

NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y REFORZAMIENTO (PRIMERA PARTE)

# INGENIERÍA DE PUENTES

Por:  
Ing. Luis Flores Tantaleán (\*)

Nadie puede negar la importancia que tienen los puentes en el desarrollo vial y nacional de nuestro país. Cada año se construyen nuevos puentes y se presentan proyectos de rehabilitación y reforzamientos de los más antiguos, para adecuarlos a las nuevas solicitudes y/o normas vigentes de diseño. A nivel mundial, nuevas tecnologías y materiales se suman al concreto armado para mejorar sus propiedades y lograr con ello mayor resistencia y durabilidad, sumado a nuevas formas que impactan no solo por su belleza sino por su funcionalidad. En ese sentido, conozcamos los avances que viene experimentando la ingeniería de puentes.

## Los puentes de concreto: problemas y soluciones comunes en todo el mundo

A raíz del trágico colapso el 01 de agosto del 2007 del Puente Interestatal 35W, en Minnesota (Estados Unidos), que cobró 13 vidas y afectó directamente a 144 personas -sin mencionar el caos que generó por buen tiempo en esta importante ciudad de Estados Unidos- la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transportes (AASHTO) publicó un reporte

muy completo y documentado sobre la situación y evaluación general de los puentes de Estados Unidos, incluyendo su proceso de restauración y reconstrucción (búsquenlo en la página web de la AASHTO como "Bridging the Gap"). En este interesante informe podemos ver que la realidad nacional y seguramente la de muchos países sobre la problemática en infraestructura vial, salvando las diferencias, presentan similitudes con Estados Unidos. Veamos algunos datos, diagnósticos y soluciones que se encuentran en este informe:

Identificación de los cinco principales problemas:

### 1. Tiempo de servicio y deterioro.

La mayoría de los puentes en Estados Unidos, construidos entre los años 1950 y 1960, necesitan reparaciones mayores o reemplazo. La edad promedio de los 560,000 puentes es de 43 años. Se estima que uno de cada cuatro puentes son estructuralmente deficientes o se encuentran obsoletos para los volúmenes actuales de tráfico.

2. **Congestión.** Estados Unidos no podrá resolver sus dificultades de congestión sino resuelve el problema de sus puentes que se han convertido en cuellos de botella en

las carreteras. Los 10 principales puentes interestatales causan un promedio de 1.5 millones de horas-camión perdidas cada año. Para mejorar estos intercambios, gran parte de la inversión estará relacionada a construcción de nuevos puentes y viaductos.

### 3. Aumento de los costos de construcción.

Hoy en día, los costos relacionados a carreteras y tránsito han sufrido incrementos. Así como el petróleo ha cuadruplicado sus costos en los últimos cuatro años, los precios del acero, concreto, asfaltos y movimientos de tierras han aumentado, por lo menos, en un 50%.

### 4. Mantenimiento de la seguridad del puente.

Hay mucha restricción en cuanto al financiamiento de programas continuos de prevención, reparación y reemplazos de puentes que mantendrán a las actuales estructuras crujiendo.

### 5. Necesidad de puentes nuevos.

Los enormes costos asociados a nuevos puentes e intercambios para frenar la congestión y ayudar al crecimiento económico superan con creces los recursos disponibles.

Identificación de las cinco principales soluciones:

1. **Inversiones.** Todos los niveles de gobierno tendrán que aumentar considerablemente la inversión de transporte si se necesita preservar lo que se ha construido y garantizar la modernización esencial para el crecimiento futuro.

### 2. Investigación e innovación.

La seguridad, vida útil e inversión en los puentes americanos están siendo constantemente mejoradas por las innovaciones en diseño, materiales y tecnología. Con estos avances, una nueva generación de puentes seguros y de larga duración estarán asegurados. La investigación sobre el diseño de puentes, los materiales y su rehabilitación debe continuar.

### 3. Mantenimiento sistemático.

A través de sistemas de gestión de largo plazo, los estados pueden producir condiciones estables para todos los puentes considerando bajos costos en sus ciclos de vida. El objetivo es encontrar el equilibrio justo entre la solución de problemas inmediatos, llevando a cabo el mantenimiento preventivo y de forma periódica, además de sustituir un número razonable de puentes antiguos para asegurar puentes estables para la población.

4. **Conciencia pública.** El colapso de un puente en Minneapolis el 01 de agosto del 2007 fue una llamada de alerta que centró la atención nacional sobre la importancia de los puentes en los Estados Unidos. La conciencia es el primer paso hacia un compromiso nacional para aumentar la inversión en infraestructura de transporte.



1. El colapso del Puente Interestatal 35W despertó el interés sobre la real situación de los puentes en Estados Unidos.

5. **Opciones financieras.** Para resolver las necesidades de los puentes se requerirá, por lo menos, de dos formas de financiación. En las áreas metropolitanas, donde principalmente se requieren puentes nuevos para dar cabida a grandes volúmenes de tráfico, los peajes pueden jugar un papel significativo en los costos de financiamiento. En otras áreas, sin embargo, las agencias estatales y locales de transporte tendrán que depender de un aumento general de los ingresos fiscales para hacer posibles inversiones en la conservación de sus puentes.

Otros puntos importantes:

- Se estima que Estados Unidos debe gastar más de US\$ 140 billones en los siguientes años para reparar y

mantener su red nacional de puentes.

- Para garantizar la seguridad de los puentes se debe llevar a cabo una minuciosa inspección y un programa continuo de rehabilitación y mantenimiento. Las regulaciones federales requieren que, con algunas excepciones, los puentes de más de 6 m de largo sean examinados cada 24 meses por los inspectores de puentes formados y cualificados.
- Nuevo México, Pensilvania y otros estados ya utilizan pruebas de ultrasonido para "ver" el interior de los pasadores de metal que a menudo mantienen unidos los componentes de puentes de acero. El Instituto Nacional de Carreteras también ofrece un curso de cuatro días en

Desde 1988, Fibrwrap Construction ha liderado la industria de la reparación estructural por medio de reforzamiento con FRP (Polímero Reforzado con Fibra), siendo la primera empresa certificada para la instalación del Sistema de Reforzamiento Tyfo® Fibrwrap® desarrollado por Fyle Company. Estamos en más de 25 países a nivel mundial.

**Ofrecemos los servicios de Reforzamiento Estructural:**

- Diseño e instalación de fibra de carbono- FRP.
- Adecuación sísmica.
- Mitigación de impactos y explosiones.
- Rehabilitación de concreto.
- Juntas sísmicas y de expansión.
- Inyección epóxica de fisuras.
- Protección contra corrosión.
- Rehabilitación de concreto dañado.

**FIBRWRAP Construction Perú SAC**  
Av. Benavides No. 4129 Surco, Lima - Perú  
Tels: 271 7095 / 448 2603 / 832 \*1263  
Email: firm@fibrwrap-la.com  
www.fibrwrap-la.com

Instalación de Sistemas Tyfo® Fibrwrap®



donde los ingenieros se actualizan con la última tecnología utilizada para inspeccionar los aproximadamente 200,000 puentes de acero en los Estados Unidos. El uso de dispositivos de ultrasonidos y otros les permite evaluar los componentes de puentes que no son visibles, o están incrustados profundamente dentro de la estructura de metal.

- La tecnología de reparación, reforzamiento y rehabilitación de puentes se encuentra en una evolución constante a medida que los ingenieros prueban nuevos materiales, diseños y métodos de construcción, así como nuevas técnicas de inspección para garantizar la seguridad permanente de los puentes. Se han invertido cerca de US\$ 142 millones en programas de investigación en casi todos los estados. Estos proyectos buscan mejorar las técnicas de desarrollo de nuevos materiales, rentables e innovadores; la reducción de los costos de mantenimiento y ciclo de vida; la construcción más rápida y segura de puentes para resistir desastres naturales como terremotos e inundaciones, etc.

- Continuamente se está investigando la manera de hacer puentes más fuertes y seguros. En Alaska, el Departamento de Transporte está probando un nuevo método "sísmico" en la subestructura de un puente de 1,250 m de largo, en el puerto de Kodiak. En Florida, el Departamento de Transporte está experimentando varias estrategias para combatir la oxidación y corrosión de la "armadura" o el acero de refuerzo estructural en los tableros de puentes de concreto y pilares. Están utilizando acero inoxidable revestido de armadura y compuestos reforzados con fibra de polímero en los pilotes y tableros de puentes para evitar daños por corrosión en el futuro. En Iowa, el Departamento de Transporte está probando reforzamientos con fibra de polímeros para sustituir las cubiertas de concreto deteriorado, etc.

2. Es necesario un programa de inspección continuo en los viaductos.

¿Similitudes con el Perú? Muchas, tanto en los problemas como en las soluciones, pero no en la inversión en investigación y desarrollo de tecnología para puentes. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el año 2006 publicó la Directiva N° 01-2006-MTC "Guía para la Inspección de Puentes", la cual debe ser actualizada para servir como una buena herramienta para iniciar un largo pero necesario trabajo de identificación de los problemas por atender.

Antes de ver cuáles son las técnicas más usuales de reforzamiento de puentes, veamos hacia dónde se está moviendo la investigación y desarrollo de la ingeniería de puentes.

#### Avances de la tecnología en el diseño y reforzamiento de puentes

El concreto es el material de construcción más utilizado en la construcción de puentes en muchos países del mundo. Asimismo, el uso de pretensado en estas edificaciones ha crecido rápidamente y de manera constante, desde 1949, con cables de acero de alta resistencia. Solo en Estados Unidos, entre los años 1950 y principios de 1990, el uso de concreto pretensado pasó de ser casi nulo a estar presente en más del 50% de todos los puentes.

El pretensado también ha jugado un papel importante en el incremento de la capacidad útil de los puentes de concreto.

3. Reforzando las vigas de un puente con fibra de carbono.



2.

A finales de 1990, se utilizaron paños con vigas pretensadas de 100 m, lo que constituyó un record para esa época. Hoy en día, con la construcción de puentes segmentales, se alcanzan luces de hasta 240 m.

A finales de la década de 1970, la construcción de los puentes atirantados comienza a crecer en cuanto a los puentes de concreto. En 1982, el puente Sunshine Skyway en Tampa, Florida, había establecido un nuevo récord para puentes de concreto, con un tramo principal de 365 m. Al año siguiente, el puente Dames Point, en Jacksonville, Florida, llegó a un nuevo record de 400 m.



3.

#### • Concreto de alto desempeño (resistencia a la compresión).

Durante muchos años el diseño de vigas de concreto prefabricado o pretensado se basó en concretos de resistencia a la compresión entre 280 a 420 kg/cm<sup>2</sup>. Este nivel de resistencia fue fundamental para la industria del concreto pretensado. En la década de los 90, se comenzaron a utilizar concretos de mayor compresión, y ya desde el año 2000, la industria está preparada para usar concreto de resistencias a la compresión de hasta 700 kg/cm<sup>2</sup>. No queda dudas que en el futuro hablaremos de concretos de mayores performances, ya que en los últimos 20 años se vienen produciendo de resistencias mayores a 700 kg/cm<sup>2</sup>. Los investigadores buscan levantar obstáculos para una mayor difusión.

- **Durabilidad.** Los llamados concretos de alto desempeño (HPC por sus siglas en inglés) pueden ser especificados como de alta resistencia a la compresión (por ejemplo, en vigas pretensadas) o una convencional resistencia a la compresión pero con una durabilidad mejorada. Existe la necesidad de desarrollar mayores avances en todos los parámetros que afectan a la durabilidad, tales como resistencia a agentes químicos, físicos y ambientales, y otros mecanismos que atacan la integridad del material. A largo plazo, se pueden presentar diferencias significativas en la durabilidad de estructuras adyacentes o gemelas construidas al mismo tiempo con el uso de materiales idénticos. Esto pone de manifiesto nuestra falta de comprensión y control de los parámetros que afectan la durabilidad.
- **Nuevos materiales.** Años atrás, las especificaciones para el diseño del concreto se centraban principalmente en la resistencia a la compresión. El concreto está evolucionando hacia el uso de materiales cuyo rendimiento puede ser alterado por el diseñador. Ahora ya se pueden especificar

4. Puentes segmentales.



4.

las propiedades de los materiales tales como la permeabilidad, ductilidad, resistencia a la congelación-descongelación, durabilidad, resistencia a la abrasión, la reactividad, etc.

Otros nuevos materiales, como la fibra de polímero reforzado con compuestos, los refuerzos no metálicos (vidrio reforzado con fibra de carbono y fortalecido con fibras de plástico, etc.), nuevos refuerzos metálicos o de alta resistencia, también se pueden usar para mejorar el rendimiento de lo que se considera que es un material tradicional. El uso de reforzamientos de gran resistencia es particularmente muy eficiente cuando se combina con concretos de alta resistencia. A medida que nuestros recursos naturales disminuyen, se vuelve muy relevante la investigación de los materiales cementicios con productos reciclados y el uso de las fuentes alternativas de agregados (por ejemplo, los reciclados). Los cementos altamente reactivos y los agregados reactivos serán cosas del pasado y los nuevos materiales con durabilidad a largo plazo se convertirán en algo común. En las reparaciones, reforzamientos y rehabilitaciones de puentes, también hay una creciente demanda de nuevos materiales y tecnología. A medida que pasan los años, la vida útil de las estructuras se vuelve crítica. Algunos materiales innovadores, aunque no muy económicos, van a encontrar su nicho en el reacondicionamiento y reparación.

- **Secciones optimizadas.** En los primeros años de uso de concreto pretensado para puentes, los diseñadores concentraron sus ideas en el desarrollo de mejores secciones de viga. El resultado fue que el

contratista tenía que utilizar vigas de diferentes formas, por lo que era demasiado costoso diseñar vigas a medida para cada tipo de proyecto. Como resultado de ello, se comenzó a trabajar en la estandarización de las secciones de vigas de los puentes. No hay duda de que la normalización de las vigas ha logrado diseños simplificados y ello ha llevado a una utilización más amplia del concreto pretensado para puentes y una importante reducción de costos.

- **Puentes segmentales.** En la actualidad, los puentes segmentales se han convertido en el tipo preferido para carreteras y proyectos de alto tránsito con sitios restringidos. Además, la construcción por segmentos ha demostrado ser la más adecuada a gran escala, tales como puentes repetitivos, largas vías acuáticas o viaductos urbanos, autopistas sin peaje, o cuando la estética del proyecto es particularmente importante; seguramente que esta forma de construcción será muy masiva en este tipo de puentes en el futuro. Asimismo, la ejecución de secciones transversales estándar se ha desarrollado para permitir una aplicación más amplia en proyectos de menor escala.

En la segunda parte del artículo hablaremos de nuevas tecnologías en el reforzamiento de puentes.

(Continuará). ■

(\*) Ingeniero Civil, MDI, gerente general de FIBROWRAP Construction Perú SAC, empresa especializada en tecnologías de reforzamiento estructural. E-mail: lflores@fibrwrap-la.com