

Autopista Urbana Norte (México)

Ángel Mesa, director técnico de OHL Concesiones

Ignacio García, director de Concesiones en Fase de Construcción. OHL México

Víctor Moctezuma Hernández, ingeniero de Estructuras de OHL Construcción

Javier Rodríguez Cepeda, director técnico de OHL Construcción

Resumen

La Autopista Urbana Norte se configura como una vía de comunicación de referencia para el transporte de la mayor zona metropolitana del hemisferio norte, con cerca de 27 millones de habitantes. Conecta el Estado de México, a la altura del apeadero ex-Toreo de Cuatro Caminos, con el centro, poniente y sur de la Ciudad de México, y favorece la reducción de los tiempos de desplazamiento, lo que revierte en una mayor competitividad de la Ciudad de México así como en la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos.

Palabras clave

Infraestructuras, resiliencia, innovación, eficiencia, movilidad

Abstract

The Northern Urban Toll Road is a reference urban transport route located in the largest metropolitan area of the northern hemisphere, with close to 27 million inhabitants. It connects the Mexico State, at the ex-Toreo stop of Cuatro Caminos, with the centre, west and south of Mexico City, and contributes to the reduction of travelling times, which reverts to greater productivity within Mexico City and to an improvement in the quality of life of its citizens.

Keywords

Infrastructures, resilience, innovation, efficiency, mobility

La estructura fue diseñada acorde con una arquitectura moderna, compatible con el entorno urbano y que evitara cualquier afección al Bosque de Chapultepec, el parque urbano más extenso de Latinoamérica. Asimismo, durante la construcción de la autopista, se minimizó el impacto de los trabajos en la actividad de la vía principal, Periférico Manuel Ávila Camacho, que soportaba una intensidad media diaria de tráfico (IMD) superior a los 240.000 vehículos. Estos condicionantes impulsaron la búsqueda de innovadoras soluciones en el diseño y la construcción de la nueva infraestructura. Tanto la tipología estructural elegida como el uso de estructuras prefabricadas y la adopción de un esquema de trabajo nocturno fueron algunas de las medidas adoptadas.

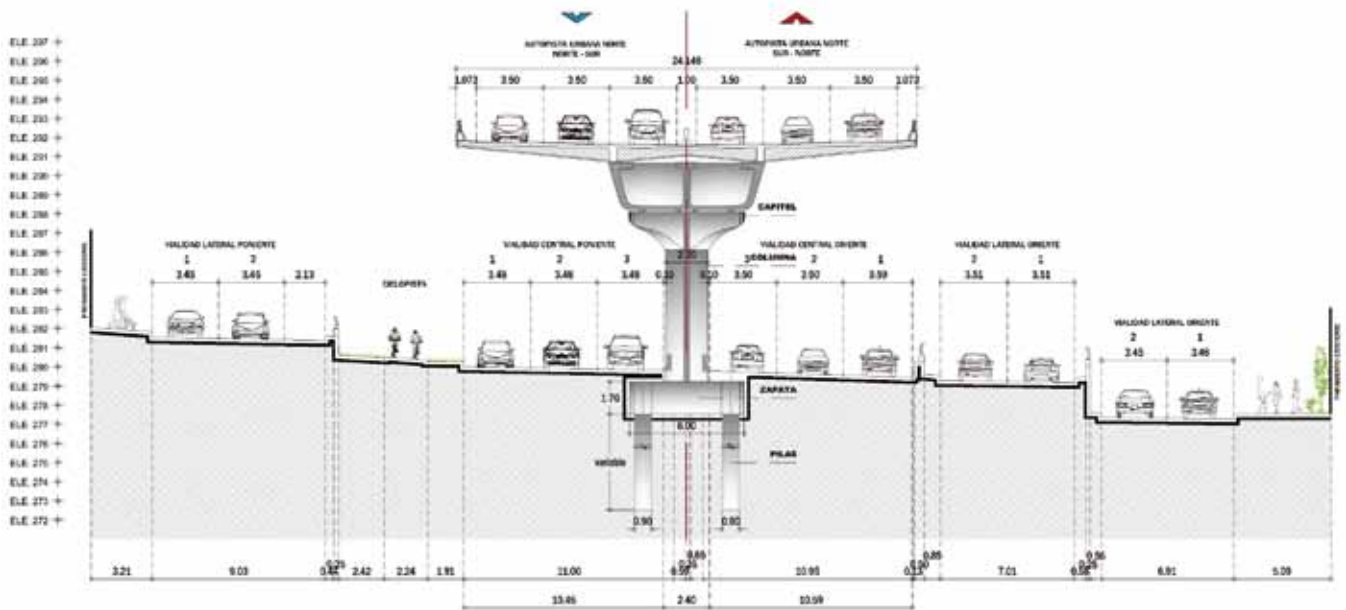
Además, en el diseño se tuvieron en consideración otros elementos relacionados con la movilidad urbana, entre ellos, la mejora del acceso peatonal al centro de negocios y la construcción de varios kilómetros de carril bici que interconectan zonas anteriormente aisladas y que han facilitado la integración de las distintas secciones del citado Bosque de Chapultepec. El impacto socioeconómico, muy destacado en cuanto a ahorro de tiempo en los desplazamientos, la mejora de la movilidad y los proyectos de mitigación del

impacto ambiental, fueron algunos de los elementos claves del proyecto.

Cabe destacar, asimismo, la incorporación de un sistema de peaje 100 % electrónico bajo un modelo de negocio *Free-Flow* mixto, que soporta un alto flujo de tráfico y un ingreso a la vía con telepeaje canalizado como mecanismo de control de los infractores. Por último, destaca también la implantación, una vez concluida la fase de obra, de un proyecto de I+D+i que consiste en el seguimiento en tiempo real del estado de las estructuras, fundamentado en la elevada actividad sísmica de la zona. Ambas iniciativas suponen un aumento de la capacidad de absorción de tráfico y una mejora de la seguridad y funcionalidad de infraestructura, respectivamente.

Diseño

La mayor parte de sus algo más de 9 km concesionados están constituidos por un viaducto elevado de tablero único con tres carriles por sentido y 24 m de anchura sobre el Anillo Periférico, y su trazado incorpora además 725 m de túnel por debajo del cruce de Paseo de la Reforma y la Fuente de Petróleos, con el fin garantizar la preservación ambiental de la zona del Bosque de Chapultepec. La vía cuenta en la



Croquis de la sección tipo del tronco principal



Panorámica de la calzada en fase de construcción



Pórticos hiperestáticos

actualidad con 11 ramales de entradas y 11 de salidas, que incrementan la longitud de estructura elevada construida hasta los 16 km.

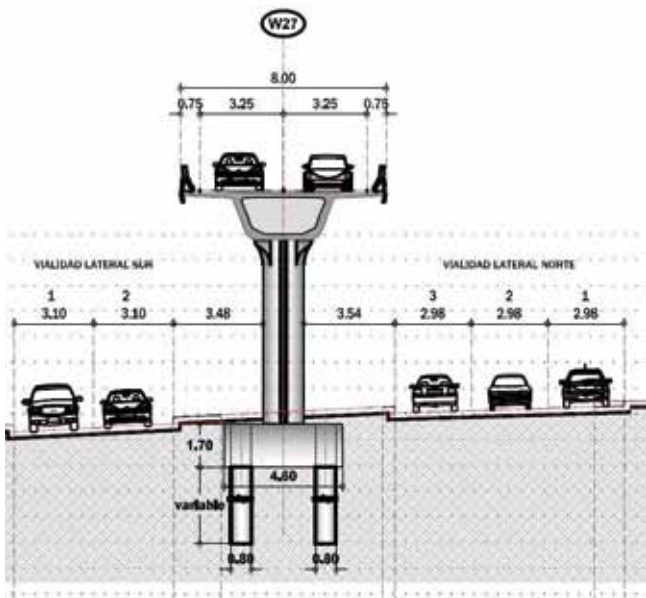
Tramo soterrado

El falso túnel, parte integral del Distribuidor Vial Reforma, se concibió para garantizar la preservación ambiental del Bosque de Chapultepec, evitando la construcción de un viaducto que contrastara con la imagen urbana del sector y al mismo tiempo que permitiera mantener la funcionalidad del deprimido existente bajo la Avenida Paseo de la Reforma.

Se concibió un túnel de dos niveles que albergaría en su nivel -1 la Autopista Urbana Norte, y en su nivel -2 la vialidad libre del Anillo Periférico.

Construcción

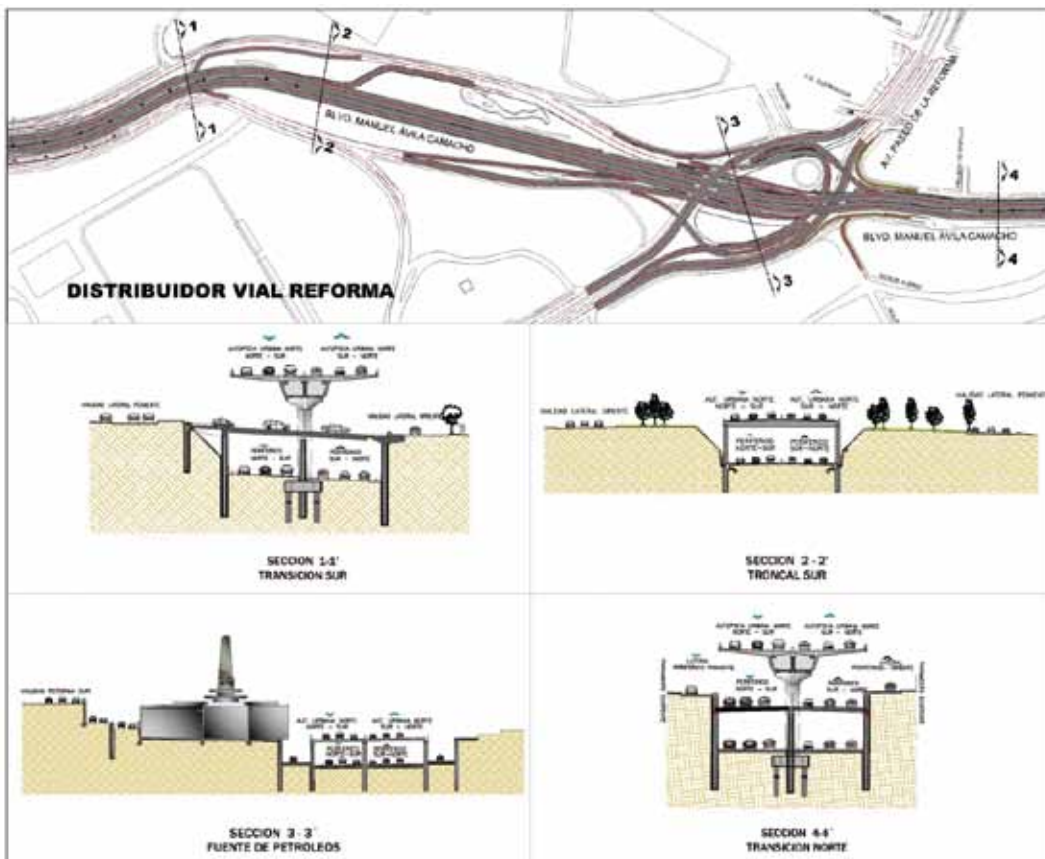
El Anillo Periférico sobre el que discurre la obra es una de las vías rápidas principales de México DF con tráficos diarios superiores a los 240.000 vehículos, donde destacan, especialmente, las intensidades que se registran en el abanico horario de las 6 de la mañana hasta las 10 de la noche. El tráfico predominante en las mañanas son vehículos proce-



Croquis de la sección tipo del acceso



Distribuidor Vial Conscripto, columnas a doble altura y trazo a 90°



Falso túnel de la Autopista Urbana Norte, Distribuidor Vial Reforma



Fuente de Petróleos. Autopista Urbana Norte



Maniobras de montaje durante jornada nocturna



Panorámica general de la construcción del falso túnel, Distribuidor Vial Reforma

dentes de la periferia al centro de la ciudad y, por la tarde, en sentido contrario.

Atendiendo a esta realidad, el horario de trabajo se limitó desde las 11 de la noche a las 5 de la mañana, permitiendo la misma capacidad de tráfico que la actual, con la salvedad de poder reducir los carriles de 3,50 a 3,00 m.

La construcción en la zona de falso túnel representó el mayor reto constructivo de la Autopista Urbana Norte. Dada la necesidad de ejecutarlo por debajo de la vialidad en operación, se implementó un sistema de *by-pass* viales ampliando las laterales existentes y, al mismo tiempo, recurriendo a un sistema de superestructura provisional (mediante tabletas provisionales) que se colocaba en el día para restituir la vialidad y se retiraba en el cierre nocturno para continuar con los trabajos de excavación.

Integración en la ciudad: impacto socioeconómico y ambiental

La construcción y operación de Autopista Urbana Norte proporciona importantes resultados. Si se considera el aumento de la velocidad de circulación de los 50.000 usuarios diarios que transitan por ella, eso supone un evidente ahorro de tiempo global de 15,8 millones de horas anuales.

La planificación de la obra tuvo en cuenta la movilidad de los turistas y el reordenamiento del espacio urbano, con la incorporación de varios aspectos ambientales, entre los que destacan:

- la mejora de la calidad del aire debido a la gran reducción de emisiones de gases contaminantes,
- la mejora de la movilidad peatonal y ciclista,

- garantizar la preservación ambiental de la zona del Bosque de Chapultepec,
- la optimización de los servicios de las áreas de valor ambiental mediante la elaboración de proyectos de mejora de las condiciones de conservación y mantenimiento de aquéllas, y
- la incorporación de medidas de eficiencia energética en la operación y mantenimiento de la infraestructura.

Autopista Urbana Norte es una infraestructura vial planificada para incrementar la eficiencia del transporte en automóvil, con aumento de la velocidad máxima de circulación en zonas altamente congestionadas de 30 a 60 km/h, lo que permitió una reducción de aproximadamente 12.974 toneladas anuales de CO₂, y un incremento muy significativo de la calidad de vida de más de 300.000 personas que transitan diariamente por la zona norte del anillo periférico, sin contar con los habitantes de las zonas colindantes.

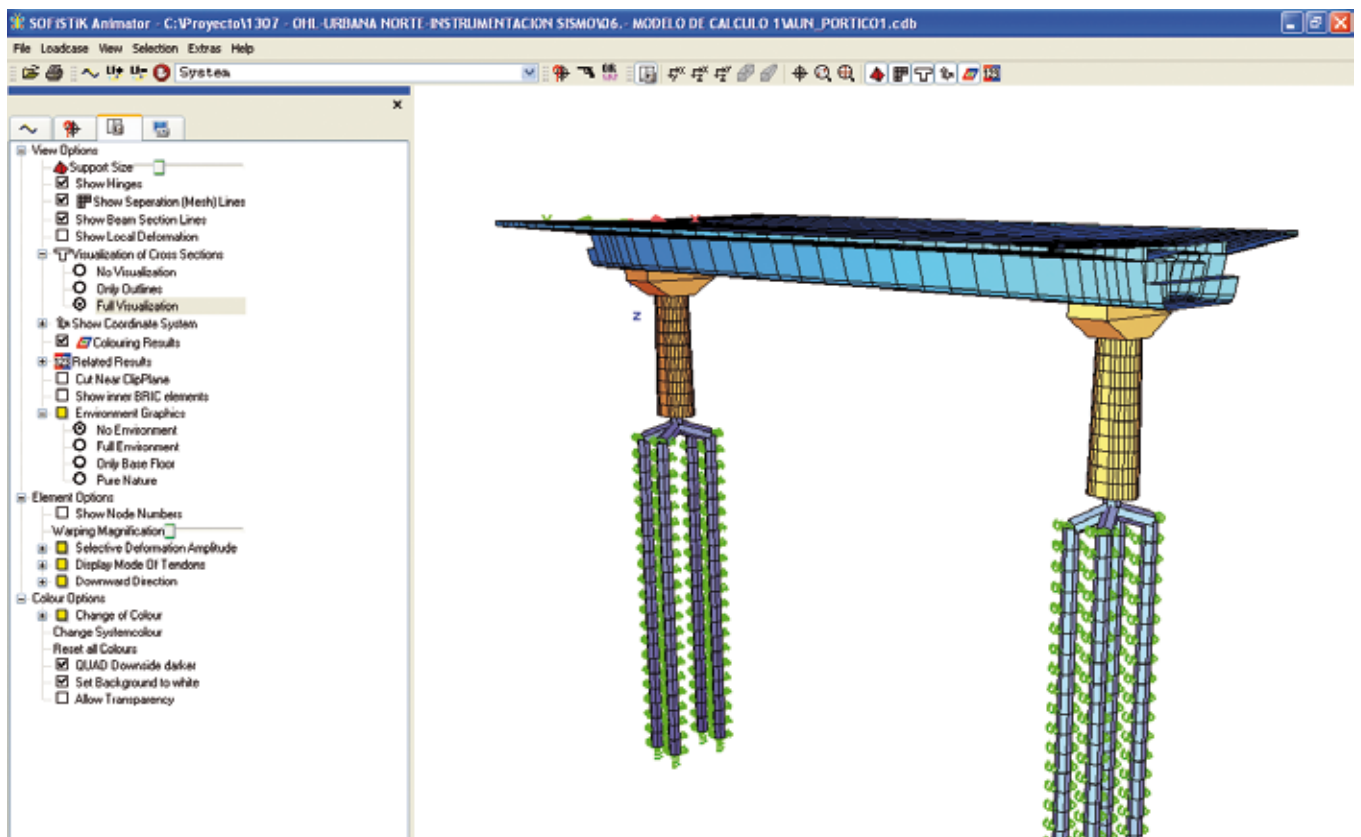
Eficiencia energética

Además del sistema de peaje *Free-Flow*, que optimiza el consumo de combustibles fósiles en los automóviles que circulan por la vía, la adopción de un modelo de eficiencia energética condujo a la instalación de un sistema de lámparas fotovoltaicas para la iluminación de la calzada.

Cerca 900 lámparas ONILED –las primeras en México diseñadas para uso exterior con diodos emisores de luz (LED)– fueron instaladas en el trazado de la autopista. Estas luminarias con alimentación fotovoltaica suponen un ahorro de 400 t anuales de CO₂ equivalente.

Innovaciones en la operación de la infraestructura

El sistema desarrollado consistió en la instalación de vías de peaje canalizadas en las entradas y *Free-Flow* en las salidas. En las entradas solo se permite acceder a vehículos que tienen un dispositivo de pago electrónico. Estas vías de telepeaje canalizadas para el control de infractores



Detalle del análisis computacional de la estructura.

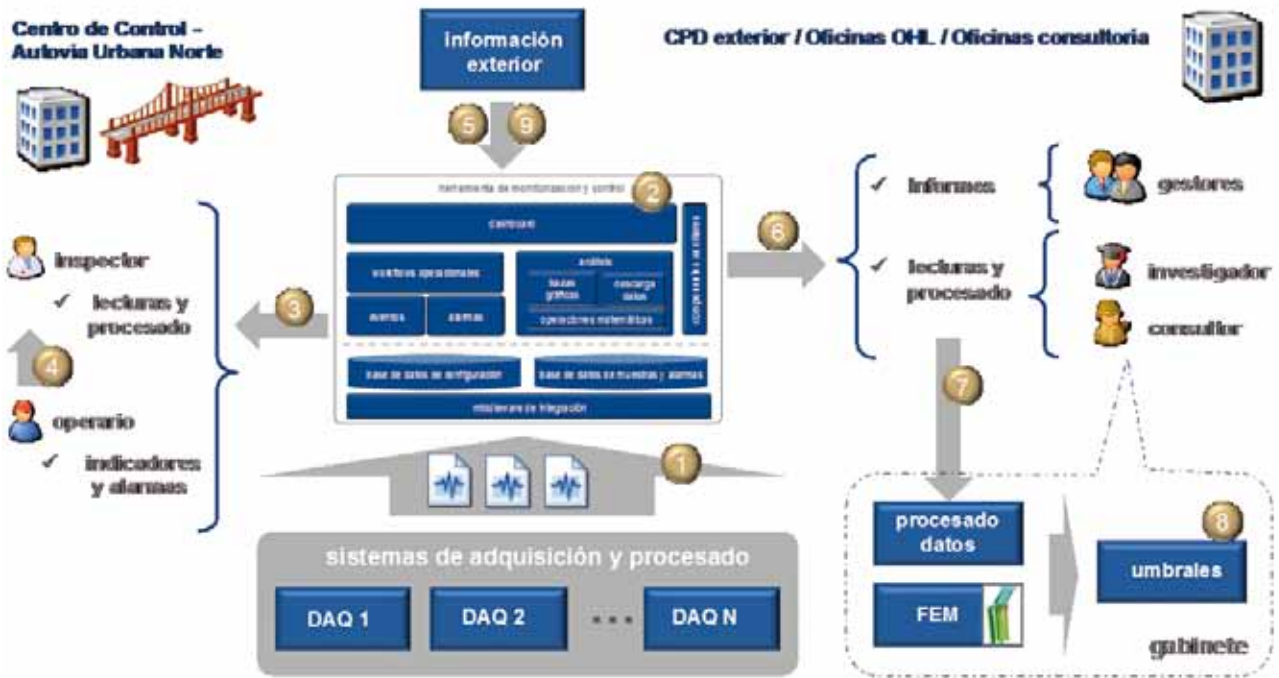
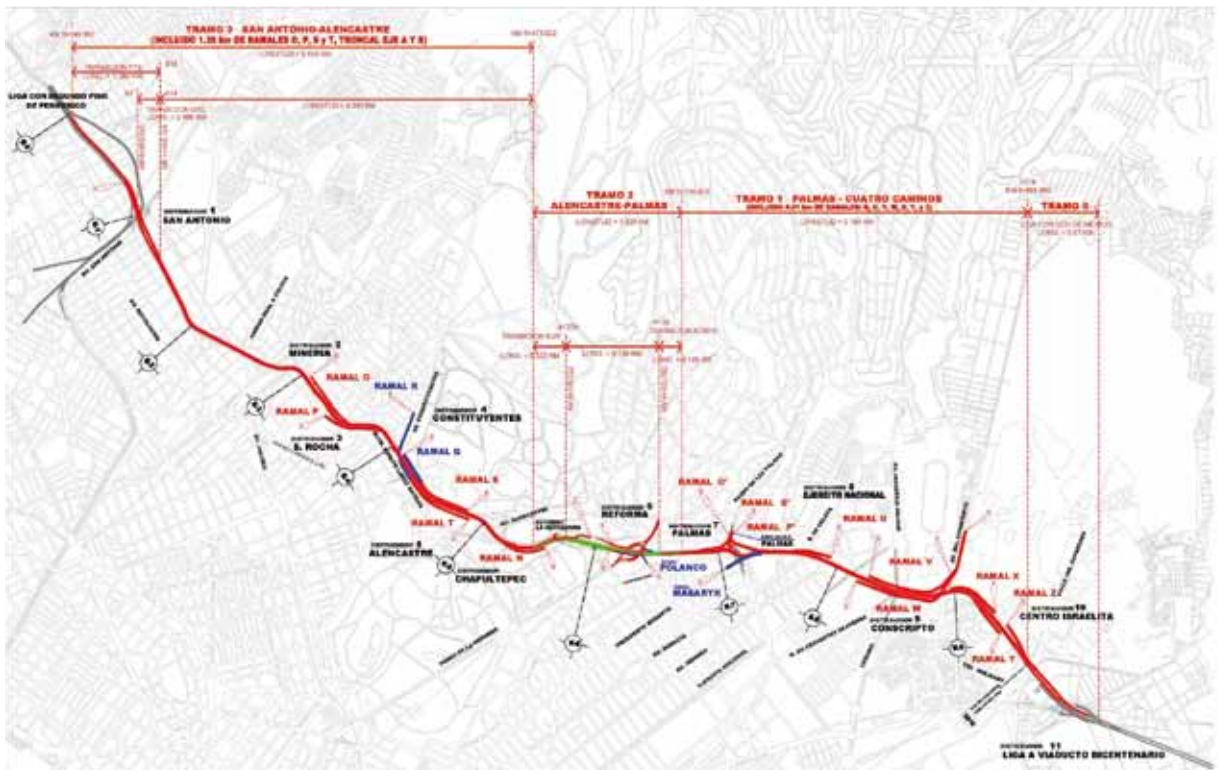


Diagrama general de la solución



Croquis de la traza con el detalle de los tramos

propiciaron el diseño de una compleja estructura de vías de escape que permitiese evacuar a aquellos conductores que no dispusieran del mismo. Este esquema, junto con una serie de procedimientos para atender a vehículos en la vía, es imprescindible para maximizar la capacidad de acceso al viaducto, uno de los principales cuellos de botella del sistema.

Monitorización de la infraestructura frente a sismos

La Ciudad de México presenta una alta peligrosidad sísmica, y su afección a las infraestructuras, especialmente si se trata de viaductos, impacta de forma notable en la seguridad, conservación y planificación de las inversiones. Se ha puesto en marcha un proyecto de I+D, actualmente en ejecución, basado en la apuesta por nuevas tecnologías de sensorización, procesado y comunicación capaces de medir la evolución de la estructura en tiempo real.

OHL Concesiones ha diseñado e implantado un sistema de sensores para la adquisición de datos en tiempo real sobre el estado estructural del viaducto, y un sistema de almacenamien-

to y procesado de esta información. En una fase posterior del proyecto y tras la ejecución de complejos procesos de cálculo y simulación, se generarán modelos de comportamiento estructural. En este proyecto se utiliza una metodología basada en el uso del sistema *Structural Health Monitoring* (SHM), combinada con el desarrollo y análisis de los modelos de elementos finitos (por sus siglas en inglés, FEM) de la estructura. El primer resultado de este proyecto será una evaluación de la seguridad y funcionalidad de la estructura en tiempo real.

Uno de los resultados más interesantes, a corto plazo, son los citados protocolos de actuación en función de las diferentes tipos de alarmas y escenarios que genere el sistema, que ofrecerán un soporte muy útil –virtualmente imprescindible– a la toma de decisiones en el mantenimiento y de cara a la posible necesidad de reformas o rehabilitaciones en las infraestructuras. El viaducto ha sido diseñado para resistir y soportar el tráfico previsto y aumentos del mismo, pero, gracias a este proyecto de I+D+i, se va a contribuir, además, a mejorar la resiliencia de la ciudad. **ROP**

FICHA RESUMEN DE LA AUTOPISTA URBANA NORTE

Obra	Autopista urbana de 6 carriles de sección	
Organismo promotor	Secretaría de obras del Gobierno del Distrito Federal	
Sociedad concesionaria	Autopista Urbana Norte, S.A. de C.V	
Periodo de concesión	Diciembre de 2012 - diciembre de 2042	
Inversión total gestionada	662,3 millones de euros	
Fase de inversión	Junio 2010 – diciembre 2012	
IMD (Intensidad media diaria de tráfico)	44.091 vehículos	
Longitud tronco principal	Viaducto	9,1 km
	Falso túnel	0,75 km
Longitud ramales	7,15 km	
Empresas	OHL Concesiones / OHL Construcción	
Plazo de ejecución	24 meses	
Inicio de las obras	Enero de 2011	
Apertura Tramo 1 (3,34 km)	Diciembre de 2011	
Apertura Tramo 2 (0,75 km)		
Apertura Tramo 3 (5,72 km)	Diciembre de 2012	
Finalización de las obras		