

# **Contribuciones para la evaluación de puentes en Argentina**

## **Una transferencia de la Universidad a Vialidad Nacional**

José A. Saracho<sup>1</sup>; José R. Barlek; Oscar Dip.

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Tucumán

Universidad Nacional de Tucumán

### **Resumen**

En el contexto de los Proyectos de Investigación y Desarrollo "Evaluación y Rehabilitación de Puentes" del Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán (26/E404) y "Evaluación y Rehabilitación de Puentes" de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional (25/P045) se desarrolló la Tesis de Maestría en Ingeniería Estructural titulada: "Evaluación de Puentes". El objetivo central planteado fue el de realizar aportes en términos de modificaciones y/o ampliaciones a la metodología Argentina de evaluación de puentes, que permitan su adecuación a los criterios actuales y posibiliten su aplicación a nivel regional, que contempla tanto la infraestructura como la capacidad técnica y operativa disponibles en nuestro medio.

En primera instancia, se realizaron varias reuniones con los referentes del Sistema de Gestión de Puentes de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV), para la obtención de información sobre los procedimientos y experiencia adquirida durante el tiempo de aplicación de dicho sistema.

Las observaciones y recomendaciones surgidas del estudio están basadas en análisis comparativos con otras normativas y en los resultados de la experiencia de aplicar la metodología vigente a dos puentes: uno metálico y otro de hormigón armado afectados por diferentes patologías. Para un mejor contraste, en ambos puentes también se utilizó el procedimiento de evaluación vigente en los Estados Unidos. Los resultados obtenidos por ambos métodos y el análisis de las causas frecuentes de fallas en puentes de la región, permitieron establecer los aspectos susceptibles de ser mejorados en el procedimiento de

---

<sup>1</sup> joseanibalsaracho@yahoo.com.ar

evaluación local. Los cambios propuestos incluyen modificaciones en planillas de inspección rutinaria y en los procedimientos de evaluación analítica y experimental. Asimismo, se formulan observaciones sobre la metodología de evaluación de la condición de estado.

Estos resultados fueron transferidos a la DNV en la persona del Coordinador General del Sistema de Gestión de Puentes. En un futuro cercano, con la implementación de estas medidas, se espera una mejora significativa en la evaluación de los riesgos, tanto estructural, hidráulico como de seguridad vial, a fin de una mejor evaluación de los puentes.

**Palabras claves:** puentes, evaluación, metodología

## **1. Introducción**

En la actualidad se reconoce la necesidad de contar con un Sistema de Gestión de Puentes (SGP) para garantizar la seguridad y funcionalidad de estas obras de infraestructura a un costo mínimo. Dentro del SGP se destacan los módulos de Relevamiento o Inspección, para la toma de datos; y el de Evaluación, para la verificación del desempeño estructural y monitoreo de los procesos de deterioro.

En la República Argentina, ya desde el año 2007, la Dirección Nacional de Vialidad inició la tarea de inventario y relevamiento de los puentes de la Red Vial Nacional a través de un sistema de gestión propio denominado SIGMA Puentes (DNV y UNC, 2008), cuya implementación aún se encuentra en fase de desarrollo.

En el mundo se han producido avances en las filosofías de verificación para el diseño estructural de puentes, las cuales han evolucionado desde los métodos determinísticos, con un solo factor de seguridad global, a métodos semiprobabilísticos, con factores parciales de seguridad para las cargas y resistencias. En cuanto a la evaluación de puentes existentes, unos pocos países presentan normas específicas, entre ellos USA y el Reino Unido. Por otro lado, diversos países de América latina, tales como México, Colombia, Venezuela, Chile y Perú, entre otros, emplean para el diseño de puentes las Especificaciones AASHTO LRFD (AASHTO LRFD, 2012), vigentes en los estados Unidos. En particular, en la República Argentina se aprobaron recientemente los reglamentos: CIRSOC 201 (2005) para estructuras de hormigón armado y CIRSOC 301 (2005) para estructuras de acero en edificios, ambos basados en los códigos americanos con la filosofía de diseño por factores parciales de carga y resistencia. Asimismo, se encuentran en comisión la elaboración de los proyectos de reglamento CIRSOC referidos a puentes de hormigón y a puentes de acero que, siguiendo el criterio de los reglamentos antes citados, estarían basados en las normas americanas. Esta tendencia permite suponer que en un futuro próximo tanto el diseño de puentes nuevos como así también la evaluación de los existentes estará basado en los reglamentos americanos.

Por todo ello, y dado que la metodología SIGMA Puentes todavía se halla en la etapa inicial de implementación, surge la inquietud de efectuar aportes que contemplen los criterios de tales cuerpos normativos y se adecuen a la realidad regional.

## **2. Objetivos**

El objetivo central fue el de realizar aportes en términos de modificaciones y/o ampliaciones a la metodología argentina de evaluación de puentes, que permitan su adecuación a los criterios actuales, y posibiliten una efectiva y flexible aplicación de la misma a nivel regional, con el propósito de contemplar tanto la infraestructura como la capacidad técnica y operativa disponibles en nuestro medio.

### **3. Metodología**

En primera instancia, se realizaron varias reuniones con los referentes del Sistema de Gestión de Puentes de la DNV para la obtención de información sobre los procedimientos y experiencia adquirida durante el tiempo de aplicación de dicho sistema.

Se llevó a cabo un pormenorizado estudio de los procedimientos de evaluación de puentes según la metodología propuesta por el SIGMA Puentes y la americana, a través de la aplicación de dos casos de estudio, con análisis de procedimientos y resultados obtenidos, lo cual permitió identificar las coincidencias y divergencias de tales metodologías.

Se efectuó un análisis de los aspectos salientes de los procedimientos y, con ello, se plantearon modificaciones y/o ampliaciones a la metodología argentina que permitan su adecuación a los criterios actuales de evaluación. Estos aportes se hicieron para cada uno de los procesos involucrados en la metodología de evaluación: Inspección, Evaluación analítica (determinación analítica de la capacidad de carga), Evaluación experimental (obtención de la capacidad estructural mediante ensayos de carga) y Evaluación de la condición de estado (determinación de un índice global para caracterizar el estado).

En la tesis de referencia (Saracho J. A., 2012) se aplicaron estos cambios propuestos a la evaluación de dos puentes de distinta tipología estructural, uno metálico y otro de hormigón armado afectados por diversas patologías, lo que sirvió para comprobar su facilidad de aplicación y efectividad.

Cualquier metodología por seguir y para la evaluación de puentes, debe estar abierta a cambios que pudieran surgir, a partir de la experiencia de su aplicación. En tal sentido, al encontrarse la metodología SIGMA Puentes en una fase inicial de implementación, las propuestas aquí presentadas vienen a cubrir este propósito en función de las necesidades que los autores pudieron observar.

## **4. Análisis e Interpretación de los Resultados - Contribuciones**

### **4.1 Inspecciones**

En la metodología local sólo se consideran tres tipos de inspecciones: inicial, de rutina y detallada; en otros países se tienen en cuenta además, las inspecciones de daño, de elementos de falla crítica, subacuáticas y especiales. Estos últimos tipos, dada su especificidad, posibilitan abordar la inspección de los puentes de mayor envergadura y complejidad, por lo tanto deberán tomarse en cuenta en nuestro país para esos casos puntuales.

La metodología local no establece la duración del periodo entre inspecciones rutinarias. Al respecto convendría disponer una duración que no supere los dos años, tal como se hace en los países más avanzados.

Las disposiciones del *Manual del Inspector de Puentes de la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos* (FHWA, 2012) y del *Manual de Operaciones del SIGMA Puentes* (DNV, 2008), se tomaron las pautas necesarias para la elaboración de los informes de inspección detallada para los casos de estudio que se presentan en la publicación de referencia (Saracho J. A., 2012). En ellos, se vuelca la información relevada que resulta de importancia para la asignación de un puntaje por parte del ingeniero evaluador, la cual comprende los distintos aspectos relacionados con el estado estructural, hidráulico y el riesgo en materia de seguridad vial. Las planillas de inspección propuestas fueron diseñadas para reflejar los daños típicos relevados en los distintos componentes durante dicha inspección detallada, con el propósito de identificar los elementos a reemplazar o reparar. Esta forma de procedimiento puede tomarse como guía para las inspecciones detalladas a realizar sobre los puentes nacionales.

En cuanto a las inspecciones rutinarias pudo establecerse que la planilla de inspección planteada, en la metodología SIGMA no toma en consideración el registro de las cantidades por ítems en referencia a las tareas de mantenimiento rutinario, las cuales son necesarias para la operación del módulo costos. Por otra parte, se encontraron falencias en lo que atañe a la falta de información relevada vinculada a los estados hidráulico y vial. Esto llevó a la propuesta de una nueva Planilla para Inspecciones Rutinarias, la que se diseñó para recabar, en forma ordenada y sistemática, los datos necesarios para la evaluación de puentes de manera que, conjuntamente con el registro fotográfico, sirva al ingeniero evaluador para asignar una calificación a la estructura.

Se destaca que las inspecciones en ambos puentes se realizaron con utilización de instrumentos de campo sencillos y de bajo costo, para comprobar que los mismos resultaron suficientes para la realización de esta tarea. Esta facilidad no significa prescindir de inspectores debidamente capacitados para obtener datos de campo para la evaluación, con la calidad y confiabilidad requeridas.

#### **4.2 Evaluación Analítica**

Según pudo establecerse, el uso de los coeficientes parciales calibrados en la metodología americana provee mayor confiabilidad con niveles de seguridad uniformes. Asimismo, a través de la aplicación a los casos de estudio pudo comprobarse la sencillez del procedimiento. Por otro lado, según se comentó, en la previsión razonable de que el nuevo reglamento CIRSOC referido a Puentes tome como base los lineamientos de las Especificaciones AASHTO LRFD, se propone adoptar para nuestro país la metodología de evaluación establecida por el Manual de Evaluación de Puentes de AASHTO (AASHTO, 2010) en lo referente a las verificaciones a nivel de inventario y operación para sobrecargas de diseño. El nivel de inventario corresponde al nivel de confiabilidad exigido a puentes nuevos diseñados y construidos con las actuales normas de diseño, mientras que el de operación concierne a un nivel de confiabilidad menor, aplicable a puentes en servicio.

La diferenciación en la verificación, según estos dos niveles, es pertinente de aplicarse en nuestro medio, habida cuenta de la importante cantidad de puentes existentes de cierta antigüedad, o que se encuentran casi al límite de su vida útil. De esta manera, se ofrece un marco legal y técnico para contemplar la evaluación de estos casos, que pueden no satisfacer las pautas actuales de diseño. Los resultados obtenidos en los casos de estudio demostraron que en ambos puentes se satisfacen los requerimientos para sobrecargas de diseño AASHTO al propósito de la evaluación.

A su vez, se considera de utilidad la verificación correspondiente para el otorgamiento de permiso de paso en caso de sobrecargas extraordinarias y la restricción de cargas mediante señalizaciones. Para poder implementar estas acciones en nuestro medio, las mismas deberán ser acompañadas por una fuerte política de control por parte de la DNV y las Vialidades Provinciales, sobre todo en estas últimas en caminos de la red secundaria y terciaria. Dada la propensión de los transportistas de carga a transgredir dichas señalizaciones, con el consiguiente peligro para sus propias vidas y la de terceros y

posibles daños al patrimonio, deberán agregarse obstáculos que impidan la circulación que se prohíbe.

### **4.3 Evaluación experimental**

Dada la mayor rigurosidad de los criterios fijados por el método de evaluación experimental de AASHTO (AASHTO, 2010; Transportation Research Board, 1998), en relación con las prácticas actualmente vigentes en el país y la facilidad con que se obtiene la carga de prueba objetivo, se recomienda adoptar lo prescrito por las normas americanas en lo que respecta a los ensayos de verificación. Para completar el ensayo, sería conveniente incorporar a esta metodología la comprobación del criterio de remanencia de las deformaciones fijado por la norma española (Ministerio de Fomento de España, 2002), a fin de controlar el comportamiento en la descarga.

Se recalca el gran valor que tiene la modalidad de evaluación experimental para nuestro país, debido a la importante cantidad de puentes con ausencia de documentación de su proyecto y construcción, en donde ésta es la única manera de indagar su capacidad de carga.

De la experiencia obtenida del ensayo de estas estructuras, se pudieron constatar las dificultades operativas y de costo para materializar sobre calzada las cargas exigidas para la verificación a nivel de inventario. Por lo tanto, para la evaluación experimental de los puentes en nuestro medio, se recomienda efectuar la verificación a nivel de operación, en donde las cargas máximas de ensayo se compadecen con las actualmente utilizadas en las pruebas que se realizan en el país.

Cabe destacar, que nuestro país no cuenta con una normativa específica para la evaluación experimental. Esta situación ha llevado frecuentemente a reemplazar los ensayos de carga por otro tipo de ensayos más económicos, como por ejemplo los dinámicos. Se trata sin duda de una confusión, pues estos últimos de ninguna manera pueden proveer la información que la evaluación experimental de puentes requiere. De allí la necesidad de contar lo más pronto posible con una normativa específica a tal fin.

### **4.4 Evaluación de la condición de estado**

La experiencia realizada en los dos puentes permitió comprobar el buen grado de ajuste de la metodología local con respecto a la americana. Esta última, cuyos procedimientos se establecen en la *Guía para Inventario y Evaluación de Puentes de la FHWA* (FHWA, 1995), tiene el aval de venir usándose desde hace ya varios años y con actualización permanente en un país que está a la vanguardia en la evaluación de puentes. No obstante, por mayor claridad y simpleza de procedimiento, se sugiere mantener en nuestro país la metodología dada por el sistema de gestión SIGMA Puentes (DNV y UNC, 2008), incorporando para los criterios de evaluación del riesgo estructural lo dispuesto por AASHTO.

En el procedimiento americano, el inspector se encarga, además del relevamiento de datos, de asignar las calificaciones en los ítems de la planilla que tienen que ver con la evaluación de la condición de estado. Por su lado, en la metodología local la asignación de puntajes se hace recién en el módulo de evaluación por parte de un ingeniero evaluador, en base a la información volcada en las planillas e informes de la inspección. La experiencia realizada permitió comprobar la conveniencia de que en campaña se haga una evaluación preliminar, por ejemplo a través de consignas como “SI/NO” (Cumple o No cumple las pautas señaladas) o “B/R/M” (el estado de los componentes es Bueno, Regular o Malo). De esta manera durante la inspección, además de recabar los datos de campo, se hará un juicio de valor sobre los distintos ítems que luego le servirán a dicho ingeniero evaluador para la asignación de un puntaje. En tal sentido, la planilla de inspección propuesta contempla la carga de esta información, con criterios sencillos para establecer dicha evaluación preliminar (Saracho J. A., 2012). Por lo que, se evitarán omisiones en los datos requeridos y se inducirá al inspector a volcar la información que resulta de estricta utilidad para la evaluación. Dada la especificidad de dicha información y la importancia que reviste dentro del sistema de gestión, se demandará un alto grado de capacitación del inspector.

## **5. Transferencia e Impacto**

Se hizo una entrega formal de las Propuestas al Coordinador del Sistema de Gestión de Puentes de la DNV, Ing. Eduardo Alberto Castelli -Expte.: 1242 FS. 206, Abril de 2013-. Además de esta entrega formal, se realizaron varias reuniones con el citado ingeniero, en las cuales se ofrecieron detalles de las contribuciones con vistas a lograr su implementación. A su vez, este trabajo permitió detectar otras necesidades en relación a



ampliar el campo de la evaluación. En este sentido, se deberán realizar estudios sobre vulnerabilidad hidráulica y vulnerabilidad sísmica de puentes existentes. Este último aspecto dio origen al planteo de una Tesis de Doctorado en Ingeniería, titulada: “Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Puentes en Argentina a través de Curvas de Fragilidad”, la cual está siendo desarrollada en la actualidad por el autor principal de este trabajo. Dicho trabajo de Tesis, al igual que la anterior, demanda la interacción entre docentes-investigadores de la universidad y los referentes del Sistema de Gestión de Puentes de la DNV. Del mismo modo, en este caso está prevista la transferencia de los resultados obtenidos.

## **6. Conclusiones**

Sobre la base de la experiencia adquirida a través de la aplicación de las metodologías aquí citadas se pudo arribar a propuestas de modificación en las planillas de inspección rutinaria y a recomendaciones para el uso de criterios actualizados en relación a la evaluación analítica y experimental. En caso de implementarse estas medidas, se espera una mejora significativa en la evaluación de los riesgos, tanto estructural, hidráulico, como de seguridad vial, logrando en definitiva una mejor evaluación de los puentes.

## **Bibliografía**

AASHTO. (2010). *The Manual for Bridge Evaluation, American Association of State highway and Transportation Officials*. Washington.

AASHTO LRFD. (2012) *Bridge Design Specifications, American Association of State highway and Transportation Officials*. Washington, DC.

CIRSOC 201. (2005) *Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón*, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI. Buenos Aires, Argentina.

CIRSOC 301. (2005) *Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Edificios. Estados Límites*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI. Buenos Aires, Argentina.

DNV y UNC. (2008). *Sistema de Gerenciamiento de Puentes para la República Argentina. SIGMA-P*. Dirección Nacional de Vialidad y Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

DNV y UNC. (2011). “Mejoras y Aplicación del Método SIGMA–Puentes a la Red Vial Nacional de la República Argentina”. *Informe de Avance*, N° 7. Dirección Nacional de Vialidad y Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

FHWA. (1995). *Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges*. Federal Highway Administration. Washington.

FHWA. (2012). *Bridge Inspector's Reference Manual. BIRM*, Federal Highway Administration. Washington.

Ministerio de Fomento de España. (2002). *Recomendaciones para la Realización de Pruebas de Carga de Recepción en Puentes de Carreteras*. Secretaría de estado de Infraestructuras. Dirección General de Carreteras. Madrid, España.

Saracho J. A. (2012) “Evaluación de Puentes”. *Tesis de Maestría en Ingeniería Estructural*. Instituto de Estructuras. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

Transportation Research Board. (1998). *Manual for Bridge Rating Through Load Testing*. Washington, DC.