

ESTADO DEL ARTE DE TÉCNICAS DE REPARACIÓN DE PUENTES

Raúl González Herrera¹, Jorge Alfredo Aguilar Carboney², Carlos Narcía López¹, Enrique Mario De Coss Gomez², Robertony Cruz Diaz²

RESUMEN

Gran parte de los puentes existentes en diversos países del mundo con el paso del tiempo presentan daños y deben enfrentar procesos de rehabilitación y/o reparación. Estos daños son debido a cambios en las demandas del tráfico que los demanda, la fatiga de sus elementos por el uso, las incertidumbres en las fuerzas y procesos metodológicos de diseño que no se contemplaban en los reglamentos empleados en el momento de su cálculo original y a su interacción con el medio ambiente. Las técnicas de rehabilitación para las estructuras de puentes son diversas y no siempre son las idóneas para cada caso. En el presente trabajo se muestran las técnicas usuales y se prospecta hacia donde se dirige la rehabilitación de puentes.

Palabras Claves: Puentes, Nanotecnología, Aislamiento sísmico, Control activo, Articulaciones plásticas.

ABSTRACT

Most of the existing bridges in various countries of the world over time are damaged and must face rehabilitation and / or repair processes. These damages are due to changes in the demands of the traffic that demand them, the fatigue of its elements by

the use, the uncertainties in the forces and methodological processes of design that were not contemplated in the regulations used now of its original calculation and Their interaction with the environment. Rehabilitation techniques for bridge structures are diverse and not always suitable for each case. In the present work, the usual techniques are shown and the prospect of where the rehabilitation of bridges is headed.

Keywords: Bridges, Nanotechnology, Seismic isolation, Active control, Plastic joints.

INTRODUCCIÓN

Un puente es una estructura civil o militar que forma parte de un camino y ha sido empleada desde la antigüedad para atender las siguientes necesidades:

- La comunicación,
- Atravesar ríos, hondonadas, cañones, depresiones, etc.
- La distribución de mercancías,
- Tránsito de personas,
- Generación de riquezas al atraer inversiones y recursos a las diversas regiones,
- Facilita el acceso a regiones más desarrolladas con infraestructura de salud, educación, deportivas, etc.
- Permite que no se concentren las poblaciones en una mancha urbana, sino que se desarrollen regiones satélites.

Los puentes constan fundamentalmente de dos partes (Dheming y Herrera, 2009):

La superestructura: comprende todos los elementos de un puente que están ubicados sobre los apoyos. Cada tramo de la superestructura consta de un tablero o cubierta, una o varias vigas de apoyo y elementos secundarios (diafragmas, arrostamientos y juntas).

¹ Cuerpo Académico Estudios Naturales y Riesgos Ambientales. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Ciudad Universitaria, Libramiento Norte Poniente # 1150, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, E-mail: ingeraul@yahoo.com, raul.gonzalez@unicach.mx.

² Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas, Boulevard Belisario Domínguez Km # 1081, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, jaguilar@unach.mx.

La subestructura (apoyos o soportes): formada por los apoyos, estribos, pilas y cimentación. Los estribos van situados en los extremos del puente y sostienen los terraplenes que conducen a él. Las pilas son los apoyos intermedios de los puentes de dos o más tramos.

Los puentes se pueden clasificar por el uso para el que se desarrollaron en:

- Peatonales,
- Ferroviarios,
- Vehiculares tanto urbanos como carreteros,
- Alcantarilla,
- Mixtos.

Los puentes se pueden clasificar por el sistema estructural empleado en el diseño para tomar los esfuerzos en:

- Puentes de arco (Figura 1),
- Puentes sección cajón, tipo viga,
- Puentes de armadura y/o celosía,
- Puentes atirantados,
- Puentes colgantes,
- Puentes con estribos de tierra armada,
- Puentes con estructura prefabricada,
- Puentes de voladizos sucesivos, etc.

Los puentes se pueden clasificar por sus materiales constitutivos en estructuras de:

- Concreto simple,
- Concreto presforzado y postensado,
- Metálicos: hierro, acero,
- Mampostería (albañilería) y/o piedra,
- Madera,
- Bambú, y
- Mixtos.

Adicionalmente estas estructuras pueden ser permanentes o fijas, o temporales o móviles, como los que se colocan por la caída de un puente fijo después de un desastre causado por fenómenos naturales como es el caso de una inundación, un sismo, un proceso de remoción en masa o durante confrontaciones bélicas, o para permitir la construcción, mantenimiento o reparación de una estructura fija.



Figura 1. Puente de arco sobre el río Grijalva en el estado de Chiapas, México.

Un amplio número de los puentes actualmente en operación en diversas partes del mundo con el paso del tiempo presentan deterioro y daños, los cuales son debidos a cambios en las demandas de tráfico, la fatiga de sus elementos, las incertidumbres en las fuerzas y procesos metodológicos de diseño que no se contemplaban en los reglamentos empleados en su momento y a su interacción con el medio ambiente.

Las técnicas de rehabilitación para las estructuras de puentes son diversas, han ido cambiando con el tiempo, no obstante, en algunas ocasiones no son las idóneas para cada caso. En el presente trabajo se muestran las técnicas usuales para sistemas constructivos de concreto y acero, dejando de lado a puentes de otros materiales y que presentan técnicas específicas. Adicionalmente en este trabajo se prospecta hacia donde se dirige la rehabilitación de puentes.

DESARROLLO

Dentro de las acciones que producen fallas genéricas que presentan los puentes se encuentran las reportadas por la literatura (Winkler, 2011; Rivera et al., 2006; Smith, 1976):

Acciones naturales:

- Procesos químicos de deterioro (corrosión, carbonatación, salinización, reacción álcali sílice, entre otras),
- Efectos axiales por el gradiente térmico,
- Ataque de fuego,

Procesos de diseño, construcción y operación:

- Deficiencias en la construcción,
- Mala calidad de los materiales constitutivos,
- Falta de mantenimiento, desgaste y/o fatiga (Figura 2),
- Deficiencias del diseño estructural,
- Limitaciones de los reglamentos en el momento del diseño (errores epistémicos),
- Fuerzas de la naturaleza subestimadas al momento del diseño o desconocimiento de las acciones reales (sismo, viento, etc.),

Estructurales:

- Pérdida de apoyo de la superestructura durante un sismo o empuje lateral,
- Choque o golpeteo de juntas por movimiento excesivo en sismo,



Figura 2. Falta de mantenimiento en puente, donde se aprecia crecimiento de vegetación, corrosión y carbonatación.



Figura 3. Daño en la autopista Hanshin, tras el sismo de Kobe, Japón en 1994 fallaron 18 pilas (Kawashima, 2000).

- Deflexiones o deformaciones previas no consideradas,
- Socavación de la cimentación por un río o afluente,
- Efectos de suelos blandos, licuación, fallas geológicas no estudiadas con propiedad (Figura 3),
- Sobrecarga e impacto, y
- Crecientes de ríos y procesos de remoción de laderas.

Estas fallas se pueden manifestar tal como lo señalan Molina et al. (2012) en:

- Deformación plástica,
- Deformación inelástica,
- Pandeo,
- Fatiga,
- Fluencia,
- Corrosión (Figura 4), y
- Fractura.



Figura 4. Daño por corrosión en viga de concreto postensada (Emmons, 2005).

La evaluación busca determinar las causas de las patologías que presenta el puente, una vez concluido, se debe tomar la decisión sabiendo que se debe minimizar la intervención y optimizar los costos, incrementar la seguridad, etc., considerando:

- Costos de todo el proceso,
- Tiempos de rehabilitación y vida útil,
- Mano de obra y equipos disponibles,
- Necesidad de uso,
- Efectos directos e indirectos de no hacer la rehabilitación,
- Salvaguardar la integridad de la estructura y las personas que lo repararían,
- Garantizar que el mantenimiento se lleve de manera óptima, y
- Jerarquizar las necesidades de rehabilitación y de la ejecución de las obras.

Las consecuencias económicas que el cierre de un puente genera se incrementan proporcionalmente al tiempo en que permanece cerrado. Por ejemplo, el cambio de ruta para los que utilizaban la vía, genera congestión en rutas alternas, y la reparación o reconstrucción del puente requiere de grandes inversiones (Dheming y Herrera, 2009).

Para poder realizar cualquier nivel de atención en puentes, primeramente, se debe hacer un levantamiento de las condiciones físicas empleando técnicas de evaluación y ensayos en sitio para verificar las condiciones de las estructuras van desde:

- Inspecciones con herramientas percusores como el martillo de rebote,
- Ensayos in situ como: corte en el plano, penetración, barrenado, extracción,
- Inducción de señales: magnéticas, rayos x, pulsos, infrarrojos, acústicas, eléctricas y electromagnéticas (Figura 5),
- Revisión de reacciones químicas,
- Inspección visual, etc.

Adicionalmente se emplean pruebas destructivas del concreto, acero, mampostería, agregados, etc., de acuerdo con las normas locales o internacionales. Los resultados de estas pruebas deben incorporarse para calibrar modelos computacionales que deben de iniciar siendo sencillos para poder analizar

sus resultados, hasta complejos para hacer un análisis multiparamétrico del problema a atender, pero siempre en ese orden.



Figura 5. Verificación de la eficiencia de la inyección de grietas.

Cuando se realiza una rehabilitación la literatura se refiere a un conjunto de modificaciones e intervenciones necesarias para mejorar su comportamiento ante acciones futuras. En caso de reparación nos referimos a restituir las condiciones iniciales. Para reforzamiento nos referimos a incrementar la resistencia, en el caso de rigidización se trata de aumentar la rigidez y la capacidad de deformación y finalmente la reestructuración habla de modificar el sistema resistente a cargas de un puente.

En este trabajo se presenta una revisión del estado del arte sobre el mantenimiento y rehabilitación en puentes de concreto reforzado (hormigón) y acero estructural (no se incluyen los puentes de madera y albañilería), también se señala hacia donde se dirigen estas técnicas considerando el empleo del control activo y pasivo de la respuesta sísmica, la nanotecnología, diversas fibras, etc.

La importancia de seleccionar la técnica adecuada es esencial para lograr atender el mayor número de puentes del inventario de estructuras de una región y darles nueva y larga vida, ya que la reparación implica la inversión de una gran cantidad de recursos para incrementar el tiempo de vida de la estructura y la seguridad de los usuarios, este proceso de rehabilitación también requiere de la interrupción de la circulación del tránsito en periodos cortos o largos dependiendo de las necesidades de la técnica seleccionada para realizar dicho objetivo.

Dentro de las técnicas convencionales más empleadas se encuentran las siguientes:

- Relleno o inyección de grietas con morteros de cemento elástico o con sustancias epóxicas,
- Inserción de barras, placas (soleras), para sustituir el acero perdido o el faltante,
- Reemplazo de elementos dañados, pandeados, etc.
- Inclusión de morteros ricos en fibras de acero, polipropileno, como recubrimiento.
- Encamisado con celosías, mallas, soleras, etc., por falta de resistencia a cortante,
- Colocación de elementos adicionales pilas, elementos rigidizantes, tirantes, etc.
- Postensado externo adherido o deshaderido por flexión (Figura 6),
- Concreto o mortero lanzado,
- Incremento del espesor de cubierta, traveses, pilas, cimientos,
- Colocación de capiteles para evitar punzonamiento, y
- Refuerzo de las conexiones.

Relativo a las técnicas más novedosas que se emplean para la rehabilitación de puentes se pueden señalar las siguientes:

- Protección catódica y/o anódica de la corrosión del acero de refuerzo,
- Colocación de fibras de carbono (Figura 7), y
- Control pasivo de energía sísmica: aisladores sísmicos, disipadores de energía.



Figura 6. Colocación de postensado desadherido en puentes de estructura de concreto.



Figura 7. Colocación de fibras de carbono en puentes de estructura de concreto.

Dentro de los retos que se tienen en la investigación para reparaciones se centra en avanzar en aspectos de nanotecnología para el diseño de nuevos materiales, corregir acciones químicas que producen desgaste, etc., emplear el control activo de energía sísmica y de viento en puentes nuevos y existentes y finalmente tener sistemas de predicción de daño adecuados para evaluar el momento de intervención oportuno en un puente o los daños sufridos mediante un sismo intenso.

Los sistemas más novedosos de predicción como el denominado eBridge 2.0: Predicción remota de fallas en puentes, el cual emplea modelos de predicción, instrumentación e integración de sistema para la toma de decisiones para el mantenimiento de un puente dentro del sistema nacional de puentes de Costa Rica (Ortiz, 2012). Otro sistema similar de detección de daños para México lo proponen Molina et al. (2012). Estos sistemas están en fase de prueba.

De acuerdo con lo analizado en este trabajo, podemos señalar que otros retos en el diseño y control de la seguridad de puentes son los siguientes:

- Lograr que los puentes no fallen en condiciones de alta probabilidad de ocurrencia (eventos cotidianos).
- En caso de presentarse condiciones extraordinarias se deben presentar articulaciones en zonas que permitan una reparación rápida.
- Empleo de técnicas de control pasivo y activo de la respuesta por fuerzas accidentales (sismo y viento).

- Desarrollo de nuevos materiales más ligeros y resistentes para lograr mayor carga o claros más amplios (fibras, partículas nano, etc.). Existen muchos ejemplos de estos impulsados por la nanotecnología y la ingeniería de materiales.
- Técnicas de control de deterioro por corrosión, socavación, identificación de daño, etc.
- Uso de las energías alternativas y el reciclaje de materiales.
- Sistemas de inspección a distancia mediante instrumentación de los puentes.

CONCLUSIONES

Después de realizar este trabajo se puede señalar que es de suma importancia efectuar la evaluación de los efectos patológicos de los puentes para efectuar el mantenimiento, porque ello redundaría en el desarrollo más seguro de nuestras ciudades y de la infraestructura en general; más aun siendo los puentes estructuras cuya importancia es vital para la supervivencia, labores de evacuación y salvataje de la población en caso de desastre.

Después de señalar la importancia de la identificación del daño de los puentes y las técnicas para su rehabilitación podemos señalar como imprescindible:

- Evaluación global del comportamiento de la estructura determina el tipo de reparación que debe emplearse.
- Influencia de la rehabilitación en el comportamiento general (cambio de modos de falla).
- Estudio técnico y económico para seleccionar la mejor opción.
- La reparación está determinada por los materiales, técnicas y capacitación de los operarios de la región. Sin embargo, se deben considerar todas las opciones del mercado.
- Los modelos estructurales deben ser empleados buscando niveles complejos de optimización, pero partiendo de modelos sencillos de fácil comprensión y evaluación por el propio diseñador y cualquier revisor en el futuro.

REFERENCIAS

- Dhemiing, S. S. y Herrera, J. C. (2009). Consideraciones sobre el diseño de subestructuras de puentes carreteros en zonas sísmicas. Tesis para obtener la licenciatura de Ingeniería Civil, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, El Salvador.
- Emmons, P. (2005). Manual ilustrado de reparación y mantenimiento de concreto. IMCYC, México.
- Kawashima, K. (2000). Seismic design, response modification, and retrofit of bridges.
- Molina, M. S., Salgado, R. Zamora, S. A. y Lagunés, E. G. (2012). Detección de daño en puentes mediante un modelo experimental. XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Guerrero, México.
- Ortiz, G. (2012). Proyecto eBridge: Predicción remota de fallas en puentes. Tecnológico de Costa Rica.
- Rivera, D., Echavarría, A. y Pacheco, M. A. (2006). Daños observados en puentes durante el paso del huracán Stan. XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural Puerto Vallarta, Jalisco.
- Smith, D. W. (1976). Bridge failure, proceedings Institution of Civil Engineers.
- Winkler, J. E. (2011). Proposición de mantención, rehabilitación y recomendaciones de diseño para puentes de la región de los lagos. Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Austral de Chile.