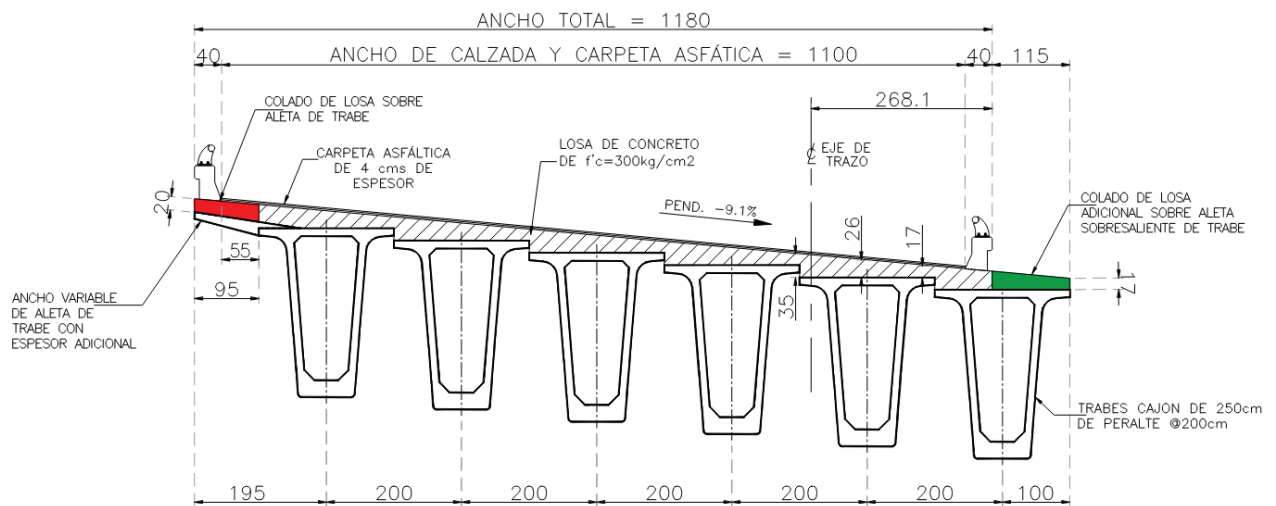


Figura 14. Sección tipo del tablero del Viaducto 280.

Agradecimientos

El desarrollo del proyecto y apoyo técnico a obra en los ajustados plazos exigidos supuso un reto de muy alta dificultad.

Los autores reconocen con gratitud la confianza puesta por ALEÁTICA en IDEAM (ahora TYLin Spain), y el trabajo en equipo realizado que permitió que el proyecto se realizara adecuadamente y en plazo a pesar de todas las dificultades. Se quiere personalizar especialmente este agradecimiento en las figuras de D. Fernando Sotos Alfaro, Director

Ejecutivo Técnico, y D. Antonio Pinilla Flores, Director de Seguridad Vial.