

UTILIZACIÓN DE PRUEBAS DE CARGA DINÁMICA PARA EL RELEVAMIENTO Y EVALUACIÓN DE PUENTES CARRETEROS

Miguel E. Ruiz

Universidad Nacional de Córdoba
mruiz@efn.uncor.edu
Córdoba, Argentina

Narciso Novillo

Universidad Nacional de Córdoba
nnovillo@efn.uncor.edu
Córdoba, Argentina

Agustín Fragueiro

Fraguero & Novillo S. A.
afragueiro@fragueiro-novillo.com.ar
Córdoba, Argentina

Resumen

Un Sistema de Gerenciamiento de Puentes (SGP) es una herramienta fundamental en la tarea del mantenimiento y conservación de puentes, debido a que su principal objetivo es determinar el orden de prioridades de ejecución de tareas de reparación, refuerzo o reemplazo de puentes existentes. En este sentido, la caracterización, relevamiento y evaluación del estado de conservación de las diversas obras de arte mayor que forman parte de una red vial son aspectos principales en un SGP. Dentro de este marco, el inventario y relevamiento de puentes se nutre de una serie de actividades entre las cuales se destacan los ensayos no destructivos que permiten conocer las características y propiedades de la estructura con pequeñas intervenciones de bajo costo cuando no existen antecedentes suficientes o cuando la información de base debe actualizarse o confirmarse. Además, y debido a que, en general en una red vial existen estructuras viejas de las cuales no se tiene información, son de gran importancia los ensayos de carga dinámica. Estos ensayos consisten en aplicar a la estructura del puente impactos de muy baja intensidad pero que se aplican de tal manera que excitan los modos naturales de vibración de la estructura. Estos modos pueden registrarse y, mediante el análisis teórico de la estructura (realizando modelo numérico del puente elaborado a partir del inventario de la estructura), permiten extraer importantes conclusiones acerca del estado de conservación general de la estructura y definir lineamientos o bases de futuras evaluaciones. En este artículo se presenta una descripción de la metodología habitualmente utilizada para ejecutar ensayos de carga dinámica en puentes y su importancia dentro de un SGP para evaluar el estado de conservación, presente de un puente y su monitoreo en siguientes inspecciones. A modo de

introducción, en los primeros apartados de este artículo se presenta una reseña de un SGP desarrollado en Argentina para brindar un marco completo a la temática abordada.

Abstract

Is a well-known fact the importance of evaluating the condition of bridge structures as a means to make accurate diagnoses and schedule maintenance activities efficiently. According to that, various techniques and equipments to evaluate and monitor the behavior of bridge structures have been developed. Bridges are very high value assets from a socio-economic standpoint since they are essential elements for the integration of a region and present high cost of construction and replacement. This is one of the reasons that have motivated the development of different non-destructive tests used to evaluate the structure condition and monitoring its evolution with time. Dynamic load tests stand among others tests because of its simplicity, useful, and accurate results. The objective of dynamic tests is to determine the natural frequencies by registering deck free vibrations mobilized by applying low intensity impact loads on specific locations along the deck. The assessment of its condition is performed by comparing field measurements to theoretical results (typically from numerical models of the bridge deck). This article provides a description of the methodology commonly used to perform dynamic load tests on bridge decks and their importance within a BMS to assess the condition of bridges is presented. By way of introduction, in the first paragraphs of this article a review of a Bridge Management System (BMS) developed in Argentina is presented to provide a comprehensive framework for the topics addressed.

Palabras Clave: gestión de puentes, ensayos no destructivos, evaluación de puentes

Keywords: bridge management systems, bridge maintenance, bridge condition evaluation



Introducción

Un Sistema de Gerenciamiento de Puentes (SGP) es una herramienta integral apta para optimizar la estrategia de conservación, reparación y rehabilitación de las obras de arte mayores de una red, dado un presupuesto determinado (Kaschner et al., 1999; Czepiel, 1995). Un SGP permite a los responsables de la toma de decisiones seleccionar la alternativa de mínimo costo y máxima eficacia, que brinde un adecuado nivel de seguridad y servicio, a partir de las restricciones presupuestarias, identificando los fondos necesarios a futuro y jerarquizando las intervenciones a realizar en cada momento. Se basa en una metodología de seguimiento y control para gestionar eficientemente los recursos, que en general se encuentra asociada al uso de un programa informático que administra una base de datos.

Al conocer mejor el estado de un conjunto de puentes se puede extender su vida útil a un costo menor, gracias a la oportuna detección de los defectos estructurales, de servicio o atribuibles al obstáculo atravesado, mediante las inspecciones y relevamientos, permitiendo de este modo un rápido diagnóstico y tratamiento eficaz de los defectos observados. Esto conduce, en general, a importantes ahorros en mantenimiento y reemplazo de estructuras existentes. Esta es una de las razones por la cual los SGP se han difundido ampliamente a lo largo de todo el mundo y, en la actualidad, se han constituido en una herramienta fundamental para cualquier agencia estatal involucrada en la construcción y mantenimiento de caminos.

La necesidad habitual de administrar un presupuesto determinado para reparar y mantener una Red Vial (RV), hace necesario establecer un orden de prioridades para ejecutar inversiones que privilegien la seguridad de los usuarios y un buen nivel de servicio de las carreteras. Para lograr esto, es de gran utilidad establecer un método que aplique un algoritmo eficaz y contar con un sistema que sea capaz de almacenar toda la información de los puentes y su estado de conservación.

Dentro de los numerosos SGP existentes en diversos países del mundo este artículo está basado sobre las premisas del SGP denominado SIGMA – Puentes, desarrollado por la Universidad Nacional de Córdoba para la Dirección Nacional de Vialidad de Argentina. Este sistema está construido sobre una plataforma informática denominada SIGMA-P y está basada en la comunicación a tiempo real de distintas estaciones que poseen las bases de datos de todos los puentes del territorio a través de internet.

Atendiendo a las consideraciones señaladas, este trabajo se ha estructurado en tres grandes partes: primero, se presentan las principales características del SGP llamado SIGMA Puentes, en donde se describen los módulos que lo integran y se define conceptualmente su utilidad. En la segunda parte, se describen

los ensayos de carga dinámica de puentes: metodología, equipamiento, resultados e importancia que estos tienen en la evaluación de la integridad de un puente. Finalmente, en la tercera etapa se describe la manera en que se utilizan los resultados de los ensayos dinámicos en la evaluación del estado de conservación de un puente, que constituye uno de los principales objetivos del SGP.

Breve reseña del SIGMA-P

El conocimiento del historial de eventos y estado de conservación de las obras de arte mayores de una red es información fundamental si se quiere garantizar un buen nivel de servicio y preservar el patrimonio vial. Debido a ello, el SGP se construye sobre una herramienta informática que permite almacenar la información de manera ordenada. Además, el SGP debe proveer las metodologías y recomendación para recabar la información requerida para la evaluación de las obras de arte, y la manera en que deben almacenarse sistemáticamente para poder utilizarla en el futuro.

Al igual que la mayor parte de los SGP existentes, el SIGMA-P cuenta con cinco módulos básicos: Inventario, Relevamiento, Evaluación, Costeo, y Jerarquización. Los primeros dos módulos (Inventario y Relevamiento) se construyen a través de planillas específicas de inventario y relevamiento para cada configuración estructural o tipología de puente, con los campos y parámetros usuales de cada una de ellas. Los restantes tres módulos (Evaluación, Costos y Jerarquización) presentan diversas aproximaciones y metodologías, según sea el SGP de que se trate. Un resumen de algunas aproximaciones puede consultarse en Ruiz et al. (2005). La descripción detallada de estos módulos excede el alcance del presente artículo, pero puede consultarse en (Ruiz et al. 2008).

A modo de resumen, a continuación se indica conceptualmente los objetivos de cada uno de los módulos señalados anteriormente a través de preguntas cuyas respuestas constituyen la información a recabar o elaborar para la aplicación de la metodología de gerenciamiento (Castelli y Ruiz, 2012).

1. INVENTARIO: ¿Cómo es el puente?
2. RELEVAMIENTO: ¿Qué problemas tiene?
3. EVALUACIÓN: ¿Qué calificación le corresponde según el Método SIGMA?
4. COSTOS: ¿Qué inversión requiere de mínima y máxima?
5. JERARQUIZACIÓN: ¿En qué orden de prelación debería atenderse?

El primer módulo (Inventario), almacena la información de los puentes de la RVN y en él se ordena y sistematiza la



información guardándola en una base de datos. Una de las funcionalidades del Inventario es imprimir la planilla de relevamiento que permite conectar el primer módulo con el siguiente: Módulo de Relevamiento.

Este segundo módulo permite cargar en el sistema la información recabada durante inspecciones a los puentes. El módulo de relevamiento genera un informe de la inspección realizada, que será estudiado por Ingeniero Especialista en Puentes, quien es el encargado de relacionar el segundo módulo con el tercero: Módulo de Evaluación.

El ingeniero especialista en puentes elaborará un informe de evaluación del estado de la obra de arte, basándose en el informe de inspección obtenido del Módulo de Relevamiento y de las características de la misma, almacenadas en el Inventario. El especialista emite un informe de evaluación de la estructura, asignando una calificación global del estado del puente.

A continuación, un especialista en estimación de costos, será el encargado de traducir la calificación global del puente y el informe de evaluación en un informe de costos de reparación y mantenimiento del puente. Esto constituye el cuarto módulo, Módulo de Costos.

Finalmente, el listado de puentes almacenados en la base de datos se ordena para arrojar un orden de prioridades de ejecución de obras de reparación o mantenimiento, utilizando toda la información acumulada en los primeros cuatro módulos.

En resumen, el SGP permite establecer un orden de prioridades para ejecutar tareas de mantenimiento para lograr un nivel de servicio de un puente a partir de la información del estado de un puente.

El objeto de este artículo es describir la metodología de pruebas de carga dinámica y cómo se inserta la ejecución de estos ensayos en los módulos indicados anteriormente, junto con la descripción de los resultados que se obtienen y como su interpretación se utiliza para la evaluación de las obras de arte.

Ensayos de carga dinámica

En este apartado se describe el ensayo de carga dinámica para puentes carreteros, abarcando la metodología de ejecución, resultados que se obtiene, forma de interpretarlos, importancia de los mismos en la evaluación de la estructura y para futuras inspecciones y el equipamiento requerido para su ejecución.

El estudio de un puente mediante ensayos de carga dinámica se puede sintetizar en los siguientes pasos:

1. Diseño del ensayo.
2. Ejecución del ensayo.

3. Procesamiento e interpretación de los resultados del ensayo.
4. Elaboración y calibración de modelo numérico de la estructura.
5. Evaluación de resultados.

En los siguientes apartados se describen las actividades anteriores

Diseño del ensayo

El diseño del ensayo consiste en determinar las características particulares del ensayo para cada estructura. Esto se resume en un documento, denominado "protocolo de ensayo de carga dinámica" y en él se especifica el número de tramos a ensayar, magnitud de la carga que se utilizará para aplicar los impulsos en el tablero, puntos en donde se ejecutará el ensayo, cantidad de lecturas por sección de ensayo y puntos en donde se colocarán los sensores para registrar las velocidades o aceleraciones resultantes.

Ejecución del ensayo

El método de ensayo consiste en excitar dinámicamente el puente mediante la aplicación de impulsos de baja intensidad aplicados en distintos sectores del tablero y registrar las señales vibratorias con sensores (acelerómetros o geófonos) en puntos seleccionados de la calzada. Los impactos se materializan dejando caer sobre la calzada un peso desde una altura aproximada de 50 cm mediante un equipo que se describe más adelante en este apartado.

El ensayo se desarrolla según un programa preestablecido en donde se definen los puntos en donde se aplican los impactos y los puntos en donde se registran las aceleraciones o velocidades resultantes. En general, este programa consiste en aplicar impacto en tres secciones por tramo: en el centro y en los tercios. Los sensores se ubican en el centro de la calzada y en uno de los laterales, siempre en la sección en donde se aplica el impacto. En cada sección, además, se aplica el impacto en el eje de la calzada y sobre uno de los laterales. En la Figura 1 se ilustra la disposición de los sensores y los puntos de aplicación de los pulsos de carga para una sección determinada de un tramo de puente.

En cada estación de ensayo se registran un mínimo de 3 señales para cada punto de impacto. Los acelerogramas resultantes se normalizan y se procesan para identificar las frecuencias naturales de los modos de vibración más significativos del puente.

Los resultados de los ensayos dinámicos se expresan a través de los valores de las frecuencias naturales de los primeros modos de vibración. Estas frecuencias surgen de un procesamiento adecuado de las mediciones y sólo se informan las primeras frecuencias ya que, en general, son las dominantes. Según la importancia de la estructura y la profundidad del estudio a llevar a cabo, pueden registrarse

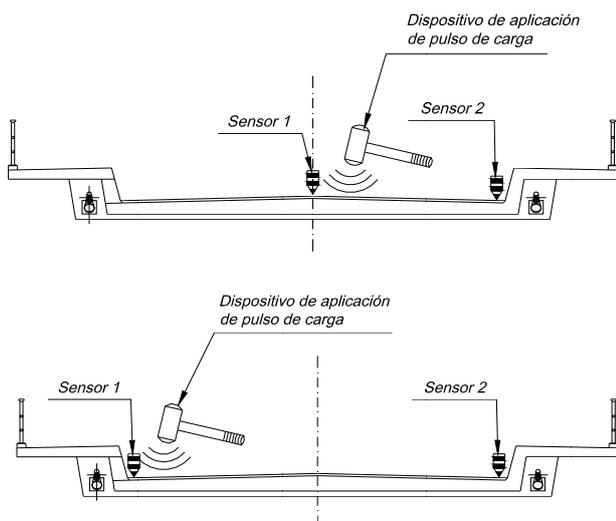


entre las primeras tres y diez frecuencias naturales de vibración.

Habitualmente, el modo fundamental corresponde a vibraciones transversales uniformes del tablero a través de su ancho (el modo de vibración adopta la forma de media curva senoidal); el modo 2 son vibraciones torsionales alrededor del eje longitudinal del puente, y el modo 3 corresponde a vibraciones transversales del tablero con un modo asociado a una curva senoidal completa. Los restantes modos, en general, no se suelen estudiar por carecer de importancia práctica, ya que su frecuencia es elevada y su intervención en el comportamiento del puente es muy reducida. Sin embargo, la experiencia indica que, tal como se indica más adelante en este informe, la calibración de los primeros modos de vibración conduce a una representación bastante buena de modos superiores, y por lo tanto su registro y evaluación puede ser de interés a los efectos de analizar la bondad del modelo numérico de análisis.

Las formas modales indicadas anteriormente son típicas y pueden corresponder a puentes estándar de vigas, tanto de hormigón como acero. Para puentes con distintas configuraciones (atirantados, colgantes, o cuya relación largo/ancho es reducida) los modos de vibración pueden variar y sus características se determinan a partir de un modelo numérico de análisis que se desarrolla para estudiar la estructura en su conjunto. Esto se describe en el siguiente apartado.

Figura 1. Esquema típico de aplicación de impulsos para el ensayo de carga dinámica.



Procesamiento e interpretación de los resultados del ensayo

Las oscilaciones del tablero se registran con sensores de suficiente sensibilidad y precisión para distinguir en forma clara y categórica la respuesta de la estructura a la fuerza excitatriz,

de las vibraciones ambientales inducidas por otras fuentes (tránsito, viento, etc.).

Cada registro vibratorio se registra por un lapso que va entre 5 y 12 segundos de duración cada uno y una densidad de 500 muestras por segundo. Estas cantidades son variables y los valores señalados pueden servir como guía que se ajusta a cada caso en particular, de acuerdo a la intensidad de la señal, su claridad, y otros aspectos que pudieran afectar la medición. Las señales registradas se normalizan y procesan para identificar las frecuencias naturales de los primeros modos de vibración de la estructura. Existen diversas formas de llevar a cabo este proyecto. En general, la más directa es aplicar la transformada de Fourier a las señales y, mediante un algoritmo de búsqueda de máximos, determinar los picos de la señal resultante en el dominio de la frecuencia.

En la Figura 2 se ilustra un registro típico obtenido en un ensayo y en la Figura 3 un gráfico de densidad espectral correspondientes. Como se puede apreciar, el tiempo de medición en este caso fue de 5 s. Para el puente en estudio (estructura metálica de vano único de 25 m de longitud) fue suficiente este período de tiempo para captar las primeras frecuencias, de las cuales las más significativas fueran la primera y la segunda.

Figura 2. Registro típico medido durante el ensayo de carga dinámica.

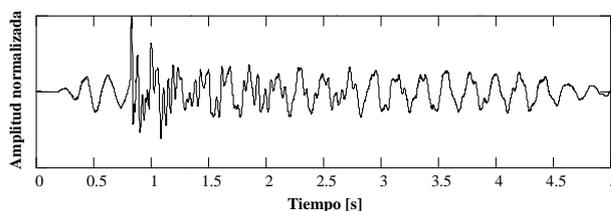
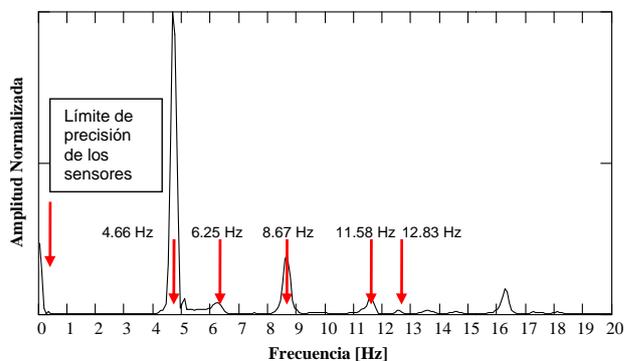


Figura 3. Gráfico de densidad espectral del registro de Figura 1.



En la Figura 3 se pueden observar claramente las frecuencias naturales del sistema estructural ensayado, a través de los máximos de la señal. En el ejemplo de la figura, las primeras frecuencias resultaron ser 4.66 Hz, 6.25 Hz, 8.67 Hz, 11.58 Hz, y 12.83 Hz. Cabe destacar que estos valores, en algunos casos, no



pueden determinarse por inspección de la gráfica, y que se obtienen de la aplicación de un código que determina los máximos al recorrer la señal registrada en el campo. A pesar de ello, la determinación de las frecuencias depende de la calidad de la señal que es función de la respuesta dinámica del sistema. Para el caso ejemplificado, las curvas representadas permiten detectar las frecuencias por inspección simple.

Elaboración y calibración del modelo numérico de la estructura

El siguiente paso en la metodología es la elaboración de un modelo numérico del puente cuyo objeto es representar el comportamiento de la estructura en su conjunto. Este modelo es lineal elástico ya que se representa el puente en su estado actual y, una vez calibrado, puede utilizarse para determinar los esfuerzos debido a las sobrecargas o realizar una valoración de la capacidad de carga del puente, diseño de refuerzo, evaluación de deformaciones, etc. Por ello, la calibración de este modelo es de suma importancia y se lleva a cabo a través de los ensayos de carga dinámica. Una buena calibración asegura que el modelo elaborado representa fielmente el puente existente en cuanto a su rigidez, lo que permite inferir que las dimensiones de los elementos estructurales y sus propiedades son adecuadas. Este punto es de suma importancia ya que, tal como se señalara anteriormente, ante la falta de antecedentes para realizar el inventario de un puente este modelo calibrado se convierte en una herramienta de análisis fundamental en el estudio de la estructura.

El modelo numérico de análisis se elabora a partir de la información recabada para el inventario del puente (módulo 1 del SGP) o, si la información básica fuera insuficiente, del módulo 2 del SGP, Módulo de Relevamiento. En este segundo caso, el relevamiento del puente no sólo está orientado a obtener el estado de conservación general de la estructura sino que, además, se buscará levantar sus dimensiones y características principales para completar la información del módulo de Inventario.

La calibración del modelo consiste en realizar ajustes en diversos parámetros y propiedades que pueden afectar el comportamiento dinámico de la estructura y que presentan cierta incertidumbre en su estimación. Algunos de estos aspectos son: módulo elástico del hormigón, masas actuantes sobre el puente, tipo y condición de los aparatos de apoyo, rigidez de pilas y estribos, rigidez que aportan elementos no estructurales (barandas y defensas, por ejemplo), introducción de deficiencias observadas durante el relevamiento (presencia de fisuras, deformaciones o roturas que pudieran implicar una modificación de las dimensiones o rigidez nominal de los elementos estructurales principales).

La incertidumbre en los parámetros de ajuste señalados puede reducirse durante la campaña de relevamiento, de la siguiente

manera: i) a través de ensayos no destructivos puede determinarse un valor confiable para el módulo elástico del hormigón de los distintos elementos estructurales, ii) el relevamiento ocular de los aparatos de apoyo puede aportar importante información acerca de su integridad y forma de funcionamiento que permita ajustar su representación en el modelo numérico, iii) la configuración o esquema estático del puente es fundamental para realizar un relevamiento adecuado y completo, además que en el relevamiento debieran recabarse las medidas de columnas en pilas y otros aspectos que pudieran afectar el comportamiento dinámico del tablero, iv) el relevamiento ocular permite registrar la presencia de fisuras en vigas y columnas, lo que contribuiría a una reducción de su rigidez que sería captada por el ensayo dinámico, v) durante el relevamiento debe medirse y registrarse elementos no estructurales que pudieran aportar masa y/o rigidez, tales como el espesor real de la carpeta de rodamiento, espesor y tipo de veredas peatonales, y tipo y dimensiones de defensa vehiculares y barandas peatonales.

Un minucioso relevamiento e incorporación de la información recabada en campaña contribuyen a mejorar la calidad de la calibración y, por lo tanto, del modelo construido lo que mejorará la confianza del mismo para la predicción de otros resultados, tal como se detalla más adelante en este artículo. En este punto, el ensayo dinámico, y la elaboración y calibración del modelo numérico están estrechamente vinculados con las planillas de inventario y relevamiento del SGP, por cuanto la información geométrica para el modelo surge de los antecedentes del puente (inventario) y su calibración será una función de su estado de conservación (relevamiento).

Evaluación de los resultados

La importancia de la ejecución de los ensayos de carga dinámica radica en la correlación de las medidas de campaña con la predicción de las propiedades dinámicas de la estructura que arroja el modelo numérico. La buena correspondencia entre los modos fundamentales de vibración del puente medidos mediante el ensayo descrito anteriormente y los modos calculados por el modelo permite extraer conclusiones acerca del estado de conservación e integridad de la estructura en su conjunto. Más adelante en este artículo se especifica más este aspecto, detallándolas principales conclusiones a las que puede arribarse con este procedimiento.

Equipamiento para el ensayo dinámico

El equipamiento para la ejecución de los ensayos de carga dinámica pueden dividirse en dos partes: i) equipos para generar la excitación y ii) equipos para registrar la respuesta del puente.

El dispositivo estándar para generar la excitación se ilustra en la Figura 4. Este aparato se denomina Swedish Drop Hammer y



permite aplicar un golpe de características conocidas sobre la estructura. El equipo aplica la excitación a través de una masa que se desliza sobre una corredera y aplica la carga por impacto sobre la estructura que se desee ensayar. La intensidad y variación en el tiempo de la carga aplicada se registra a través de los instrumentos del dispositivo. En la Figura 5 se ilustra una manera alternativa de aplicar los impulsos y que consiste en un soporte (Figura 5a) o grúa (Figura 5b) del cual se cuelga un peso determinado (establecido en el diseño del ensayo). El peso se cuelga de un gatillo que permite liberar la masa para que ésta impacte en el tablero. En general, debajo de la masa que se deja caer se colocan bolsas de arena para evitar que se dañe la superficie de rodamiento del puente (Figura 4b). La utilización de uno u otro método depende de la accesibilidad al puente y magnitud del peso a aplicar.

Figura 4. Martillo Sueco para aplicación de impulsos sobre el tablero.



Figura 5. Soporte metálico para la aplicación de impulso sobre el tablero.



Los equipos de medición utilizados se ilustran en la Figura 6. Allí se puede observar un osciloscopio y un sensor (en este caso un acelerómetro). Este equipo registra y almacena las señales vibratorias que luego se procesan en un ordenador para su posterior análisis.

Figura 6. Computadora portátil y equipo de adquisición de datos.

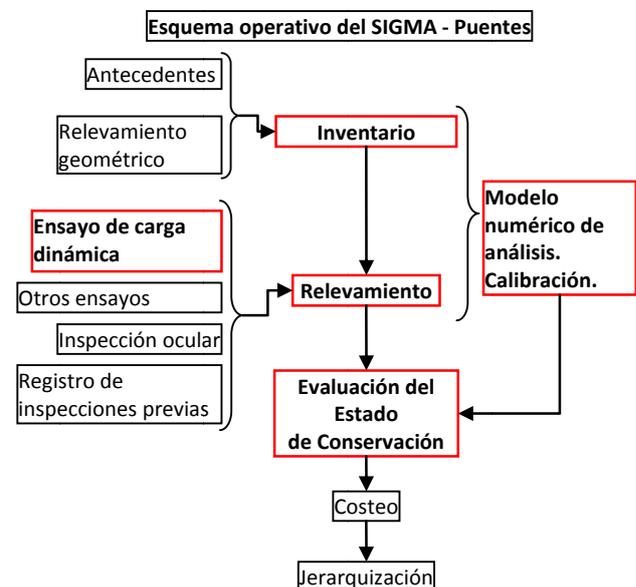


Evaluación del estado de conservación de la estructura del puente

En los apartados anteriores se llevó a cabo una descripción breve de un SGP y de la metodología para la ejecución de ensayos de carga dinámica de puentes. En esta sección se muestra dónde se insertan los ensayos dinámicos con el SGP y cómo se utilizan los resultados que se obtienen para la evaluación de la estructura.

En la Figura 7 se muestra un esquema en donde se ilustra la forma en que está estructurado el SGP y cómo se relacionan sus módulos entre sí y con la ejecución de los ensayos de carga dinámica.

Figura 7. Esquema operativo de un SGP y relevamiento mediante ensayos de carga dinámica.





Tal como surge del esquema y de los conceptos vertidos en los apartados anteriores, el ensayo de carga dinámica permite completar la información básica del puente para el módulo de inventario, a la vez que permite obtener el estado de conservación de la estructura en un momento dado, lo que se considera dentro del módulo de relevamiento. En efecto, la información básica del puente contenida en el inventario se utiliza para diseñar la prueba de carga dinámica y para calibrar el modelo numérico de análisis. Además, durante el relevamiento se registran defectos o aspectos del puente que pudieran afectar su comportamiento dinámico y se incorporan en el modelo, junto con otros ensayos no destructivos que pudieran llevarse a cabo, para la calibración del mismo. Finalmente, la información del Inventario se actualiza con el modelo numérico y el módulo de relevamiento con los resultados de los ensayos de carga dinámica, por cuanto constituyen valores de referencia de la rigidez de la estructura en un momento determinado y servirán para la programación de futuros relevamientos y deben ser tenidos en cuenta en futuras evaluaciones.

Una vez que se ha elaborado y calibrado el modelo numérico de análisis se pueden establecer una serie de conclusiones en relación a los siguientes aspectos de la estructura y su integridad:

- Propiedades de los materiales constituyentes de vigas y tablero y su correspondencia con las previsiones de proyecto, inspecciones previas o cantidades relevadas si no existiera información de base para su análisis.
- Evaluar si la geometría de los elementos principales del puente es adecuada y se corresponden con el proyecto de la estructura o con el relevamiento realizado.
- Estado de los aparatos de apoyo.
- Evaluar si los elementos principales se encuentran estructuralmente aptos para cumplir su función. En este sentido cabe destacar que la presencia de fisuras, oquedades o defectos a nivel local implicaría una reducción de rigidez que sería captada por los ensayos dinámicos y que, para calibrar el modelo, debieran ser incorporados en el modelo.
- El modelo de elementos finitos verificado con los ensayos dinámicos, representa la estructura en su estado actual, por lo que puede utilizarse con confianza para el cálculo de esfuerzos internos de los elementos principales, realizar verificaciones seccionales, evaluar posibles modificaciones, refuerzos, o ampliaciones de la estructura, y estimar deformaciones de sus elementos principales.
- Los resultados de los ensayos se almacenan como medida de comparación de futuras inspecciones de modo tal que la

repetición de las pruebas en el tiempo brindará una historia de evolución del estado de la estructura en su conjunto.

- El modelo elaborado como parte de esta metodología puede utilizarse, además, para realizar verificaciones seccionales y otras comprobaciones que resultan de interés, como la determinación de la capacidad de carga real de la estructura o su verificación para cargas extraordinarias (Ruiz et al. 2012).

Como surge de los puntos anteriores, la calibración del modelo numérico brinda información de elevada calidad para la evaluación del estado de conservación de la estructura. Es por este motivo que se considera una pieza fundamental dentro del SGP y se ha transformado en una herramienta de uso habitual en la inspección y evaluación de puentes.

Debe destacarse que el ensayo de carga dinámica se está utilizando en la actualidad no sólo como una herramienta de relevamiento para puentes en uso, sino que se está aplicando la técnica para caracterizar estructuras nuevas, antes de su recepción definitiva y puesta en servicio. La ejecución de estos ensayos permite establecer un estado inicial del puente que permite, mediante comparación de sucesivos ensayos similares, conocer la evolución de la integridad de la estructura de una manera rápida y eficiente. Una de las ventajas de realizar los ensayos para la recepción de los puentes es que se cuenta con la información de base, por lo que puede verificarse la calidad de la ejecución de la obra, de sus materiales y la correspondencia de la misma con las previsiones del proyecto.

Conclusiones

Este artículo presenta un breve resumen de cómo se estructura un SGP y, dentro de él, cómo se implementan los ensayos de carga dinámica para el relevamiento y evaluación del estado de conservación de la estructura de puentes.

El objeto principal de un SGP es establecer un orden de prioridades para la ejecución de tareas de mantenimiento y reparación de puentes para un presupuesto determinado. En este sentido, una premisa fundamental de estos sistemas es el conocimiento de las estructuras que deben administrarse y el estado de conservación de las mismas. Debido a ello, en general, los SGP están formado por cinco módulos: Inventario, Relevamiento, Evaluación, Costeo y Jerarquización. Se indicaron los principales aspectos de cada uno de estos módulos.

En el marco de un SGP, se destacó que los ensayos de carga dinámica se involucran en los tres primeros módulos, aportando información a cada uno de ellos y brindando información de base para futuras inspecciones. Esto cobra especial importancia en aquellos casos en donde no se disponga de información básica que permita estudiar la estructura adecuadamente.



Los ensayos dinámicos tienen por objeto principal medir las principales frecuencias naturales de vibración de la estructura, lo que permite caracterizar la obra de arte y elaborar un modelo numérico para su posterior análisis y evaluación. El ensayo consiste en excitar el puente mediante impulsos de baja intensidad, que pueden ejecutarse mediante martillos modales o mediante el impacto de una masa determinada sobre el tablero del puente, y registrar la respuesta de la estructura con sensores de precisión. Luego se procesan las señales registradas y se extraen las frecuencias naturales. El trabajo se complementa con la elaboración de un modelo numérico que se calibra para representar adecuadamente el comportamiento dinámico registrado en campaña, con lo que se alcanza una herramienta de análisis confiable para la evaluación del estado de conservación del puente.

La disponibilidad de un modelo numérico que representa adecuadamente el comportamiento dinámico del puente permite llevar a cabo análisis detallados de la estructura y verificaciones seccionales de los distintos elementos estructurales, por ejemplo, para determinar la capacidad de carga residente en la estructura.

Los ensayos de carga dinámica constituyen una herramienta fundamental en el inventario y relevamiento del estado de puentes y permite extraer importantes conclusiones acerca del estado de la estructura. Cabe destacar que los ensayos descriptos aquí pueden complementarse con otros ensayos no

destructivos, que permiten mejorar el conocimiento del estado del puente y sus componentes.

Referencias

- Castelli y Ruiz (2012). "Método De Evaluación Del Sigma-Puentes De Vialidad Nacional". XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, 22 a 26 de octubre de 2012, Complejo Ferial Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Czepiel, E. (1995). "Bridge Management System Literature Review and Search", Report Técnico ITI
- Kaschner, R.; Cremona, C.; & Cullington, D. (1999). "Review of current procedures for assessing load carrying capacity", BRIME (Bridge Management in Europe), Delivery D1, 49p.
- Ruiz, M. E.; Prato, T.; Galarraga, J.; López, S (2005) "Desarrollo y aplicación de un SGP para la República Argentina". Reporte sometido por la Universidad Nacional de Córdoba para la Dirección Nacional de Vialidad.
- Ruiz y Castelli (2008). "A New Bridge Management System for the National Department of Transportation of Argentina". Congreso IABMAS 2008, Seoul Korea.
- Ruiz, M. E., Cocco, L. J. y Gerbaudo, G. M. (2012). "Metodología para la determinación de la capacidad de carga de puentes metálicos antiguos y su aplicación a una estructura de 98 años de vida útil". Aceptado para publicación en 22° Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, Buenos Aires, Argentina, Septiembre de 2012.