

INGENIERÍA DE PUENTES

Por:
Ing. Luis Flores Tantaleán (*)

En la primera parte de este artículo, se tocaron algunos temas referentes a los avances en la tecnología relacionada al diseño y construcción de puentes. Ahora veremos algunas novedades referidas al reforzamiento de puentes de concreto armado.

Materiales para reforzamiento

Tradicionalmente, para reforzar puentes se usaban técnicas de encamisado de las secciones de concreto con acero o concreto, o se usaban elementos pretensados externos para mejorar la resistencia de la estructura, compensar errores de diseño, corregir problemas de deterioro o para optimizar el desempeño de la estructura ante cambios de normas o actualizaciones sísmicas.

Sin embargo, estas técnicas resultan costosas por la logística de equipos que conllevan y porque no garantizan una larga vida útil. La corrosión del refuerzo, que es el mecanismo común de deterioro, afecta de igual forma a los elementos adicionales de acero que se colocan. Hoy en día, los materiales compuestos que se vienen usando por más de 50 años en la industria aero-espacial se vienen consolidando como los preferidos para las

reparaciones y/o reforzamientos.

Dichos materiales presentan una alta resistencia a la corrosión y aunque todavía resultan caros, el costo final del reforzamiento se compensa con la facilidad de aplicación y el ahorro de tiempo. Es así que en puentes encontramos diferentes aplicaciones de reforzamiento en elementos estructurales:

- Reforzamiento por flexión de vigas de concreto armado o pretensado.
- Reforzamiento por corte de vigas de concreto armado o pretensado.
- Encamisado de columnas para incrementar su ductilidad antes sollicitaciones sísmicas.
- Reforzamiento de muros de albañilería.
- Reforzamiento de elementos para soportar cargas de impacto o explosivas.

Conozcamos brevemente a estos materiales compuestos conocidos como FRP (por sus siglas en inglés Fiber Reinforced Polymers o polímeros de fibras reforzadas). Los FRP están compuestos básicamente de dos elementos: la fibra y la matriz. Las fibras más conocidas están hechas de aramida (Kevlar, por ejemplo), de carbono o de vidrio, y se encuentran disponibles en mantas o tejidos, uni

o bidireccionales de 1,000, 12,000 ó 48,000 filamentos de fibras.

Las fibras de carbono son las más usadas en reforzamientos debido a su alta resistencia y excelente durabilidad. Se comercializan de diferentes formas: fibras de carbono para propósitos generales con módulos de elasticidad entre 31,908 a 34,809 ksi y resistencias entre 290 a 551 ksi; fibras de alta resistencia, con resistencias entre 551 a 696 ksi; fibras de ultra-alta resistencia con resistencias entre 696 a 889 ksi u otras aún más eficientes y resistentes. La densidad de la fibra de carbono varía entre 1,550 a 1,700 kg/m³.

En casi todas las aplicaciones de estas fibras, la matriz consiste en polímeros (epóxicos, polímeros o vinílicos). El poliéster no saturado es el producto más usado. Las resinas epóxicas son más caras pero proporcionan mejores propiedades de saturado y curado a altas temperaturas. En los reforzamientos con fibra, generalmente el aplicador proporciona la manta de fibra y la resina epóxica de saturación o matriz. Para su aplicación en el concreto, hay que tomar ciertas medidas.

En el Perú hay diferentes sistemas de reforzamiento con fibra de carbono y cada una de ellos provee hojas técnicas para el producto y su

instalación. Adicionalmente a ello, para una correcta aplicación de la fibra, debemos revisar el manual ACI-440 que proporciona una guía de instalación de los sistemas FRP y recomendaciones como:

- **Experiencia del contratista.** Éste deberá demostrar experiencia probada en la preparación de la superficie del concreto e instalación de la fibra, basado en documentos o trabajos previos realizados.
- **Consideraciones ambientales de temperatura y humedad.** Las condiciones ambientales como temperatura, humedad y tiempo de aplicación son factores que inciden directamente en el desempeño de sistema FRP. Cada condición debe ser evaluada pues, por lo general, los imprimantes, las resinas saturantes y los adhesivos son muy susceptibles a no trabajar adecuadamente en condiciones límite, pudiendo afectar el desempeño del sistema FRP.

- **Equipamiento.** Algunos sistemas FRP tienen un equipo especialmente diseñado para su aplicación, como máquinas saturadoras, rociadores, etc., que ayudan a obtener un producto final garantizado. Esta tecnología de punta ya se viene empleando en el Perú, como en el caso del Proyecto Tren Eléctrico.
- **Reparación del sustrato y preparación de la superficie.** El comportamiento del elemento de concreto con un sistema FRP depende de la preparación y estado del sustrato del concreto, por ello es muy importante eliminar cualquier desperfecto y reparar cualquier cavidad que pudiera presentar. Asimismo, debemos asegurarnos del buen estado del acero de refuerzo embebido en el concreto, el cual no debe mostrar síntomas de corrosión. Cualquier fisura existente deberá ser rellenada o inyectada antes de la colocación de la fibra.

- **Mezclado de las resinas.** Se deberán seguir las recomendaciones y procedimientos establecidos por los fabricantes. Hay un tiempo recomendado de mezclado para obtener el estado ideal de uso. Asimismo, se debe controlar con un registro el tiempo de uso luego del mezclado.
- **Impregnación o saturación de la fibra.** Con el fin de asegurar un correcto impregnado de la fibra con la resina, se pueden emplear máquinas saturantes para asegurar la total saturación de todos los hilos de la fibra. De esta manera evitaremos vacíos o las uniformidades que se presentan con la saturación manual de la fibra. El uso de estas máquinas nos asegura también que se minimiza el desperdicio de la resina y se optimizan los compuestos.
- **Colocación y alineamiento de las mantas de la fibra.** Pequeñas variaciones angulares en obra, como de 5°, pueden causar una sustancial reducción de la resistencia. Las láminas o capas deberán ser colocadas, en número, cantidad y dirección, según lo dispuesto por el diseño.
- **Curado de las resinas.** Éste depende de las condiciones atmosféricas y del tiempo. Las variaciones en la temperatura ambiental puede dilatar o acelerar el proceso de curado. Por ello, en condiciones climáticas adversas, se deberán tomar precauciones que permitan un completo curado de las mismas.
- **Protección del sistema FRP.** El contacto directo con polvo, lluvia, humedad, luz solar o vandalismo puede ocasionar el deterioro del sistema FRP durante y después de su colocación. Por ello, es recomendable usar un recubrimiento protector que sea compatible con el sistema FRP empleado. Usualmente, los fabricantes no aceptan el uso de solventes por posibles efectos sobre las resinas.



1.



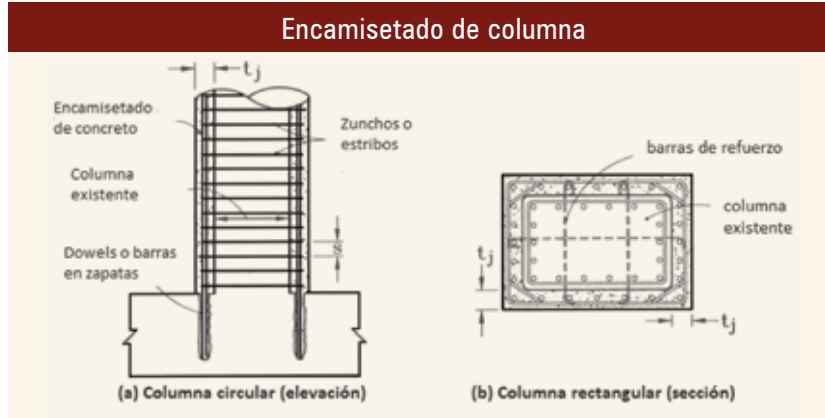
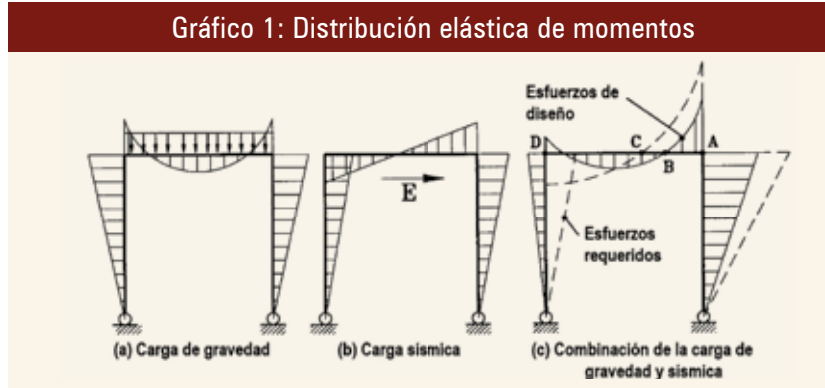
2.

1. El colapso del Puente Loncomilla en Chile (2004).
2. Reforzamiento FRP de las vigas de un puente con mantas de fibra de carbono (Cortesía de FYFE LA).

Consideraciones especiales para el diseño y reforzamiento de puentes

Tal vez por su simplicidad estructural los puentes, especialmente aquellos de concreto reforzado o pretensado, no han tenido un buen desempeño ante situaciones sísmicas. Los terremotos de California, Japón, centro y sur de América han hecho colapsar o han afectado fuertemente modernos puentes que estaban diseñados de acuerdo a las normas vigentes. Este desempeño, en la mayoría de los casos, se debe a la filosofía de diseño adoptada o a la falta de atención a ciertos detalles constructivos. Los terremotos tienen la "habilidad" de identificar las deficiencias y vulnerabilidades estructurales, y concentrar todos los daños en estos puntos. En edificaciones, debido a la participación de muchos elementos que aportan resistencia, las consecuencias no son tan desastrosas como en las estructuras señaladas. Así como la simplicidad ayuda a predecir la respuesta sísmica, en el caso de los puentes resulta muy sensible para los errores de diseño.

Por ello, antes de una retrocapacitación de puentes o un reforzamiento, debemos entender la filosofía de diseño y comportamiento de la estructura para aminorar los daños frente a un sismo o salvarla de un colapso. Mucho se ha avanzado en este campo: los códigos son ahora más estrictos y toca a las autoridades responsables de ellos incrementar sus esfuerzos para desarrollar estrategias de prevención de riesgos:



cualquier costo (o inversión) previo de retrocapacitación o reforzamiento de un puente antes de un movimiento telúrico, tendrá un beneficio incommensurable para la población ante la ocurrencia sísmica.

Revisando los daños que se han presentado en los últimos desastres, principalmente en puentes con más de 30 años de antigüedad, se han identificado tres tipos de fallas de diseño que se manifiestan de diferentes formas. Todas ellas tienen relación directa con la filosofía de

diseño elástico adoptado en ese entonces, que utilizaba menores rangos de esfuerzos correspondientes a la fuerza sísmica y que, en la actualidad, corresponden a una pequeña fracción de los mismos. Por ello, estas estructuras ahora se ven afectadas por fuerzas de 100 a 300% más fuertes que sus fuerzas de diseño originales, y cualquier movimiento sísmico puede disminuir sus capacidades resistentes. Las consecuencias de esta filosofía de diseño elástico se manifiestan en:



3 y 4. Desde el año 2000 en el Perú se viene reforzando puentes con fibra de carbono. En la foto: reforzamiento con FRP del puente colgante Chasquitambo, ubicado en Ancash (Cortesía de Constructora RF SAC.).

- Las deflexiones sísmicas, producto de los niveles de fuerzas laterales, han sido seriamente desestimadas. El uso de la rigidez de la sección no agrietada (en reemplazo de la sección agrietada) en el cálculo de los desplazamientos, ocasionó una predicción muy inferior de los desplazamientos reales.
- Debido a que las fuerzas de diseño sísmico fueron calculadas bajas, el ratio adoptado entre la carga de gravedad y la sísmica fue erróneo, resultando en una combinación de cargas irrealmente bajas y distorsionadas. Al cambiar esto, los puntos de inflexión están mal ubicados y los cortes y ubicación del acero de refuerzo terminaron fuera de dónde realmente debían acabar.

Para explicar de una manera sencilla esto, el Gráfico N°1 representa los momentos en un puente de dos columnas, sujeto a una carga muerta D y a una acción sísmica transversal E. Cuando por las consideraciones del diseño elástico se asumió cierto nivel de fuerza sísmica, la figura C muestra con una línea sólida los momentos resultantes de la combinación de las acciones (D+E).

Debido a que los niveles de esfuerzo de los materiales para el diseño sísmico elástico están muy por debajo de los valores de resistencia, cualquier aumento de la carga lateral podría ocasionar sobre esfuerzos. La línea punteada en la figura C muestra la combinación de momentos resultantes ante un incremento de la carga lateral E. Podemos notar muchas diferencias entre las dos situaciones: el punto de inflexión B se corre hacia una nueva posición C. Debido a que el refuerzo negativo fue detallado en base a los niveles de carga elástica, podemos presumir la ocurrencia de fallas prematuras muy cerca del punto A. En el otro extremo, la combinación elástica determinaba un pequeño momento residual negativo en la junta D, sin embargo, la nueva combinación muestra momentos positivos de magnitud importante en esta región. Seguramente el detalle de refuerzo y anclaje original asumido será insuficiente ante esta nueva combinación. Este pequeño pero ilustrativo ejemplo nos muestra el origen de las fallas que se pueden presentar en los puentes que han sido concebidos y diseñados por métodos elásticos y fuerzas y esfuerzos menores a las reales.

- El diseño elástico no considera las acciones estructurales inelásticas y otros conceptos como ductilidad y disipación de energía, presentes bajo una situación de sismo severo.

En el caso de edificaciones, la filosofía de diseño por resistencia ha sustituido los niveles de esfuerzos obtenidos en el diseño elástico. Para el caso de puentes, los cambios en el diseño no han sido tan dramáticos, siendo aún el diseño por esfuerzos límite el más usado en algunos países.



NO MAS RUIDO - NO MAS HUMEDAD - HERMETICIDAD TOTAL

Ventanas & Estilos
Ventanería de PVC

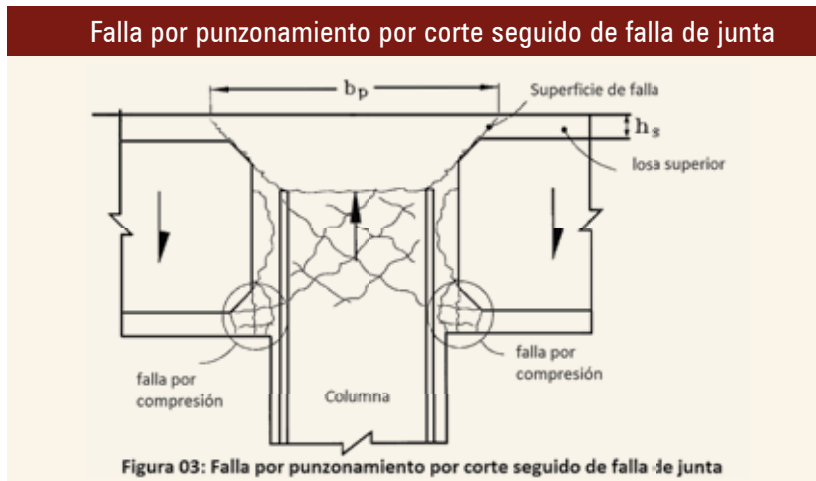


www.ventanasyestilos.com
Showroom Surco: Luis Tezza 173. Of 102 Urb. Polo Hunt
Showroom Miraflores: Calle General Mendiburu 1096
Teléfono: 6280057 - 6280058 - 404*2900 - 997535177
correo: ventas2@ventanasyestilos.com

Retro capacitación de puentes

Hay dos conceptos fundamentales que se deben evaluar antes de la retro capacitación de un puente: el primero, relacionado al nivel de riesgo o daño obtenido luego de una evaluación sísmica y que conlleve a una retro capacitación, y que dependerá de los recursos disponibles. Tomada esta decisión, la segunda será hasta dónde queremos reforzarlo. Esto dependerá de un análisis costo-beneficio.

- Reforzamiento de columnas de concreto.** En el caso de las columnas de concreto, los requerimientos adicionales van por el lado del corte y de la flexión. En la actualidad, las técnicas más usadas para estos casos son los encamisados metálicos, ensanchamiento de secciones y refuerzos con mantas de fibra de carbono. Estos últimos ofrecen ventajas en cuanto a la eficiencia y rapidez en las operaciones necesarias.
- Reforzamiento de las vigas de concreto.** Las vigas laterales transfieren las cargas y esfuerzos entre la superestructura y las columnas. Ante una carga sísmica, las vigas estarán sujetas a acciones de flexión y corte. Las deficiencias más comunes por flexión se presentan en las zonas cercanas a las columnas y en las terminaciones del refuerzo negativo. Asimismo, diseño de elementos monolíticos superestructura-viga y/o columnas-viga, pueden generar problemas torsionales en las vigas. Generalmente, la filosofía de reforzamiento de las vigas por flexión es tratar de aumentar la resistencia de éstas hasta lograr que se produzca la rótula plástica en las columnas. Esto se puede lograr colocando unas vigas intermedias de conexión en las columnas. Para el corte, el reforzamiento puede considerar el uso de materiales compuestos que son especialmente útiles cuando envuelven toda la sección.
- Reforzamiento de la superestructura.** Generalmente las deficiencias en la superestructura están asociadas a juntas insuficientes o mal ubicadas y a una inadecuada



capacidad a la flexión, particularmente en los momentos positivos, para forzar las rótulas en las columnas. En este último caso, el pretensado externo es una buena alternativa para lograr un incremento de resistencia.

- Alternativas de retro capacitación.** La retro capacitación o reforzamiento sísmico significa buscar mejorar un puente para protegerlo contra terremotos futuros. A pesar de que los puentes son estructuralmente seguros para el tráfico cotidiano, proveerle un reforzamiento simple nos puede asegurar una mayor vida útil en el caso de un terremoto de gran magnitud.

Lo interesante es que generalmente estas operaciones se hacen debajo de la superestructura y, en muchos casos, no es necesario inutilizar la vía durante toda la operación, pues los trabajos se concentran bajo la superficie de la calzada, centrándose en las columnas de puentes, vigas transversales y las vigas longitudinales.

Las mejoras típicas en los puentes pueden considerar, fuera de lo indicado líneas arriba, lo siguiente:

- Revestimiento o encamisado de columnas.** La instalación de una chaqueta de metal o fibra de carbono alrededor de la columna de puente. Si una columna de concreto se agrieta durante un terremoto, el encamisado mantiene todas las partes juntas, impidiendo que la columna de desintegre.
- Refuerzo del apoyo de las vigas sobre la viga transversal.** La ampliación del ancho de la viga travesaño o transversal para evitar que las vigas longitudinales se salgan lateralmente durante un terremoto.
- Instalación de topes de vigas.** Colocación de bloques de concreto en cada lado de las vigas para restringir el movimiento de éstas y evitar su deslizamiento o vuelco. ■

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