

MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN Y MANTENIMIENTO DE Puentes DE LA DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD DE ARGENTINA

Miguel E. Ruiz

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

Eduardo A. Castelli

Dirección Nacional de Vialidad
sigmapuentes@gmail.com
Tucumán, Argentina

Resumen

Los puentes de una red vial son activos valiosos desde el punto de vista social y económico. Por esta razón, y, con el objetivo principal de asistir a las autoridades en la asignación racional de presupuesto para el mantenimiento y ejecución de obras de reparación o sustitución de estructuras existentes, la Dirección Nacional de Vialidad llevó a cabo dos convenios con la Universidad Nacional de Córdoba para desarrollar y aplicar un Sistema de Gerenciamiento de Puentes.

Este trabajo proporciona una visión general del sistema desarrollado, que se denomina "SIGMA Puentes". Dentro del método integral que articula el sistema, se destacará la metodología de evaluación del estado de conservación de los puentes, que distingue este emprendimiento de otros actualmente en uso en distintos países. La metodología propuesta se basa en un grupo de "Indicadores de Riesgo de Falla" (IRF) e "Indicadores de Consecuencias de Falla" (ICF) de las obras de paso.

Se asignan calificaciones a estos indicadores para evaluar los aspectos de riesgo estructural, hidráulico/ambiental y de seguridad vial del puente. El promedio ponderado de estas notas se denomina "Calificación del Riesgo de Falla" (CRF). De este modo, los casos que presenten un CRF menor o igual a 7, se consideran que se encuentran en una condición de moderado o alto riesgo de falla. Por este motivo, se estudian las consecuencias que ocasionaría la falla de la vía de comunicación a través de los indicadores de consecuencias, en donde el promedio ponderado de la calificación de tres indicadores se utiliza como el principal parámetro sobre el que se define una lista de prioridades para la ejecución de las

tareas de rehabilitación, mantenimiento o readecuación de puentes existentes.

En el trabajo se comparten resultados de aplicación que muestran el panorama del estado de situación de la gestión de puentes de la Red Vial Nacional..

Abstract

Highway bridges are valuable capital assets from both social and economic standpoints. For this reason, and in order to aid authorities in the rational budget allocation for maintenance and retrofit works of existing bridges, a new Bridge Management System (BMS), named SIGMA Puentes, was developed for the National Department of Transportation of Argentina.

This paper provides an overview of the new BMS, highlighting the bridge condition evaluation methodology which differentiate the Argentinean BMS from others systems. The proposed methodology is based on a group of failure risk and failure consequences indicators.

Grades are assigned to failure risk indicators to individually assess the structural, hydraulic, and traffic safety condition of the bridge. The weighted average of these grades gives a bridge Failure Risk Grade (FRG). Bridges presenting FRG lower than 8, are deemed to present unacceptable condition, thus the consequences of bridge failure should be studied for these cases. Failure consequences are quantified through the weighted average of three Failure Consequences Indicators. This average is the principal parameter upon which a priority list for the execution of rehabilitation, maintenance, or retrofit of existing bridges of the Argentinean National Highway System is defined.

Palabras Clave: gestión de puentes, mantenimiento de puentes, gerenciamiento 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.

La Dirección Nacional de Vialidad (DNV) no cuenta actualmente con un SGP que permita conocer en un instante dado las características y el estado de conservación de los puentes existentes. Por ello, es sumamente difícil establecer un orden de prioridades para ejecutar presupuestos de mantenimiento, reparación, y reemplazo de los puentes existentes.

La necesidad habitual de administrar un presupuesto determinado para reparar y mantener los puentes de la RVN 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 contar con un sistema que sea capaz de almacenar toda la información de los puentes existentes en la RVN y su estado de conservación.

Cabe destacar, que existen numerosos SGP desarrollados en diversos países del mundo que podrían adaptarse a las necesidades de la RVN. Sin embargo, la experiencia indica que la adopción de un programa foráneo es de difícil implementación y genera altos costos iniciales y de operación, e inconvenientes de adecuación a futuro.

Por estas razones se decidió desarrollar para la DNV un SGP nuevo, que tuviera en consideración las características particulares del territorio argentino y que fuera de una instrumentación simple y económica. El SGP desarrollado se denomina Sistema Integral de Gerenciamiento y MAntenimiento de Puentes (SIGMA-P).

El SGP se desarrolló gracias a un esfuerzo conjunto de la DNV y la Universidad Nacional de Córdoba, durante los años 2005 y 2006. Como resultado se obtuvo una herramienta que utiliza una metodología novedosa para evaluar el estado de puentes y que cuenta con características particulares que lo distinguen del resto de los SGP existentes. El sistema desarrollado es de aplicación para todos los puentes de la RVN, exceptuando los puentes atirantados y de características especiales que pueden encontrarse sobre grandes ríos.

En este artículo se presentan las principales características y potencialidades del SGP desarrollado resaltando la metodología de evaluación del estado de conservación de los puentes implementada en el mismo..

Antecedentes de SGP

Existe en el mundo una gran diversidad de SGP desarrollados en los últimos 30 años (Bevc, et al., 1999). El desarrollo de estos sistemas se ha visto movilizado en gran medida por la importancia y magnitud del capital invertido por los diferentes países en infraestructura vial. En la actualidad un gran porcentaje de las naciones del mundo tienen en uso algún tipo de SGP que les permite priorizar las inversiones destinadas a mantenimiento, reparación, o reemplazo de las obras de arte mayores de su red vial.

La mayor parte de los SGP se construyen sobre una base informática constituida por programas de computadora de mayor o menor complejidad. Estos programas se encargan de administrar una base de datos en donde se encuentran representados todos los puentes o las obras de paso de la red vial de una determinada región. En general, los SGP hacen uso de programas comerciales para manejar su base de datos, tales como Oracle, SQL, Access, Delphi, Power builder, etc (Bevc, et al., 1999; Godart y Vassie, 2001; Cernuschi y Soprano 2004).

Cada uno de los SGP actualmente implementados presenta aspectos particulares propios que distinguen un sistema de los demás. Sin embargo, se observan ciertas características comunes a todos los SGP existentes, que pueden resumirse en los siguientes aspectos: (1) Inventario, (2) Inspecciones, (3) Evaluación de estado y clasificación de defectos, (4) Estimación de costos de diversas alternativas de mantenimiento, y (5) Programa de intervenciones o mantenimiento jerarquizado

El inventario, primer módulo de un SGP, consiste en realizar una descripción general del puente. El módulo de inspecciones (o relevamientos) involucra la realización de visitas periódicas o especiales al puente con el objeto de obtener información que permita emitir un juicio sobre el estado de conservación del mismo. El tercer módulo, Evaluación o Análisis, consiste en asignar una calificación al puente que refleje su estado más o menos grave de deterioro. El módulo de costos permite estimar un presupuesto de obras de reparación, ampliación o mantenimiento rutinario del puente sobre la base del estado de



las estructuras de acuerdo a los resultados del tercer módulo. Por último, el quinto módulo (Jerarquización) permite establecer el orden de prioridades para ejecutar obras de reparación o mantenimiento dentro de un grupo determinado de puentes y prever escenarios de acuerdo a distintas pautas de asignación de inversiones.

Los SGP estudiados durante la revisión de literatura del proyecto presentan importantes semejanzas en los puntos 1) y 2), mientras que los sistemas tienden a diferenciarse en los puntos 3) a 5). Las distinciones más importantes se observan en el módulo de "Evaluación de estado". Mientras los puntos 1) a 3) se encuentran presentes en todos los SGP estudiados, algunos no cuentan con un programa de mantenimiento jerarquizado, librando al juicio de autoridades administrativas las decisiones respecto a la necesidad de ejecutar las obras de reparación y mantenimiento.

De acuerdo a esta información recabada en análisis de antecedentes, el desarrollo de un nuevo SGP para la DNV de la República Argentina se llevó a cabo con el objetivo de generar una herramienta simple y de fácil acceso pero robusta, que sirviera de apoyo a la toma de decisiones de la dirigencia de la mencionada repartición pública. Una de las premisas del desarrollo del sistema era generar una herramienta que funcionara con una base de datos que pudiera accederse en forma remota a través de una conexión a Internet, a tenor de las pautas más modernas de gobierno electrónico y disponibilidad de la información.

Sistema Integral de Gerenciamiento y Mantenimiento de Puentes (SIGMA-P)

Actualmente existen en la Argentina alrededor de 3500 puentes dentro de la órbita de la Red Vial Nacional (RVN) que administra la Dirección Nacional de Vialidad (DNV), organismo estatal encargado del mantenimiento de los puentes y caminos, para brindar al usuario de las carreteras una circulación cómoda y segura. Unos 2000 puentes se encuentran dentro de la red vial troncal de Argentina, que cuenta con aproximadamente 39000 km de longitud total, diseminados en todo el largo y ancho del país.

Cabe destacar, que se toman como puentes a todas aquellas obras de arte de vano único con por lo menos 7 m de longitud, y todas aquellas obras de arte de vanos múltiples (de cualquier longitud) cuyo largo total exceda los 20 m.

El conocimiento de las obras de arte mayor de la RVN y su estado de conservación es fundamental para garantizar un buen nivel de servicio de las carreteras argentinas. Para alcanzar este objetivo es de primordial importancia contar con un SGP que permita acceder a una base de datos que almacene las características más importantes de los puentes, su estado de conservación en un momento dado, y sea capaz de

establecer un orden de prioridades para ejecutar presupuestos adjudicables a reparación y mantenimiento de los mismos.

En el marco de esta problemática se celebró en agosto de 2005 un convenio de colaboración entre la DNV y la Universidad Nacional de Córdoba para desarrollar un SGP y la herramienta informática del mismo. El programa de ordenador desarrollado para el SGP de Argentina se denomina SIGMA-P y presenta características particulares que lo distinguen de los programas existentes en el mercado actual. En este apartado se presentan las principales características del SGP desarrollado por la Universidad Nacional de Córdoba dentro de este convenio de colaboración.

El SGP de la DNV se desarrolló bajo la premisa principal de generar una herramienta sencilla en su implementación (de modo que la utilización del SGP no estuviera restringida a profesionales altamente calificados) y de concepción evolutiva por cuanto se prevé modernizar y mejorar el sistema para adaptarlo a los requerimientos que surjan durante su aplicación práctica. La gran cantidad de obras de arte mayor de la Argentina junto con su extensión geográfica hacen que la sencillez de aplicación del SGP sea un aspecto fundamental para el éxito en su posterior aplicación en todo el territorio argentino.

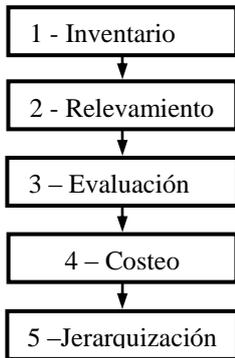
Al igual que los SGP estudiados como antecedentes, el de la DNV (SIGMA-Puentes) cuenta con los cinco módulos descritos en la sección 2 de este artículo. Los primeros dos módulos (módulos de inventario y relevamientos) se implementaron en forma similar a lo observado en otros SGP, es decir, por medio de planillas de inventario y relevamiento. Estas planillas se desarrollaron especialmente según las necesidades de la DNV. Los restantes tres módulos (módulos de Evaluación, Costos y Jerarquización) resultan sustancialmente distintos a los SGP existentes y por ello su descripción constituye el objeto principal de este artículo.

El SGP de la DNV consta de cinco módulos fundamentales independientes entre sí pero relacionados de modo que la información generada por cada módulo sirve de datos de entrada al módulo siguiente. En la Figura 1 se presenta un diagrama de flujo en donde puede observarse la forma en que se interrelacionan los distintos módulos del SIGMA-P.

Tal como se mencionara anteriormente en este artículo, el principal foco de esta publicación es el Módulo 3, asociado con la metodología de evaluación del estado de conservación y asignación de una calificación para su ordenamiento prioritario de las obras de arte mayor de la Red Vial Nacional. Los Módulos 1, 2, 4, and 5 no difieren sustancialmente de sus correspondientes en otros SGP (Ruiz et al., 2005).



Figura 1. Esquema simplificado del SIGMA-P.



Metodología para asignar la calificación del estado de conservación de un puente

La jerarquización de las inversiones para el mantenimiento de un determinado nivel de servicio de los puentes de una red vial consiste en establecer el orden de prioridades en que habría que ejecutar las obras necesarias para lograr la máxima eficiencia con el presupuesto disponible.

La metodología de jerarquización propuesta se desarrolló a partir de la premisa que un puente presenta tres aspectos fundamentales que en conjunto hacen que como vía de comunicación presente un alto nivel de servicio. Estos tres aspectos fundamentales son (a) las características hidráulicas del puente, (b) las características estructurales del puente, y (c) las características de la seguridad vial y capacidad del puente. Las características (a), (b), y (c) se identifican con aquellos aspectos que pueden conducir a la falla de un puente, entendiendo como falla a aquella situación que hace (de algún modo) que el puente sea intransitable.

Tal como surge de los aspectos fundamentales, un mal estado de la hidráulica de un puente podría acarrear que las crecidas del curso de agua que cruza la estructura ocasionen daños en los accesos, fundaciones u otros elementos del puente. Del mismo modo, un deficiente estado de conservación o deterioro de la estructura del puente puede provocar el colapso del mismo inhabilitando su utilización. Finalmente y atendiendo al tercer aspecto, un puente inseguro en donde ocurran accidentes fatales frecuentemente puede considerarse en "falla" por cuanto representa una amenaza para los vehículos que circulan por el mismo.

El estudio de diversos puentes dentro de la RVN indica que los tres aspectos señalados en conjunto hacen a la serviciabilidad del puente. Por ello, la metodología propuesta busca determinar una calificación integral que refleje el estado global del puente atendiendo a los aspectos (a), (b), y (c). La calificación integral es un valor numérico que varía entre 1 y 10, en donde una puntuación igual a 1 indica un defectuoso estado de conservación, mientras que un valor igual a 10 es indicativo de un estado óptimo de conservación.

Para lograr el objetivo de alcanzar una valoración integral del estado de un puente, se propuso la definición de seis indicadores que, combinados apropiadamente, arrojarán la calificación buscada. En los siguientes apartados se describen estos indicadores y la forma en que se plantea su combinación.

Indicadores de falla

Tal como se ha mencionado en el apartado anterior, deben evaluarse seis parámetros para obtener la calificación final del estado de conservación global de un puente. Los parámetros (o indicadores) están divididos en dos grupos: (i) Indicadores de Riesgo, y (ii) Indicadores de Consecuencias. El primer grupo está compuesto por tres indicadores: indicador de riesgo por falla estructural, indicador de riesgo por falla hidráulica e indicador de riesgo de seguridad vial. El segundo grupo está compuesto por otros tres indicadores que se evaluarán en ciertas condiciones como se detalla más adelante en este trabajo. El promedio ponderado de las calificaciones de cada uno de estos indicadores se denomina Calificación de Riesgo de Falla (CRF). Los factores de peso que se aplican a cada uno de los indicadores se determinaron luego de numerosas discusiones y análisis de expertos de la UNC y de la DNV. Los factores de peso propuestos son los siguientes: Riesgo Estructural = 30%, Riesgo Hidráulico = 30% y Riesgo de seguridad vial = 40%. De acuerdo a esto, la ecuación que permite obtener el CRF puede expresarse como sigue:

$$CRF = 0.3RE + 0.3RH + 0.4RSV \quad (1)$$

Para el caso de que un puente cruce sobre algún obstáculo que no sea un curso de agua (quebrada, ruta, u otro puente, por ejemplo) la ecuación de ponderación se reduce a:

$$CRF = 0.45RE + 0.55RSV \quad (2)$$

El desarrollo del SGP incluyó la formulación de guías para la asignación de las calificaciones de los indicadores de riesgos detalladamente que pueden consultarse en Ruiz et al., (2005). En este artículo se presenta, a continuación, un resumen de estos lineamientos. En la Tabla 1 se presenta la guía para asignar la calificación de los indicadores de riesgo estructural e hidráulico y en la Tabla 2 los lineamientos para definir el indicador de riesgo por seguridad vial.

Con el objeto de asegurar un nivel de servicio elevado para los puentes, atendiendo a su importancia dentro de la red vial, se definió como límite que divide estructuras de bajo riesgo de falla de aquellas que presentarían alto riesgo de falla un valor de $CRF = 7$. De este modo, los puentes cuyo promedio ponderado de indicadores de riesgo sea mayor a 7 se consideran con bajo riesgo de falla y con alto riesgo de falla para promedios iguales o mayores de 7. Este segundo grupo de puentes pasa a la siguiente instancia de calificación a través de los indicadores de consecuencias. Además, el sistema establece



que es condición suficiente para considerar un puente con riesgo de falla “alto” que uno de los indicadores de riesgo presente una calificación igual o menor a 5. En estos casos no es necesario determinar el CRF.

Tabla 1. Escala propuesta para factores RE y RH.

| Calif. | Criterio propuesto |
|--------|---|
| 1 | Indica alta posibilidad de clausura del Puente |
| 3 | Indica alta posibilidad de limitación de la capacidad de carga del Puente |
| 5 | Indica la necesidad de incurrir en elevados costos de reparación o refuerzo debido al requerimiento de intervenciones urgentes. |
| 7 | Indica la necesidad de incurrir en costos de reparación o refuerzo normales como consecuencia de intervenciones programadas. |
| 9 | Indica la necesidad de realizar tareas de mantenimiento rutinario. |

Tabla 2. Escala propuesta para el factor RSV.

| Calif. | Criterio propuesto |
|--------|---|
| 1 | Se asigna a aquellos puentes en donde se han registrado accidentes fatales en los últimos años y en estructuras con problemas de diseño geométrico (falta de visibilidad, curvas en el Puente o sobre los accesos, etc.). |
| 3 | Se asigna a los puentes cuyo ancho útil de calzada es significativamente menor al ancho útil de la carretera fuera del Puente. Además, se asigna esta calificación en casos donde se observa una pronunciada reducción de velocidad del tránsito. |
| 5 | Se asigna a los puentes cuyo ancho útil de calzada es menor a 8.30 m y para aquellas estructuras en donde se observa una leve reducción de velocidad en el tránsito. |
| 7 | Se asigna a estructuras que no se encuentran en las categorías anteriores pero que requiere de reparaciones en defensas vehiculares o barandas peatonales. |
| 9 | Se asigna a estructuras que sólo requieren tareas de mantenimiento rutinario como pintura de la carretera, barandas, o señalización. |

Para los casos de puentes con alto riesgo de falla se deberán evaluar los indicadores de consecuencias con el objeto de establecer un orden de prioridades para la ejecución de inversiones de reparación de las obras de arte. Estos factores son: Vulnerabilidad de la red, Valor estratégico y Nivel de tránsito. El promedio ponderado de las calificaciones individuales de estos indicadores se utiliza para establecer el orden de prioridades recomendado de inversión. Los factores de peso asignados a estos indicadores son los siguientes: Vulnerabilidad de la red = 30%, Valor estratégico = 30%, y Nivel de tránsito = 40%. Siguiendo la metodología señalada para el caso del CRF, se calcula la Calificación de Consecuencias de Falla (CCF) de la siguiente manera:

$$CCF = 0.3VR + 0.3VE + 0.4NT \quad (3)$$

Para el caso de que la obra califique solamente por seguridad vial (en ese caso la consecuencia por vulnerabilidad de la red no participa) la ecuación de ponderación se reduce a:

$$CRF = 0.45VE + 0.55NT \quad (4)$$

El CCF es el parámetro principal que utiliza el sistema SGMAP para definir un orden de prioridades de rehabilitación y reparación de los puentes existentes en la red vial. La metodología descrita brevemente en este artículo tiene por objeto cuantificar el estado de conservación de los puentes en dos niveles. El primero con los indicadores de riesgo, en donde se determina el nivel de riesgo de falla de una obra de arte. El segundo, que aplica solo a los puentes de alto riesgo de falla que permite introducir en el proceso de jerarquización cómo impactaría dentro de la red vial la falla de cada una de las estructuras, lo que permite establecer un orden de prioridades sugerido para la intervención y reparación de obras de arte.

En Ruiz et al (2005) se encuentran detallados lineamientos para la asignación de las calificaciones a cada uno de los indicadores de consecuencias. A continuación, se presenta un resumen de estos lineamientos.

Indicadores de consecuencias

Los indicadores de consecuencias tiene por objetivo cuantificar los costos que surgen de la falla (o clausura) de un puente, lo que incluye costos asociados a la propia falla del puente, costos relacionados con el impacto ambiental que podría ocasionar, y costos de los usuarios.

El indicador Vulnerabilidad de la red permite incorporar en la evaluación las pérdidas económicas debido a una limitación de la capacidad portante del puente o a su colapso, teniendo en cuenta que esto acarreará dificultades de circulación y que los vehículos deberán utilizar rutas alternativas que podrían implicar demoras y un recorrido mayor de distancia y, probablemente, por rutas que tienen distinto nivel de servicio. Además, este indicador permite tener en cuenta que la falla de un puente interrumpe la continuidad de la red vial con graves consecuencias para determinadas regiones. Un ejemplo de esta situación puede verificarse con la falla del puente sobre el Río Seco, en Enero de 2006 que tuvo como consecuencia el aislamiento de siete pueblos por unos 15 días. Para cuantificar este factor se consideró que a mayor recorrido alternativo para unir dos puntos de la red vial a la cual pertenece el puente, mayor serán los costos económicos asociados. El rango de valores a asignar a este indicador se muestra en la Tabla 3, en donde el indicador surge en función de la distancia del recorrido alternativo y del tiempo adicional que requiere el mismo, comparado con el camino original.



Tabla 3. Calificación del indicador de consecuencia “Vulnerabilidad de la Red”.

| Tiempo adic. por recorrido alternativo [min] | Dist. Adic. para veloc. de 15 km/h [km] | Dist. Adic. para veloc. de 40 km/h [km] | Dist. Adic. para veloc. de 80 km/h [km] | Vulnerabilidad de la red |
|--|---|---|---|--------------------------|
| > 120 | > 30 | > 80 | > 160 | 1 |
| 60 | 15 | 40 | 80 | 3 |
| 30 | 7.5 | 20 | 40 | 5 |
| 15 | 4 | 10 | 20 | 7 |
| < 7 | < 2 | < 5 | < 10 | 9 |

El indicador “Valor estratégico” incorpora en el proceso de evaluación la importancia social, económica, geopolítica y ambiental del tramo de carretera en el cual se encuentra el Puente evaluado. Estos aspectos pueden condensarse en un factor único de acuerdo a la siguiente expresión:

$$VE = VE_{base} - Z_u - Z_f - A \quad (5)$$

En donde VE_{base} es un valor básico del indicador y se obtiene de la Tabla 4, Z_u es un factor de modificación por situación territorial en caso de puente en zonas urbanas, Z_f es un indicador que tiene en cuenta las zonas de frontera, y A es el indicador para tener en cuenta la sensibilidad ambiental del sitio de implantación del puente. A continuación se describen estos factores.

Tabla 4. Valores de referencia para el VE_{base} .

| VE_{base} | Descripción |
|-------------|---|
| 5 | Corredor troncal pavimentado |
| 7 | Otros tramos pavimentados – Corredor troncal no pavimentado |
| 9 | Otros tramos no pavimentados |

El factor de modificación por Zona Urbana (Z_u) se aplica para tener en cuenta que puentes ubicados en comunas y ciudades cumplen un rol socioeconómico que trasciende la función vial. Se asigna al modificador Z_u la posibilidad de restar de 1 a 4 puntos el VE_{base} , según el siguiente criterio (Tabla 5):

Tabla 5. Valores propuestos para el Z_u .

| Z_u | Descripción |
|-------|--------------------------------|
| 0 | Zona rural |
| 1 | Con una población < 2000 hab. |
| 2 | Municipio de 2000 a 10000 hab. |
| 3 | Ciudad de 10000 a 100000 hab. |
| 4 | Ciudad > 100000 hab |

El factor de Modificación por Zona de Frontera (Z_f) se define para reflejar que los puentes en corredores internacionales o en rutas bordes de frontera cumplen un rol geopolítico que

trasciende la función vial. Se asigna al modificador Z_f la posibilidad de restar de 1 a 4 puntos el VE_{base} , según el siguiente criterio (Tabla 6):

Tabla 6. Valores propuestos para el Z_f .

| Z_f | Descripción |
|-------|---|
| 0 | > 400 km de una frontera –no integrante de corredor internacional |
| 1 | > 400 km de una frontera – integrante de corredor internacional |
| 2 | de 200 a 400 km de una frontera |
| 3 | de 100 a 200 km de una frontera |
| 4 | < 100 km de frontera |

Por último, el factor Modificación por Sensibilidad Ambiental (A) se incorpora en la metodología para tener en cuenta sensibilidad ambiental de los entornos naturales en donde se encuentran implantados los puentes. La sensibilidad del medio receptor donde se ubica el puente puede caracterizarse como Baja, Moderada o Alta según las características físicas, biológicas y antrópicas. Se asigna al modificador A la posibilidad de restar de 0 a 4 puntos el VE base, según el criterio expuesto en Tabla 7.

Tabla 7. Valores propuestos para el Z_f .

| A | Descripción |
|-----|-------------|
| 0 | Bajo |
| 2 | Moderado |
| 4 | Alto |

Para lograr una calificación adecuada, la suma de los tres modificadores (Z_u , Z_f y A) no puede superar el valor cuatro (4), es decir que deberá efectuarse una valoración integral antes de aplicar la expresión para determinar el valor definitivo del indicador de consecuencia por vulnerabilidad ambiental. Valores intermedios para las calificaciones de las tablas mostradas se asignarán a cada indicador según el criterio del especialista evaluador atendiendo a situaciones particulares.

El último indicador de consecuencia es el denominado “Nivel de Tránsito” y es un indicador asociado a la importancia económica del perjuicio que generaría la clausura o limitación de carga por falla estructural o hidráulica y también para el caso de compromisos por fallas de seguridad vial. El costo debido al cierre de ruta o interrupción de tramo está directamente asociado a la cantidad de usuarios que se encontrarán perjudicados por la situación. Del mismo modo, la cantidad de accidentes en un puente angosto está directamente asociada al volumen de tránsito circulante.

Debido a que el objetivo principal de los indicadores de consecuencia es lograr una calificación que permita priorizar las inversiones, para la asignación de puntajes se han determinado



umbrales de tránsito debido a que es un parámetro que mide aproximadamente cuántos usuarios se verán afectados por la falla de un puente diariamente. Estos umbrales se fijan en función del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) del tramo de carretera en donde está implantado el puente. En la Tabla 8 se presenta un resumen de los puntajes propuestos.

Tabla 8. Valores propuestos para el Z_u .

| Calif. | Descripción |
|--------|----------------------------------|
| 1 | TMDA > 5000 vehículos/día |
| 3 | 3000 > TMDA > 5000 vehículos/día |
| 5 | 1500 > TMDA > 3000 vehículos/día |
| 7 | 500 > TMDA > 1500 vehículos/día |
| 9 | TMDA < 500 vehículos/día |

Conclusiones

El Sistema de Gestión de Puentes de Vialidad Nacional se compone de cinco módulos interrelacionados, y posee características comunes a otros SGP internacionales, distinguiéndose especialmente por su método de evaluación, el cual se perfeccionó en un primer Convenio con la UNC. En futuras publicaciones se presentarán los resultados de aplicación de dicha metodología en todo el país, asociados principalmente con los frutos de un segundo Convenio, de cercana culminación.

Este trabajo se ha dedicado a explicar el modo de evaluar el estado de conservación de los puentes y priorizar las intervenciones, lo cual se lleva a cabo en los módulos 3 y 5 respectivamente. Dicho objetivo se logra utilizando una metodología de análisis multicriterio en tres niveles concatenados:

El primer nivel consiste en evaluar factores de riesgo de falla o colapso, estableciéndose criterios claros para, a partir de los relevamientos, otorgar puntuaciones al puente entendido en sentido amplio como obra de paso (involucrando accesos y obstáculo sorteado) respecto de sus patologías y afectaciones, sean estructurales, hidráulicas o de seguridad vial.

Los indicadores de riesgo varían de 1 a 10 y permiten calcular un promedio ponderado, denominado "Calificación de Riesgo de Falla", solidario a tres grados de riesgo (alto, medio y bajo). Sean dos puentes para los que se ha obtenido CRF, dado que este guarismo en definitiva estima el nivel de riesgo que implicaría postergar la inversión para un próximo período, debería atenderse prioritariamente al de menor nota (riesgo de falla mayor).

La descripción de las guías de evaluación ordinaria y detallada para los distintos rubros será motivo de otros trabajos por su valía y extensión, pero en el apartado dedicado a los IRF ("Indicadores de Riesgo de Falla") se ha mencionado someramente las implicancias de estas calificaciones.

El método y sus herramientas de aplicación permiten alterar los factores de peso, adaptándose a nuevos requerimientos. Por ejemplo, si el algoritmo se utilizara en un país o provincia con alta actividad sísmica, podría aumentarse la importancia relativa de los riesgos de falla estructurales frente a los demás, para privilegiar la adecuación del stock (en este ejemplo, hasta evidenciar mejoras en el desempeño sísmico resistente).

El segundo nivel de evaluación está orientado a determinar la magnitud del perjuicio, en caso de que la falla del escalafón anterior se produzca. Por ello, en un principio este subcriterio de intervención era aplicable sólo a los puentes de alto riesgo, segmentando el proceso de jerarquización a los casos más álgidos y considerando cómo impactaría dentro de la red la falla de cada una de estas estructuras.

Esta configuración es con la que opera actualmente el SIGMA-P, lo que permite establecer un orden de prioridades sugerido para la intervención y reparación de obras de arte. Entre dos estructuras que han obtenido igual puntaje de riesgo, se deberá actuar primero en aquella cuya falla ocasione mayores consecuencias.

Los indicadores de consecuencias evalúan el nivel de tránsito en el puente, la vulnerabilidad de la red en el tramo y su valor estratégico, y varían de 1 a 9 dado que (si la obra de paso es útil), no hay "cero" consecuencias por falla.

Se han normalizado y simplificado los procedimientos para la consecución de las notas indicadoras de consecuencias, que como se describió en el acápite V-ii, engloban las afectaciones socio-económicas que se producirán si el puente sale de servicio o se encuentra limitado. Esta facilidad de obtención de los ICF llevó recientemente a las autoridades de la DNV a recomendar a los grupos SIGMA de los Distritos que sean calculados para todas las estructuras, porque como valor añadido, la "Calificación de Consecuencias de Falla" (CCF) puede servir también para priorizar las campañas de inspección y orientar qué puentes deben evaluarse primero.

Éste es el tópico más abarcado en el presente artículo por su novedad, y aquí también es apreciable la flexibilidad del método, por cuanto los umbrales, factores de peso, etc. son completamente actualizables. Como muestra podría mencionarse que en un caso ficticio de escalada bélica, inmediatamente resultaría accesible el listado de obras de arte en frontera, con el ranking para gestionar el aspecto estratégico de las mismas.

La estructura jerárquica del proceso de decisión se verá complementada por un tercer nivel, mediante el subcriterio de ordenamiento de prioridades por presupuesto de la obra a realizar (inversión requerida), ya que entre dos obras con iguales riesgos y consecuencias, la que requiera menor costo de ejecución detendrá ventajas comparativas.



En conclusión, el método expuesto cumple con el objetivo de minimizar los riesgos de fallas y sus efectos en una red vial, sujeto a un presupuesto dado para mantenimiento y rehabilitación de sus puentes. Su algoritmo, no teniendo una solución analítica pura, contempla un conjunto de factores que lo hacen abarcativo y eficaz para optimizar la toma de decisiones. Además, puede ser adaptado para su uso en diferentes regiones a fin de reflejar condiciones particulares de la red o del tránsito, u otros requerimientos.

Referencias

- Bevc, L., Mahut, B., & Grefstad, K., (1999). "Review of current practice for Assessment of Structural Condition and Classification of Defects". BRIME (Bridge Management in Europe), Delivery D2, 61p.
- Czepiel, E. (1995). "Bridge Management System Literature Review and Search", ITI Technical Report No. 11, Northwestern University, Infrastructure Technology Institute. <http://www.iti.northwestern.edu/publicatins/bridges/bms.html>
- Goodart, B., & Vassie, P. R., (2001). "Review of Existing BMS and definition of inputs for the proposed BMS". BRIME (Bridge Management in Europe), Delivery D4, 41p.
- Kaschner, R.; Cremona, C.; & Cullington, D. (1999). "Review of current procedures for assessing load carrying capacity", BRIME (Bridge Management in Europe), Delivery D1, 49p.
- Larsen E. S., & Holst, J., (1999), "Inspection, Monitoring, and Priority-Ranking of Bridges". International Bridge Management Conference, Transportation Research Circular 498, Volume 1, Denver, Colorado. pp F3/1-F3/14.
- Ruiz, M. E., Prato, T. A., Prato, C. A., Galarraga, J., & Lopez, S. (2005). "Development and application of a BMS for the Republic of Argentina – Final Report". Report submitted to the ADOT, March 2006.
- SIPUMEX (1994), "Mexican Bridge System – Users Manual".
- Soprano D., and Cernuschi, G. (2005), "Bridge Management System of the Buenos Aires Province: Experience and Updates after three years of its implementation". Report submitted to the Department of Transportation of the Province of Buenos Aires, 40p.
- Söderqvist, M., & Veijola, M., (1999). "Finnish Project Level Bridge Management System". International Bridge Management Conference, Transportation Research Circular 498, Volume 2, Denver, Colorado. pp F3/1-F3/14, pp F5/1-F5/7.
- Woodward, R. ; Cullington, D.; Daly, A.; Vassie, P.; Haardt, P.; Kashner, R.; Astudillo, R.; Velando, C.; Godart, B.; Cremona, C.; Mahut, B.; Raharinaivo, A.; Lau; Markey, I.; Bevc, L.; & Peruš, I. (2001). "Final Report", BRIME (Bridge Management in Europe), Delivery D14, 227p.