

UNA RESEÑA DE ENSAYOS DE CARGA NO DESTRUCTIVOS USADOS PARA LA EVALUACIÓN DE PUENTES

David Jáuregui¹

RESUMEN: El objetivo principal de este artículo es de proveer un breve repaso de la actividad relacionada con la evaluación experimental de los puentes en los Estados Unidos. Los dos métodos de evaluación de carga aplicados por AASHTO (La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transporte) son presentados incluyendo el esfuerzo permisible (AS) y el factor de carga (LF). Además, son discutidos los detalles básicos de los dos tipos de ensayos de carga más comunes para la evaluación de los puentes que incluye ensayos de diagnóstico y ensayos de prueba. El repaso de la literatura aquí presentado está organizado de acuerdo a las agencias activamente involucradas en la evaluación experimental de los puentes en los Estados Unidos incluyendo los Departamentos de Carreteras Estatales y consultorías privadas. El repaso se enfoca en los resultados de ensayos estáticos o semi-estáticos hechos en los puentes de tipo-viga con la intención de mejorar su evaluación.

INTRODUCCIÓN

Numerosas pruebas de carga han indicado ciertos atributos del comportamiento que influyen favorablemente a la resistencia de algunos puentes existentes. Estos factores incluyen las acciones compuestas inesperadas, como la deflexión de los parapetos y los bordes de acera, soporte fijo, etc. Los procedimientos estándares de AASHTO emplean conceptos y suposiciones similares a los usados durante el diseño para evaluar los puentes, lo cual tiende a ignorar los factores mencionados. Estas guías de diseño muchas veces desestiman la verdadera capacidad de un puente existente, lo cual causa que algunos puentes tengan señales de límite de carga o en otros casos sean cerrados al tráfico sin necesidad. Como resultado muchas agencias de carreteras estatales en los Estados Unidos han adoptado métodos de ensayo de carga no destructivos para obtener una predicción mas precisa de la capacidad de los puentes. Universidades y consultores privados también han proveído servicios a los dueños de los puentes cuando la resistencia de un puente o un grupo de puentes se encuentra en duda. En este informe se presenta una breve revisión de la actividad de evaluación experimental de puentes en los Estados Unidos.

ANTECEDENTES

Evaluación de Puentes usando AASHTO

La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO) regula el proceso de la evaluación de los puentes mediante el Manual para la Evaluación de la Condición de Los Puentes (2000). En esta guía se presentan dos métodos de evaluación de carga el esfuerzo permisible (AS) y el factor de carga (LF). La mayoría de los departamentos de carreteras en los Estados Unidos utilizan el método de factor de carga (LF).

La evaluación de un puente, RT , representa el producto del factor de clasificación, RF , y el peso del vehículo de la evaluación, W :

$$RT = RF \cdot W$$

El factor de evaluación se determina por la siguiente fórmula

$$RT = \frac{R_n - \gamma_D D}{\gamma_L L(1 + I)}$$

donde R_n = resistencia nominal del miembro, γ_D = factor de carga muerta, D = efecto nominal de carga muerta, γ_L = factor de carga activa, L = carga nominal ocasionado por el vehículo de evaluación, y I = factor de impacto de carga activa. El factor de evaluación representa la multiplicidad de los vehículos de clasificación que el puente pueda soportar con seguridad. Si el RT es menor que uno, los efectos de la carga activa ocasionado por el vehículo de evaluación excede la capacidad menos los efectos de la carga muerta. Los factores son calculados

¹ Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil y Geológica, Universidad Estatal de Nuevo México, Box 30001, MS 3CE, Las Cruces, NM 88003. jauregui@nmsu.edu

separadamente para los diferentes efectos de carga (i.e., momento, corte, etc.) en donde el valor más pequeño controla el rango de la evaluación.

En los métodos AS y LF, los puentes son evaluados en una clasificación al nivel de inventario y a la operación. La evaluación del inventario es el valor inferior entre los dos niveles de clasificación y corresponde a la carga más pesada que el puente puede ser utilizado con seguridad sobre una base continua. La evaluación de la operación es la máxima carga permisible que el puente puede soportar, pero bajo una situación menos frecuente. Estas dos evaluaciones son reportadas en términos del vehículo de la evaluación. Por ejemplo, la evaluación del inventario y operación de 1.05 y 1.76, respectivamente, podría ser reportado como HS-21.0 y HS-35.2 para un vehículo de evaluación HS-20.

En el método AS, los factores de carga muerta y activa son tomados como unidad mientras que la capacidad nominal es determinada basándose en los esfuerzos permisibles. Por ejemplo, para miembros de puentes de acero, la evaluación del inventario y la operación son determinada usando el 55% y 75% del esfuerzo cedente respectivamente. En el método LF, el factor de la carga muerta es tomado como 1.3 mientras el factor de la carga activa es tomado como 1.3 para una evaluación de operación y 2.17 para una evaluación de inventario. La capacidad nominal es calculada basándose en la resistencia de acuerdo al Diseño de Especificaciones de AASHTO (1996).

Terminología de los Ensayos de Puentes

Los dos tipos de ensayos de carga no destructivos comúnmente usados para evaluar el comportamiento de puentes son de diagnóstico y de prueba. Los detalles básicos de los métodos de diagnóstico y de prueba se describen en las siguientes secciones. Procedimientos específicos para incorporar las medidas de campo del ensayo de la carga de diagnóstico o de prueba en el proceso de evaluación son presentados por Barker (2001), Cai y Sagú (2001), Barker y otros. (1999), y Lichtenstein (1998).

Ensayos de Diagnóstico

Los ensayos de diagnóstico son generalmente empleados cuando los planos del diseño original de un puente no existen para crear un modelo analítico y representativo. Ordinariamente, el vehículo usado para el ensayo es un camión cargado con asfalto o material de construcción que se usa como base para carreteras. El puente es cargado a un nivel abajo de su límite elástico (ver Figura 1) de una manera estática o semi-estática. En el caso anterior, el camión de ensayo con carga se mantiene estacionario en una posición específica mientras los datos son adquiridos. En el otro caso, los datos son adquiridos en diferentes puntos transversales a lo largo del puente cuando el camión de ensayo es conducido a una baja velocidad. Las medidas de deformación y deflexión son tomadas en varios puntos para determinar la distribución de la carga y las características de rigidez del puente. En algunos casos se aplican altas velocidades para determinar los efectos de impacto dinámico.

Después del ensayo, los datos de campo son comparados con los resultados del modelo analítico para determinar el comportamiento del puente y estimar su capacidad. Típicamente los datos de deformaciones y deflexiones son menores que los resultados analíticos como resultado de la dificultad de modelar precisamente la rigidez actual y las condiciones de borde de la estructura. Estas diferencias podrían ser usadas para aumentar la especificación original de AASHTO en la evaluación de carga de los puentes.

Ensayos de Prueba

Un ensayo de prueba representa un intento para determinar experimentalmente que un puente puede resistir con seguridad una carga de un cierto vehículo de evaluación. En situaciones donde un modelo analítico no puede ser desarrollado como resultado de la inexistencia de planos de diseño o cuando el puente ha sufrido un deterioro severo, el ensayo de prueba es preferido. Esta forma de ensayo también se emplea para evaluar diferente tipos de puentes que son difíciles para analizar con modelos lineales y/o problemáticos para la instrumentación en el campo.

Antes que un ensayo de prueba sea ejecutado, una carga de prueba es determinada; lo cual produce los efectos del vehículo de la evaluación incrementado por el factor de la carga activa y factores de impacto (ver Figura 1). Para alcanzar este alto nivel de carga, una variedad de sistemas de carga han sido empleados, incluyendo tractores-trailer cargados con bloques de concreto y tanques militares. La carga de prueba puede ser aplicada sola o en secuencia. La primera opción puede ser ejecutada mas rápidamente pero es más susceptible causar daños al puente. La segunda opción provee un ensayo de carga más controlada porque las deformaciones y deflexiones máximas pueden ser monitoreadas durante cada incremento de carga para asegurar que el ensayo de la carga proceda como ha sido planeado. Las cargas aplicadas en incrementos pueden ser usadas para determinar el lugar de la curva de reacción o para verificar el comportamiento lineal del puente. Típicamente, las medidas son

tomadas en algunos puntos críticos para monitorear la condición del puente durante el ensayo. Después de cada incremento de carga, el grado de recuperación de deflexión y/o deformación es usado como una indicación de la condición del puente y es un factor decisivo para proceder al siguiente nivel de carga. El ensayo es terminado cuando la carga fijada ha sido alcanzada o la reacción del puente llega a ser no lineal. La carga final colocada sobre el puente es considerada como la capacidad factorizada y es reducida por el impacto y los factores de la carga activa para obtener la evaluación de rango del puente.

REVISIÓN DE TRABAJOS

La revisión de los trabajos previamente realizados ha sido organizada de acuerdo a las agencias activamente involucradas en la evaluación experimental de los puentes en los Estados Unidos. La revisión se enfoca en los resultados de ensayos estáticos y semi-estáticos hechos en la estructura de los puentes con vigas con el objetivo principal de mejorar su evaluación. Aunque sólo las prácticas en los Estados Unidos son descritas aquí, Canadá y Suiza tienen una extensa experiencia en el ensayo de los puentes que han sido revisadas por Pinjarkar (1998).

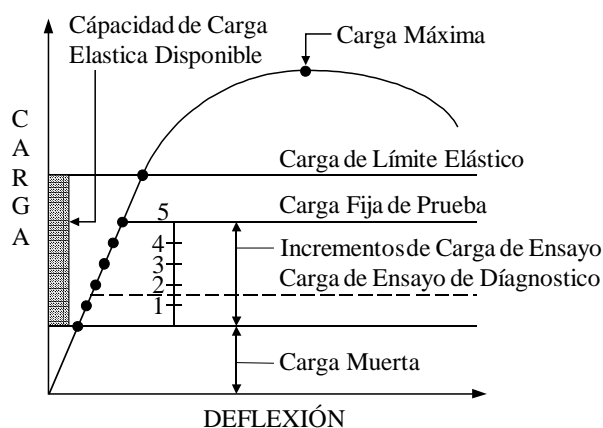


Figura 1: La Respuesta Hipotética de Carga controla la Deflexión de un Puente (Pinjarkar *et al.*, 1998).

Sondeo de los Departamentos de Carreteras Estatales

Comenzando en el año de 1980, el Departamento de Transporte de Nueva York ocasionalmente ha usado el ensayo de diagnóstico de carga para determinar el nivel de seguridad de carga para los puentes. En los últimos diez años, la actividad de evaluación experimental para los puentes se ha ido expandiendo a otros departamentos de transporte incluyendo Alabama, Delaware, Florida, y Michigan. Una descripción del ensayo de carga y el diseño de la instrumentación, procedimientos de ensayo, y análisis de datos hechos en estos estados es presentada en las siguientes secciones.

Kissane, Beal y Sanford (1980): Para dar un ejemplo de la aplicación de los ensayos de evaluación de carga no destructiva, podríamos mencionar al departamento estatal de transporte y carreteras de Nueva York que fue uno de los primeros departamentos en los Estados Unidos en hacer el intento de evaluar la capacidad de los puentes usando métodos no destructivos. Este departamento realizó una serie de ensayos en la ausencia de planos originales de diseño de tres puentes que se componían de vigas-T de concreto armado, un puente de plancha de concreto armado, y un puente con vigas-I de acero encajadas en concreto. Las medidas de la deformación fueron tomadas a punto medio entre soportes de cada puente, primero con un vehículo y después con dos vehículos parados uno al lado del otro para verificar la validez de la superposición.

En todo los casos, las deformaciones de los valores de campo fueron significativamente menores que los valores analíticos. Para los puentes con vigas múltiples, las vigas exteriores indicaron menor deformación del acero en tensión que la viga interna como resultado de la inhabilidad de colocar la carga directamente sobre la viga y la contribución de los parapetos. En los ensayos dinámicos, un vehículo era conducido a distintas velocidades a lo largo del puente para determinar la máxima proporción de la deformación dinámica y estática (i.e., factores de impacto). Con la excepción del puente de plancha, los datos de los factores de impacto concuerdan muy bien con el valor limite del 30 por ciento dado en las Especificaciones Estándares de AASHTO (1996).

Los autores discutieron las dificultades que se pueden encontrar en los ensayos de evaluación de carga de los puentes de concreto armado usando datos de ensayo de los diagnósticos de carga. Para una evaluación permisible de esfuerzo, una información confiable de la resistencia del concreto es necesaria. Para un factor de evaluación de carga, la relación no lineal entre el momento y la deformación acercándose al máximo no permite una extrapolación lineal de los resultados de los ensayos. Sin embargo, existen buenos modelos que pueden resolver fácilmente esta deficiencia.

Fu, Pezze y Alampalli (1994): Los autores de este estudio realizaron un ensayo de diagnóstico de carga a un puente de vigas de acero compuesto para mejorar la evaluación de la viga exterior después de remover las placas de cobertura. El puente que mide 16.2 m (53 pies) tiene 6 vigas de acero localizados a 2.1 metros (6.9 pies) de centro a centro. Algunos aparatos de deformación fueron instalados en la plancha de alma y la ala inferior de cada viga a punto medio entre soportes y en la ala inferior de la viga exterior en ambos lados del puente. Los puentes fueron cargados con cuatro camiones que fueron distribuidos en dos configuraciones de carga para maximizar la reacción de cada viga exterior. La carga aplicada era el equivalente al 88% de un vehículo HS-20 más el impacto. Una distribución similar de las cargas fue usada para las dos vigas exteriores, las cuales tenían valores menores a los que fueron calculados de acuerdo a las Especificaciones Estándares de AASHTO (1996). En un extremo del puente, ambas vigas exteriores experimentaron grandes deformaciones negativas en las alas inferiores. La proporción de estas deformaciones negativas y positivas tomadas a medio tramo fue mayor de lo indicado por un alto grado de soporte fijo. Usando los datos de ensayo, una nueva evaluación del inventario fue calculado para las vigas exteriores al igual que dos veces la evaluación original. El ensayo de prueba fue recomendado por los autores para confirmar la seguridad del soporte fijo debido a altas cargas.

Shahawy (1995): Empezando el año 1990, el DOT de Florida adoptó un proceso de ensayo de prueba para determinar la capacidad de los puentes. En estos estudios, los ensayos de prueba de carga fueron conducidos en dos puentes de vigas preesforzadas. El sistema de carga consistió de dos vehículos especializados tractores-trailer, cada uno equipado con una grúa hidráulica para cargar 9.6 kN (2.2 kips) de bloques de concreto. Cada vehículo tiene la capacidad de carga de 72 bloques de concreto para un peso bruto de aproximadamente 907 kN (204 kips). Durante los ensayos estáticos, cada camión fue inicialmente cargado con 24 bloques de concreto los cuales fueron colocados sobre el puente en lugares críticos. El comportamiento estructural durante los ensayos fue monitoreado con medidas de deformación y deflexión en varias posiciones a lo largo de cada viga; principalmente en áreas de máxima reacción. Los resultados fueron comparados con los cálculos teóricos para evaluar el rendimiento del puente. Si la reacción del puente era elástica y lineal sin muestras de deterioro, los bloques de concreto eran añadidos (en incrementos de 12) a cada camión. Este proceso fue repetido hasta alcanzar la carga fijada o el límite de esfuerzo. También los ensayos estáticos y los ensayos dinámicos fueron realizados para determinar los factores experimentales de impacto.

Saraf, Sokolik y Nowak (1996): En el estado de Michigan, los ensayos de prueba de carga se llevaron a cabo sobre un puente de concreto armado que fue construido hace 77 años con vigas-T sin planos originales de diseño y también otro puente de 69 años con vigas de acero no-compuesto teniendo severa corrosión en la ala inferior. Los puentes fueron cargados con camiones de plataforma cargados con tanques militares de 534 kN (60 toneladas).

Ambos puentes fueron instrumentados con indicadores de deformación y deflexión a medio tramo del puente en donde los cálculos preliminares indicaban que el momento flector controlaba la evaluación. Se determinó que la reacción de cada estructura mantenía un comportamiento lineal bajo la carga de prueba requerida. Como consecuencia, las clasificaciones o rangos fueron incrementados aproximadamente en un 15% para el puente de concreto y por un 200% para el puente de acero. El alto incremento de rigidez para el puente de acero fue atribuido a la inesperada acción compuesta en las vigas.

Stallings y Yoo (1993): Los resultados del ensayo de diagnóstico (ambos estático y dinámico) de tres puentes de acero con vigas no-compuestas en Alabama son presentados en este documento. Estos ensayos fueron ejecutados con el propósito de investigar las características de distribución de la carga, efectos de impacto y de interacción de la viga-plancha. Dos de los puentes fueron construidos en 1930 con tramos de 13.4 m (44 pies) y 23.5 m (77 pies). El tercer puente fue construido en 1953 y tiene un tramo de 14.9 m (49 pies). Cada puente fue de soporte simple con cuatro vigas de acero no compuesto y con un piso de concreto armado.

En cada puente, las cuatro vigas fueron instrumentadas a medio tramo con indicadores de deformación en la parte superior e inferior de la viga compuesta. Medidas estáticas demostraron alto grado de acción compuesta en toda las vigas de 13.4 m (44 pies) y 23.5 m (77 pies) de tramo, y también las vigas exteriores de 14.9 m (49 pies) de tramo. Un nivel intermedio de acción compuesta fue experimentado en las vigas interiores de 14.9 m (49 pies) de tramo. El momento total obtenido a medio tramo varió de 20 a 40 por ciento mas bajo que en el análisis. Similarmente, las deformaciones calculadas en las vigas utilizando la distribución de factores medidos

sobreestimaron las deformaciones de campo. Los autores dan crédito a estas diferencias como resultado de la restricción en los bordes de los puentes, lo cual no es considerado en los modelos teóricos. Basado en estos resultados fue demostrado que las soluciones analíticas no pueden ser corregidas solamente reemplazando los factores de distribución de AASHTO con los valores obtenidos de campo; las condiciones de borde deben ser modelados con bastante precisión.

Los cálculos de la evaluación de carga basados en la extrapolación lineal del resultado de los ensayos demostró que no hay necesidad de utilizar factores de evaluación que excedan el rango unitario por 75 a 95 por ciento. Incluso después de estas mejorías en la evaluación, los autores recomiendan que se debe tomar precaución cuando se incrementa la capacidad a niveles más altos como resultado de la posibilidad de la pérdida de la acción compuesta y el soporte fijo. Más aún, los autores no aconsejan usar los factores de impacto para la evaluación de carga, porque los valores representan solamente el efecto del camión de ensayo y no las condiciones reales de tráfico.

Conner y otros. (1997): En este informe, los autores presentan los procedimientos de ensayos de prueba y diagnóstico adoptados por el departamento de transporte de Alabama para evaluar los puentes con vigas de acero. El departamento de transporte de Alabama tiene dos camiones muy similares a los de Florida diseñados específicamente para cargas de ensayo. Usando como carga bloques, el peso de cada camión puede ser ajustado entre 178 kN (940 kips) a 445 kN (100 kips). Durante un ensayo estático, los camiones fueron sobrecargados de 10 a 15% del nivel requerido para la evaluación (típicamente el límite de carga legal) y colocados lado a lado en puntos críticos. Si se tienen las siguientes condiciones bajo la carga de ensayo, el puente es considerado adecuado para sostener las cargas de servicio:

1. No hay señales visibles o audibles de deterioro.
2. La máxima deflexión de la viga es menor que la longitud del tramo dividido por 800.
3. El máximo esfuerzo determinado (incrementado por el impacto permisible de AASHTO), más la carga muerta es menos del 75 por ciento de la fortaleza cedente.

También los ensayos dinámicos son realizados para evaluar el impacto. El programa de ensayos ha resultado en el aumento o en el retiro de las señales de límite de cargas para 46 puentes en Alabama.

Chajes, Mertz y Commander (1997): En este estudio los resultados de la evaluación diagnóstica de carga de planchas de concreto armado sobre vigas de acero se presentan. El puente de Delaware fue construido en 1940 con nueve vigas de acero no-compuestas y tres tramos con soporte simple; dos 7.0 m (23 pies) de tramo de acercamiento separados por 19.5 m (64 pies) de tramo principal. Varias reparaciones han sido hechas al puente, incluyendo una en las alas de la viga inferior en donde las placas de soporte fueron soldadas. Esta reparación restringió el movimiento longitudinal de las vigas produciendo fuerzas de restricción, que causaron fracturas a los miembros que están encima del pilón.

El departamento de transporte de Delaware condujo un análisis inicial basado en el método de evaluación AS asumiendo soporte simple y acción no-compuesta. Los factores de evaluación han sido calculados para un vehículo HS-20 y para vehículos legales específicamente para Delaware. Señales de evaluación (controlados por el momento en el medio tramo de las vigas) fueron inferiores a uno para cada tres vehículos estatales y el vehículo HS-20. Debido a las señales de restricción, un ensayo de carga de diagnóstico fue realizado para mejorar la evaluación. Cada una de las nueve vigas de acero del tramo principal fue instrumentada a medio tramo con sensores de deformación en la parte superior e inferior. En algunas vigas seleccionadas, un punto intermedio entre el medio tramo y el final de la viga fueron también instrumentados. Las medidas de deformación bajo la carga de servicio demostraron evidencias del comportamiento compuesto de las vigas más el soporte restringido.

Usando las medidas de campo, se estimaron la propiedad de sección y la rigidez restringida rotacional en los soportes, y se los incorporó en un modelo de elementos finitos. Como resultado de la precaria condición de los pilones, solamente la acción compuesta fue considerada para calcular la señal final de la evaluación. Como consecuencia de los ensayos se sugirió que las señales de restricción eran innecesarias. Con base en la evaluación del análisis del corte de la interacción de la viga y la plancha, los autores también concluyeron que la pérdida de acción compuesta fue imposible bajo cargas de tráfico normal, pero posible bajo las condiciones de sobrecarga. Los autores recomendaron inspección visual frecuente y ensayos adicionales bajo tráfico normal y el monitoreo continuo de la interacción de la viga y la plancha.

Consultores Privados

En esta sección, la práctica de la Evaluación del Diagnóstico de los Puentes, Inc. (BDI) y los consultores generales de ingeniería son discutidos. El concepto básico de BDI es usar los datos de deformación obtenidos durante los ensayos de diagnóstico semi-estáticos para calibrar un modelo de elementos finitos para igualar así la reacción del puente que ha sido medida (Schulz y otros., 1995; Goble y otros., 2000). Las medidas de deformación son tomadas usando transductores re-usables que pueden ser alargados para medir la deformación de la superficie del concreto en tensión. Las extensiones del indicador generan un promedio de la deformación sobre una longitud más larga para tomar en cuenta las grietas. Ciertos parámetros en el modelo analítico tales como la rigidez de la viga, condiciones de borde, y propiedades del material son optimizados hasta que la diferencia entre el ensayo y teoría se encuentren dentro del 10%. Una vez que éste nivel de confianza es alcanzado, el modelo refinado es usado para realizar las evaluaciones de carga. La técnica de BDI ha sido usada extensamente en la evaluación de los puentes de ferrocarriles y carreteras.

Commander, McMullen y Mohseni (1994): En este artículo, el procedimiento de la evaluación de los puentes fue implementado en una estructura de acero construida en 1969 y localizada en la parte oriental de Colorado. Originalmente el puente tenía 12.2 m (40 pies) de tramo con un corte transversal de 15 largueros de acero no-compuesto separados a 610 mm (2 pies) en centro y sosteniendo una plancha corrugada de acero. Para aumentar su capacidad de carga, una viga exterior fue añadida a ambos lados del puente, colocándola debajo de los largueros existentes a medio tramo para apoyar una viga de tablero. Antes del ensayo, el departamento de transporte de Colorado realizó el análisis de la evaluación con la suposición de que la viga transversal es completamente rígida y analizando los largueros interiores como dos tramos de vigas continuas. Ignorando la rigidez de la viga transversal y las vigas exteriores, este análisis produjo factores de evaluación engañosos. El máximo momento positivo en los largueros fue subestimado causando un rango muy alto. En contraste, la carga transferida a la viga transversal y las vigas exteriores fue sobreestimada, lo cual produjo un rango más inferior.

Debido a la configuración estructural extraordinaria del puente, fue aplicada una carga para determinar la distribución del mismo. Un total de 12 transductores de deformación fueron usados en la instrumentación de la viga transversal, un larguero exterior, y dos largueros interiores. En cada lugar, los transductores de deformación fueron colocados en las alas de la parte superior e inferior de las vigas para evaluar la curvatura debida a flexión y la posición del eje neutral. Un procedimiento de ensayo de diagnóstico fue movido a través del puente con una carga de camión de tres ejes. Los resultados de los ensayos demostraron: 1) virtualmente ninguna contribución de la plancha a la rigidez de las vigas exteriores, 2) señales de rotación y restricción axial, 3) interacción entre la plancha y la viga transversal, y 4) el momento negativo es mínimo a medio tramo de los largueros interiores. Con base en estas observaciones, un modelo de elementos finitos del puente fue desarrollado y calibrado para ajustar el comportamiento observado en el campo a una precisión del tres por ciento. El modelo calibrado mejora la evaluación de la viga transversal y las vigas exteriores, pero disminuyó el rango de los largueros exteriores. Además, fue obtenida una evaluación más balanceada entre los largueros, la viga de tablero y las vigas exteriores.

Craig y otros. (1994): Este estudio presenta los ensayos del diagnóstico de carga de 15 puentes con vigas-I de acero encajados en concreto y construidos entre 1914 y 1928 en el Condado de Chester, Pennsylvania. Los ensayos de campo fueron realizados por una firma de ingeniería de puentes con un subcontratista para la adquisición de datos e instrumentación. El propósito principal de los ensayos de carga fue mejorar las señales que indicaban la capacidad de los puentes. Las guías de evaluación convencional requieren que las vigas sean consideradas no-compuestas porque no tienen conexiones de corte mecánico entre el concreto y el acero. La carga fue aplicada usando camiones cisternas que permitían el ajuste del peso del camión a un nivel seguro.

Resultados del ensayo demostraron una deformación menor a las que fueron pronosticadas para las estructuras de vigas compuestas con tramo simple y sin rajaduras, lo cual los autores atribuyen a la restricción parcial al extremo del puente. Las vigas exteriores demostraron menor deformación que las vigas interiores adyacentes como resultado de la contribución integral a la rigidez de la banqueta o parapeto. Comparado a las Especificaciones Estándares de AASHTO, los factores experimentales de repartición de las cargas para las vigas interiores varían del 19% más bajo a 34% más alto mientras que las vigas exteriores promediaron 59% más alto. Juntos con los factores experimentales de repartición de las cargas, propiedades de la sección derivadas empíricamente fueron usadas para calcular los nuevos factores de evaluación de carga. De los 15 puentes, 12 recibieron límites de valores de señal más altos, y tres necesitaron ser reemplazados como resultado de los ensayos.

Otras Actividades en la Evaluación Experimental de Puentes

Mientras los ensayos de carga puedan ser de práctica común para las agencias indicadas en las secciones anteriores, existen otras aplicaciones notables de ensayos de carga no destructivos para determinar el rango de los puentes. Mediante el ensayo de diagnóstico, Zhou (1996) confirmó las acciones compuestas inesperadas y ajustó el factor de repartición de las cargas de AASHTO para incrementar la evaluación de carga de una viga placa de un puente en el oeste de Maryland por 50%. Commander y Schulz (1997), Azizinamini et al. (1994), Huria y otros. (1994) y Saraf (1998), realizaron estudios relacionados con la evaluación experimental de los puentes de planchas de concreto armado. Ghosn y otros. (1986) realizó ensayos en cinco puentes de Ohio bajo cargas normales de tráfico para determinar la distribución de carga y los factores de impacto dinámico. El peso de los ejes y la separación de los vehículos fueron obtenidos usando la tecnología de peso en movimiento. El objetivo del estudio fue el de evaluar el potencial para hacer medidas de campo bajo condiciones actuales de carga para la evaluación de los puentes. En cuatro de los cinco puentes, los factores de evaluación aumentaron por un 23 a 50% cuando los datos de campo de la distribución de carga y los factores de impacto fueron usados en lugar de los valores de AASHTO.

CONCLUSIONES

Una breve revisión de las prácticas de ensayos de prueba y diagnóstico para puentes en los Estados Unidos dentro de los últimos 20 años ha sido proveído. Los dos métodos se diferencian desde el punto de vista del nivel de carga aplicada al puente, la cantidad y el significado de las medidas tomadas, y la manera como se usan los resultados experimentales para determinar la evaluación de carga. Esta revisión provee antecedentes para las agencias interesadas en adoptar el ensayo de carga como parte del proceso de la evaluación de los puentes. Ha sido demostrado mediante los casos de estudio, que el ensayo no destructivo de carga es un medio muy efectivo para mejorar la capacidad de la evaluación de un puente. Distinto al ensayo de prueba, en donde la decisión de la evaluación puede hacerse, basándose en deformaciones específicas y/o deformaciones obtenidas durante un ensayo, se concluye que en los ensayos de diagnóstico se requiere un análisis más riguroso de los datos después de los ensayos.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea reconocer con gratitud el apoyo del Departamento de Transporte de Texas (TxDOT) que hizo posible esta reseña (proyecto de investigación: Efectos de Sobrecargas en Estructuras Existentes). También se agradece al Dr. Nicasio Lozano y Dr. Fernando Cadena de la Universidad Estatal de Nuevo México (Departamento de Ingeniería Civil y Geológica) por su ayuda en la traducción de este artículo al español. El contenido de este informe refleja sólo los puntos de vista del autor y no necesariamente aquellos de TxDOT o la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos.

REFERENCIAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2000). *Manual for Condition Evaluation of Bridges*, Washington, D.C.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1996). *Standard Specifications for Highway Bridge*, 16th Edition, Washington, D.C.
- Azizinamini, A., Shekar, Y., Barnhill, G. y Boothby, T. E. (1994). "Old Concrete Slab Bridges: Can They Carry Modern Traffic Loads?", *Concrete International*, 16(2), pp. 64-69.
- Barker, M. G. (2001). "Quantifying Field-Test Behavior for Rating Steel Girder Bridges." *Journal of Bridge Engineering*, 6(4), pp. 254 – 261.
- Barker, M. G., Imhoff, C. M., McDaniel, W. T. y Frederick, T. L. (1999). "Steel Girder Bridge Field Test Procedures." *Proceedings of the 78th Transportation Research Board Meeting*, Washington, D.C.
- Cai, C. S. y Shahawy, M. (2001). "A Few Issues of Capacity Rating of Bridge from Field Measurement." *Proceedings of the 80th Transportation Research Board Meeting*, Washington, D.C.
- Chajes, M. J., Mertz, D. R. y Commander, B. (1997). "Experimental Load Rating of a Posted Bridge." *Journal of Bridge Engineering*, 2(1), pp. 1-10.
- Commander, B. y Schulz, J. (1997). "A Field Verified Load Rating Method for Reinforced Concrete Slab Bridges." *Proceedings of Structures Congress XV (Building to Last)*.
- Commander, B. C., McMullen, M. y Mohseni, M. (1994). "An Integrated Approach to Load Rating." *Proceedings of the 11th Annual International Bridge Conference*, Engineers' Society of Western Pennsylvania, Paper No. IBC-94-63, pp. 1-7.

- Conner, G. H., Stallings, J. M., McDuffie, T. L., Campbell, J. R., Fulton, R. Y., Shelton, B. A. y Mullins, R. B. (1997). "Bridge Load Testing in Alabama." *Proceedings of the 76th Transportation Research Board Meeting*, Washington, D.C.
- Craig, R. J., Gill, S. L., Everett, A. G., Vasquez, G. D. y Brooten, L. A. (1994). "Static and Dynamic Load Testing of 15 Chester County Bridges." *Proceedings of the 11th Annual International Bridge Conference*, Paper No. IBC-94-31, Engineers' Society of Western Pennsylvania, pp. 219-226.
- Fu, G., Pezze, F. P. III, y Alampalli, S. (1994). "Rating a Steel Multi-Stringer Bridge by Diagnostic Load Test." *Client Report 31*, Engineering Research and Development Bureau, New York State Department of Transportation.
- Ghosn, M., Moses, F. y Gobieski, J. (1986). "Evaluation of Steel Bridges using In-Service Testing." *Transportation Research Record*, No. 1072, pp. 71-78.
- Goble, G., Commander, B. y Schulz, J. (2000). "Bridge Testing: A State-of-the-Art." *Proceedings of the 79th Transportation Research Board Meeting*, Washington, D.C.
- Huria, V., Lee, K.-L. y Aktan, A. E. (1994). "Different Approaches to Rating Slab Bridges." *Journal of Structural Engineering*, 120(10), pp. 3056-3062.
- Kissane, R. J., Beal, D. B. y Sanford, J. A. (1980). "Load Rating Of Short-Span Highway Bridges." *Interim Report on Research Project 156-1*, Research Report 79 (US DOT/FHWA), Engineering Research and Development Bureau, New York State Department of Transportation.
- Lichtenstein, A. G. (1998). *Manual for Bridge Rating through Load Testing*, Research Results Digest, Number 234, National Cooperative Highway Research Program, Washington, D. C.
- Pinjarkar, S. G. (1998). "An Overview of Current Worldwide Practices for Nondestructive Load Testing for Bridge Rating and Evaluation." *Proceedings of the 5th Annual International Bridge Conference*, Paper No. IBC-88-11, Engineers' Society of Western Pennsylvania, pp. 25-31.
- Saraf, V. J. (1998). "Evaluation of Existing RC Slab Bridges." *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 12(1), pp. 20 – 24.
- Saraf, V., Sokolik, A. F. y Nowak, A. S. (1996). "Proof Load Testing of Highway Bridges." *Transportation Research Record*, No. 1541, pp. 51-57.
- Schulz, J. L., Commander, B., Goble, G. G. y Frangopol, D. M. (1995). "Efficient Field Testing and Load Rating of Short- and Medium-Span Bridges." *Structural Engineering Review*, 7(3), pp. 181-194.
- Shahawy, M. A. (1995). "Nondestructive Strength Evaluation of Florida Bridges." *Proceedings of SPIE – The International Society of Optical Engineering (Nondestructive Evaluation of Aging Bridges and Highways)*, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Vol. 2456, pp. 101-123.
- Stallings, J. M. y Yoo, C. H. (1993). "Tests and Ratings of Short-Span Steel Bridges." *Journal of Structural Engineering*, 119(17), pp. 2150-2168.
- Zhou, Y. E. (1996). "Load Testing and Strength Evaluation of a Non-Composite Steel Plate Girder Bridge." *Proceedings of Structures Congress XIV (Building an International Community of Structural Engineers)*, Vol. 2, pp. 884-891.