

COMPARATIVA DE DOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE PUENTES, APLICADOS AL PROCESO DE INSPECCIÓN

Manuel P. Cruz G.¹, Francisco J. Olgún C.²,
José Betancourt H.³

RESUMEN

Este artículo trata de la práctica de inspección de puentes en el sistema carretero nacional, que permite conocer, de manera genérica, el estado actual estructural que guarda cada obra.

Para ejemplificar la práctica utilizada, se seleccionaron tres puentes, donde se efectuó la inspección mediante el Reporte SIPU-MEX, así como la inspección con el reporte SIAP, para efectuar una comparativa de los resultados obtenidos en los 2 sistemas.

En general los dos sistemas, recaban los datos obtenidos en las inspecciones visuales detalladas.

De acuerdo con la calificación obtenida, se indica el seguimiento aplicable en cada estructura, dentro del sistema de Gestión de Puentes.

Palabras Claves: Concreto hidráulico, Conservación, Inspección, puente, resistencia.

ABSTRACT

This article talks about the inspection of bridges in the national road system, which, in a general way, allows us to know the current structural state of each bridge.

To illustrate the technique that was used, three bridges were chosen and an inspection using the report SIPU-MEX was performed on them, as well as the inspection with the report SIAP to compare the obtained results between the 2 systems.

In general, both systems gather the obtained data from the detailed visual inspections.

According to the obtained qualification, it is suggested the applicable follow-up action for each structure, within the Bridge Management System.

Keywords: Hydraulic concrete, maintenance, Inspection, Bridge, Resistance.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El IMT en su Publicación Técnica No. 122 [2], indica que existe una gran variedad de técnicas y equipos de inspección no destructiva que se emplean en la evaluación de puentes carreteros.

Se cuenta con nuevas tecnologías japonesas para inspección de Puentes [6], como son:

Sistema de inspección de puentes MIRU MIRU. Esta tecnología sustituye a la inspección visual convencional desde proximidades de los puentes. La inspección se realiza desde la cubierta del puente con las imágenes nítidas tomadas por una cámara de video de control remoto.

Sistema de medición de la solidez del concreto hidráulico de losas mediante martilleo. Esta tecnología consiste en empujar manualmente el medidor sobre la calzada, y grabar el ruido impulsivo detectado por las ruedas. Los datos obtenidos son analizados con el programa de análisis para representar sobre el mapa las secciones con ruidos anormales y las secciones sanas.

Sistema de robot inspector de puentes. Esta tecnología facilita la inspección visual de los puentes de estructura compleja (puentes de armadura, en arco,

¹ Estudiante del programa de doctorado interinstitucional en ingeniería civil, Universidad Juárez del Estado de Durango. Email: mapacruzgtz@gmail.com

² Profesor del programa de doctorado interinstitucional en ingeniería civil, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Email: jolguin77@gmail.com

³ Profesor del programa de doctorado interinstitucional en ingeniería civil, Universidad Juárez del Estado de Durango. Email: icauced04@yahoo.com

etc.) o de los puentes construidos sobre grandes ríos o en las zonas montañosas de difícil acceso por el personal. Permite inspeccionar la superficie inferior del puente desde la cubierta.

El IMT en su Publicación Técnica No. 379 [4], señala que, todas las estructuras civiles acumulan daño gradualmente durante su vida útil, particularmente los puentes carreteros, siendo la fatiga y los efectos ambientales, las principales causas de deterioro.

Olgún Coca F. J. [7] presenta estudios que incluyen la fatiga y la corrosión en elementos de puentes. El reporte incluye puentes con estructuras de acero y concreto reforzado con acero.

El sistema carretero nacional cuenta con un sistema de administración de conservación y mantenimiento de su infraestructura que permite conocer, de manera genérica, el estado actual estructural que guarda cada obra, para así programar reparaciones, dependiendo del nivel de daño cuantificado y calificado [18].

Esta actividad queda enmarcada, dentro del Sistema de Gestión de Puentes, cuya primera componente es la Inspección, la segunda componente es la Base de Datos y la tercera componente son las Acciones a Realizar.

Objetivos específicos

En los tres puentes seleccionados, hacer un análisis del reporte generado por el Sistema de Puentes de México (SIPUMEX), el cual es utilizado para conocer las características y estado de los puentes en la red carretera federal [5].

Para los mismos tres casos, efectuar la inspección de los puentes, empleando el Sistema de Administración de Puentes (SIAP), el cual fue elaborado por el IMT [1].

Comparar los resultados obtenidos del SIPUMEX contra los obtenidos, para los mismos casos, empleando el SIAP.

METODOLOGÍA

Descripción del área en estudio

El trabajo se desarrolló en la Red de Carreteras de Jurisdicción Federal, en el estado de Durango [14], la cual se ilustra en la figura 1.

Con el conocimiento de que, es necesario ins-

peccionar una cantidad considerable de puentes, en una primera etapa se seleccionaron tres puentes, los cuales se enlistan a continuación:

- Puente 5 de Febrero, cuerpo Izquierdo.
Localizado en el km 4+500, de la Carretera: Zacatecas – Durango (Ruta 45), Ramal: Libramiento Oriente de Durango.
- Puente Nazas, cuerpo derecho.
Localizado en el km 256+500, de la carretera: Durango - Torreón (Ruta 40).
- Puente Nazas, cuerpo izquierdo.
Localizado en el km 256+500, de la carretera: Durango - Torreón (Ruta 40).

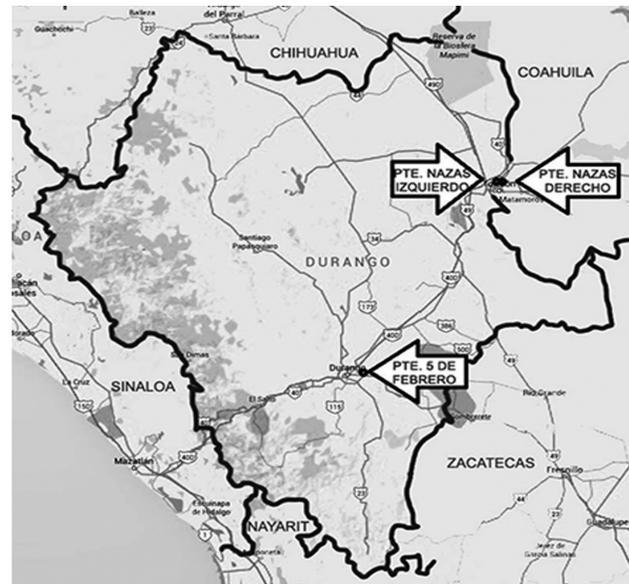


Figura 1. Mapa de carreteras federales en el estado de Durango.

Métodos

Se realizaron las siguientes actividades:

1. Investigación de las cargas actuantes en la estructura.
2. Aplicación del Reporte SIPUMEX.
3. Aplicación del Reporte SIAP.
4. Comparativa de los resultados del SIPUMEX contra los obtenidos del SIAP, para los mismos casos.
5. Inspección visual de la estructura y Reporte fotográfico.

6. Levantamiento de la geometría actual de la estructura.
7. Pruebas no destructivas a las traveses de concreto de los puentes en estudio.
8. Medición de las deformaciones permanentes en las traveses.

Investigación de las cargas actuantes en la estructura

- *Puente 5 de Febrero, cuerpo izquierdo.*

Como cargas permanentes [16], solo se tiene el peso propio de la estructura, ya que no se tiene empuje de tierras, ni presiones hidrostáticas.

Como cargas variables [16] se tiene la producida por el vehículo T3-S2-R4 [15], así como por el impacto de los vehículos que circulan sobre el puente. Se hace notar que la carga viva de diseño fue la HS-15. El tránsito acumulado [13] se ilustra en la Figura 2.

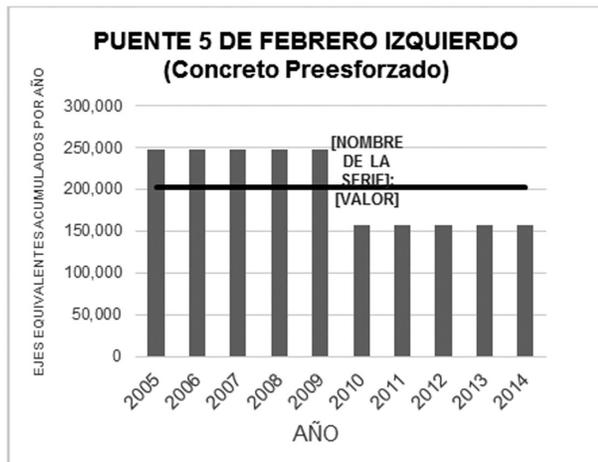


Figura 2. Puente 5 de Febrero Izquierdo. Tránsito acumulado.

Como cargas eventuales [16], se tienen: viento, sismo, frenado, fricción, y variación de temperatura. La temperatura promedio anual entre los años 1980 y 2013, es de 19 °C.

- *Puente Nazas, cuerpo derecho.*

Como cargas permanentes [16], se tiene el peso propio de la estructura y el empuje de tierras en los estribos; no se tienen presiones hidrostáticas.

Como cargas variables [16] se tiene la producida por el vehículo T3-S2-R4 [15], así como por el impacto de los vehículos que circulan sobre el puente. Se hace notar que la carga viva de diseño fue la HS-15. El tránsito acumulado de vehículos [13], se ilustra en la Figura 3.

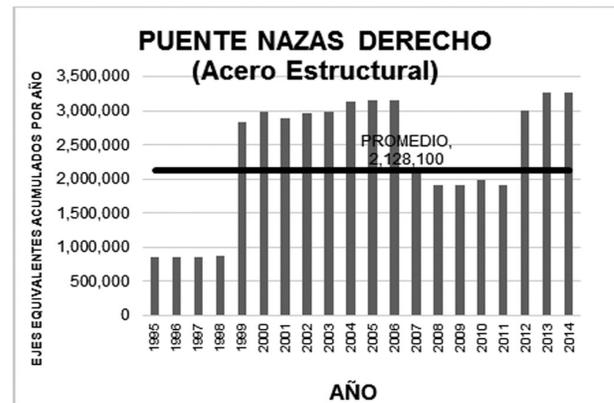


Figura 3. Puente Nazas Derecho. Tránsito acumulado.

Como cargas eventuales [16], se tienen: viento, sismo, frenado, fricción, y variación de temperatura. La temperatura promedio anual, entre los años 2001 y 2013, es de 23 °C.

- *Puente Nazas, cuerpo izquierdo.*

Como cargas permanentes [16], se tiene el peso propio de la estructura y el empuje de tierras en los estribos; no se tienen presiones hidrostáticas.

Como cargas variables [16] se tiene la producida por el vehículo T3-S2-R4 [15], así como por el impacto de los vehículos que circulan sobre el puente. Se hace notar que la carga viva de diseño fue la HS-20. El tránsito acumulado de vehículos [13], se ilustra en la Figura 4.

Como cargas eventuales [16], se tienen: viento, sismo, frenado, fricción, y variación de temperatura. La temperatura promedio anual, entre los años 2001 y 2013, es de 23 °C.

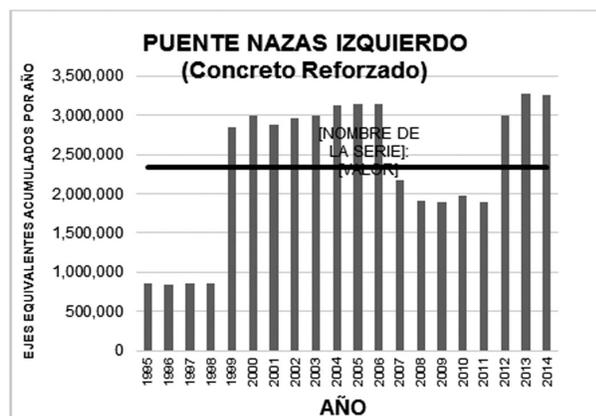


Figura 4. Puente Nazas Izquierdo. Tránsito acumulado.

Aplicación del Reporte SIPUMEX

El resumen del reporte SIPUMEX, se ilustra en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen del Reporte SIPUMEX.

Clave	09-002-01.0-0-03.3 5 de Febrero	09-001-00.0-0-31.1 Nazas Derecho	09-001-00.0-0-31.2 Nazas Izquierdo
Estado	Durango	Durango	Durango
Carretera	Zac. – Durango (Ruta 45)	Durango - Torreón (Ruta 40)	Durango - Torreón (Ruta 40)
Ramal	Lib. Oriente	N/A	N/A
Km	4.500 Izquierdo	256.500 Derecho	256.500 Izquierdo
Año de construcción	1980	1931	1975
Año de última reconstrucción	2000	N/A	N/A
Latitud	024° 3.46'	025° 32.80'	025° 32.81'
Longitud	104° 31.98'	103° 28.23'	103° 28.16'
Altitud	1,874 m	1,120 m	1,127 m
Calificación	2	4	2

Aplicación del Reporte SIAP.

El resumen del reporte SIAP, se ilustra en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen del Sistema de administración de puentes SIAP.

Nombre	5 de Febrero	Nazas Derecho	Nazas Izquierdo
Estado	Durango	Durango	Durango
Carretera	Zac. – Durango (Ruta 45)	Durango - Torreón (Ruta 40)	Durango - Torreón (Ruta 40)
Ramal	Lib. Oriente	N/A	N/A
Km	4.500 Izquierdo	256.500 Derecho	256.500 Izquierdo
Latitud	024° 3.46'	025° 32.80'	025° 32.81'
Longitud	104° 31.98'	103° 28.23'	103° 28.16'
Altitud	1,874 m	1,120 m	1,127 m
Calificación General del Puente			
Socavación	2	3	3
Cimentación	2	3	3
Apoyos	2	5	3
Piñas		3	3
Sistema de piso (losas)	3	5	3
Sistema portante (vigas y diafragmas)	4	5	3
Dispositivos de apoyo	2	5	3

Comparativa de los resultados del SIPUMEX contra los obtenidos del SIAP

El valor numérico de la calificación, corresponde a la calificación cualitativa indicada en la Tabla 3.

Tabla 3. Calificación SIPUMEX - SIAP.

SIPUMEX	Calificación cualitativa	SIAP
0	Puente recientemente construido o reparado. Sin problemas (condición excelente).	1
1	Puente en buen estado. No requiere atención (condición buena).	2
2	Estructuras con problemas menores, plazo de atención indefinido (condición aceptable).	3
3	Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años (condición regular).	4
4	Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años (condición mala o defectuosa).	5
5	Daño extremo o riesgo de falla total. Se requiere reparación inmediata o a la brevedad posible (condición de falla).	6

De acuerdo a lo anterior, se tiene que:

El puente 5 de Febrero Izquierdo, el SIPUMEX y el SIAP lo reportan como estructura con problemas menores, plazo de atención indefinido (condición aceptable); haciéndose notar que el SIAP señala el sistema portante con daño significativo (condición regular) debido a la oxidación en los cables de pre esfuerzo.

El puente Nazas Derecho, el SIPUMEX y el SIAP lo reportan con daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años (condición mala o defectuosa); haciéndose notar que el SIAP señala el sistema de piso y el sistema portante, como los elementos donde se localiza el daño grave (condición mala o defectuosa) debido a la oxidación en la estructura de acero.

El puente Nazas Izquierdo, el SIPUMEX y el SIAP lo reportan como estructura con problemas menores, plazo de atención indefinido (condición aceptable).

Inspección visual de la estructura y Reporte fotográfico

• *Puente 5 de Febrero, cuerpo izquierdo.*

La subestructura es de tipo desconocido, enterrada en conos de derrame que forman el talud del canal.

La superestructura está formada por 4 traveses rectangulares de concreto reforzado a las cuales se les aplicó posteriormente un pre esfuerzo mediante cables post tensados, adosados en los paramentos exteriores de cada trabe; las traveses están ligadas por 2 diafragmas extremos y una losa de concreto hidráulico reforzado; las traveses son simplemente apoyadas, con un apoyo fijo y otro móvil, ambos formados por placas de neopreno.



Figura 5. Puente 5 de Febrero Izquierdo.

En la fotografía de la Figura 5, se ilustra la estructura de este puente.

Las traveses de concreto reforzado construidas en el año 1980 y que fueron pre esforzadas en el año 2000, presentan grietas verticales y en diagonal, ocasionadas por momento flexionante y esfuerzo cortante, las cuales fueron selladas previamente a la colocación del acero de pre esfuerzo.

El concreto hidráulico de las traveses y de la losa se observan intemperizados por efecto de la humedad.

El acero de pre esfuerzo exterior se observa ligeramente oxidado en su exterior.

• *Puente Nazas, cuerpo derecho.*

La cimentación es a base zapatas de mampostería.

La subestructura está formada por dos estribos de mampostería, con cabezal de concreto hidráulico reforzado; así como 13 pilas de mampostería, con cabezal de concreto hidráulico.

La superestructura está formada en cada claro, del 2-3 al 13-14, por una armadura metálica a paso inferior, ligada en la superficie de rodamiento por piezas de puente metálicas y una losa de concreto hidráulico reforzado; las armaduras son simplemente apoyadas, con un apoyo fijo de acero y otro móvil formado por una mecedora de acero; en tanto que en los dos claros extremos, el 1-2 y el 14-15, está formada por dos traveses metálicas ligadas en la superficie de rodamiento por piezas de puente metálicas y una losa de concreto hidráulico reforzado; las traveses son simplemente apoyadas, con un apoyo fijo de acero y otro móvil formado por una mecedora de acero.

En la fotografía de la Figura 6, se ilustra la estructura de este puente.



Figura 6. Puente Nazas Derecho.

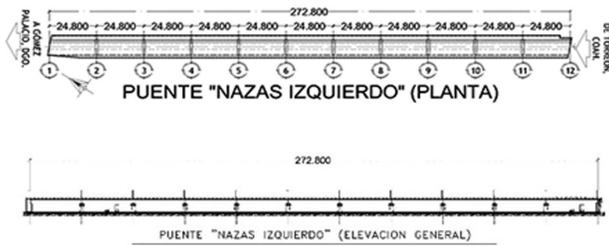


Figura 10. Planta y elevación del Puente Nazas Izquierdo.

Pruebas no destructivas a las traveses de concreto de los puentes en estudio.

Se determinó el número de rebote del concreto hidráulico [11], con un método no destructivo, aplicando el procedimiento de la Norma Mexicana NMX-C-192-ONNCCE-2006 [8].

La resistencia a la compresión simple del concreto hidráulico, se determinó de acuerdo a lo indicado en el Manual de Instrucciones [3], para el Esclerómetro de hormigones, modelo 58-C0181/N; En la figura 12, se muestra la correlación entre el Número de Rebote del esclerómetro y la resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto hidráulico, determinada en el laboratorio.

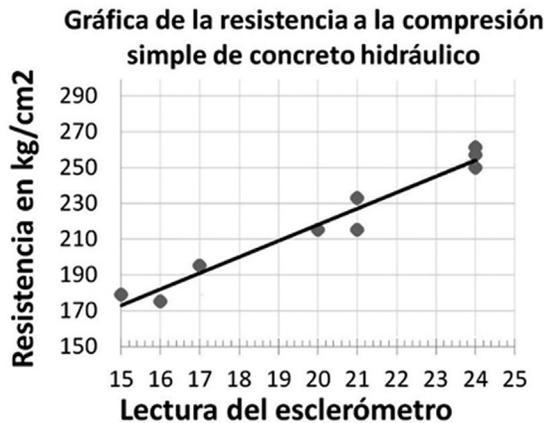


Figura 12. Correlación para determinar la resistencia del concreto hidráulico.

Medición de la deformación permanente de las traveses

La deformación permanente de las traveses (flecha o contra flecha), se midió físicamente, en el lecho inferior de cada una de las traveses, al centro del claro.

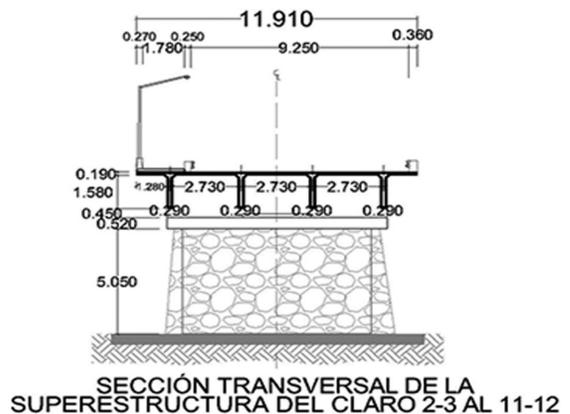
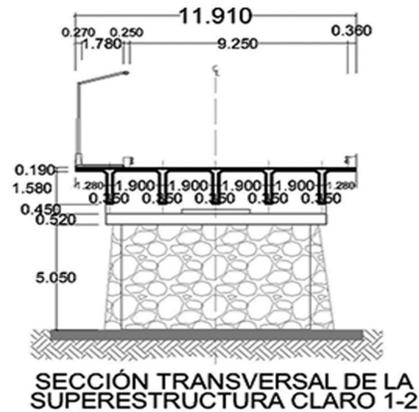


Figura 11. Secciones Transversales del Puente Nazas Izquierdo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Medición de la resistencia del concreto hidráulico

- *Puente 5 de Febrero Izquierdo.*
Se obtuvo una resistencia a la compresión simple de 535 kg/cm² en promedio.
- *Puente Nazas, cuerpo derecho.*
La superestructura está formada por una armadura metálica, por lo que no se midió la resistencia del concreto hidráulico.
- *Puente Nazas, cuerpo izquierdo.*
Se obtuvo una resistencia a la compresión simple de 550 kg/cm² en promedio.

Medición de las deformaciones permanentes en las traves

En las Figuras 13, 14 y 15, se muestra la deformación vertical de las traves.

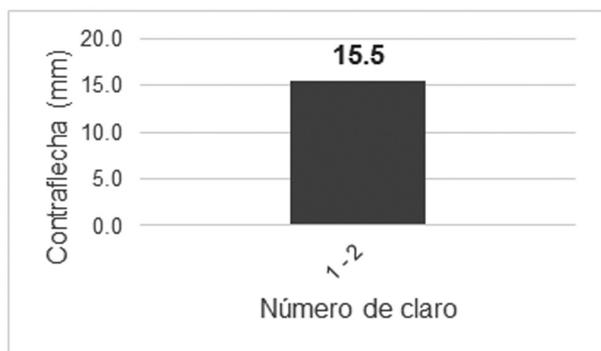


Figura 13. Deformaciones verticales de las traves del puente 5 de Febrero.

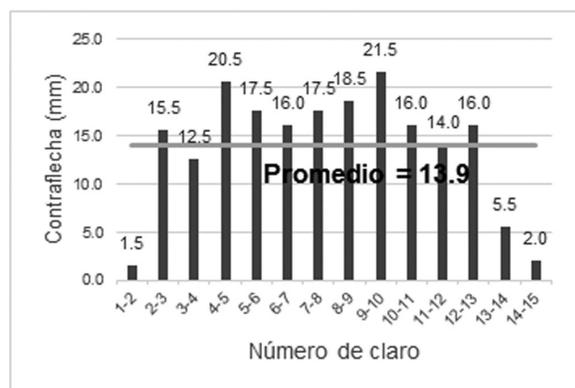


Figura 14. Deformaciones verticales de las traves del puente Nazas derecho.

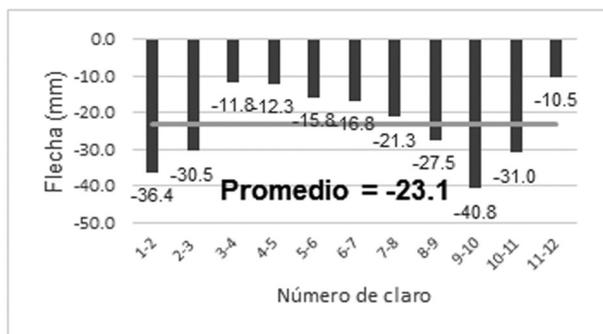


Figura 15. Deformaciones verticales de las traves del puente Nazas izquierdo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El reporte generado por el SIPUMEX, evalúa 14 aspectos, los cuales son: superficie de puente, juntas de expansión, banqueteta/camellón, parapeto/pasamanos, conos/taludes, aleros, estribos, pilas, apoyos, losa, largueros/traves, cauce, otros elementos y puente en general. Se considera que en la inspección rutinaria se obtiene una calificación objetiva, la cual sirve como justificación cuando se requiere una inspección especial.

El reporte generado por el SIAP, evalúa 8 aspectos, los cuales son: datos generales, condición general del puente, superficie de rodamiento, superestructura de concreto, subestructura de concreto y mampostería, puentes de acero, puentes de concreto pre esforzado y calificación general del puente. Le falta incluir la evaluación de: banqueteta/camellón, parapeto/pasamanos, conos/taludes, y cauce. También se considera que en la inspección rutinaria se obtiene una calificación objetiva, la cual sirve como justificación cuando se requiere una inspección especial.

En el puente 5 de Febrero Izquierdo, la calificación del SIAP es de 4, para el sistema portante, lo cual indica daño significativo (condición regular) debido a la oxidación en los cables de pre esfuerzo. se recomienda su medición y atención en el corto plazo.

Como la calificación del puente Nazas Izquierdo, es de 2 en el SIPUMEX y de 3 en el SIAP, se clasifica la estructura con problemas menores, plazo de atención indefinido (condición aceptable).

Como la calificación del puente Nazas Derecho, es de 4 en el SIPUMEX y de 5 en el SIAP, clasificándose como daño grave (condición mala o defectuosa) debido a la oxidación en la estructura de acero, se recomienda calcular su vida remanente mediante un cálculo estructural, para determinar si es conveniente que siga funcionando tal como está, o se requiere su reconstrucción.

Se concluye que el reporte generado por el SIPUMEX es el más recomendable, porque además de proporcionar una calificación del puente en general, proporciona la calificación individual para cada uno de los 14 componentes.

FUENTES DE CONSULTA

1. Barousse Moreno M., y Galindo Solórzano A. (1994), "Sistema de administración de puentes (SIAP)", IMT Publicación Técnica No. 49, Querétaro, Qro., Editado por el IMT.
2. Carrión Viramontes F. J., Hernández Rivera J., y Acosta Esqueda A. (1999), "Estudios de corrosión en puentes de concreto pre esforzado", IMT Publicación Técnica No. 122, México, Editado por el IMT.
3. Controls (Rev. 0), "58-C0180/N, Esclerómetro de hormigones, Manual de Instrucciones", Equipos de Ensaye Controls, S. A. de C. V., México.
4. Crespo Sánchez S. E., Carrión Viramontes F. J., Quintana Rodríguez J. A., Hernández Guzmán A., y López López J. A. (2013), "Análisis del deterioro estructural por fatiga y pronóstico de un puente típico de concreto utilizando simulación Montecarlo", IMT Publicación Técnica No. 379, México, Editado por el IMT.
5. Gómez Soberón C., Barrera Bautista L. A., y Miranda Cid D. (2006), "Metodología de estimación preliminar de la vulnerabilidad de puentes basada en procedimientos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Aplicación a puentes carreteros del Pacífico", Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Puerto Vallarta, Jal. México.
6. Instituto Mexicano del Transporte, "Taller sobre tecnologías para conservación de carreteras y puentes", IMT 14 de septiembre de 2017, Querétaro, México.
7. Olguín Coca F. J., Loya Tello M. U., Gaona-Tiburcio C., Romero J. A., Martínez-Villafañe A., Maldonado B E., y Almeraya-Calderón F. (2011), "Corrosion fatigue of Road bridges: a review", Revista International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE, 2011, Num. 6, august.
8. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C. (2006), Norma Mexicana NMX-C-192-ONNCCE-2006, "Industria de la construcción – Concreto – Determinación del número de rebote utilizando el dispositivo conocido como esclerómetro", DOF 22 de junio de 2006, México.
9. Rascón Chávez O. A. (1999), "Modelo de cargas vivas vehiculares para diseño estructural de puentes en México", IMT Publicación Técnica No. 118, México, Editado por el IMT.
10. Rascón Chávez O. A., Barousse Moreno M., y Ventura Suárez G. (1997), "Análisis normativo y estadístico de cargas vivas en puentes en México", IMT Publicación Técnica No. 97, México, Editado por el IMT.
11. Rojas Reyes R., Nieves Mendoza D., y Maldonado Banda E. E. (2010), "Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros a edades tempranas mediante el empleo del esclerómetro", Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Civil, Tesis, México.
12. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1980), "Puentes para Carreteras 1980. Proyectos Tipo de Elementos de Concreto Reforzado. Parte I.", Cuarta colección. Diciembre de 1980, México, Editado por SAHOP.
13. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2014), "Datos viales", México, Editado por SCT.
14. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2015), Dirección General de Conservación de Carreteras, Página Web <http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-conservacion-de-carreteras/publicaciones>, fecha de consulta [31-01-2014], México.
15. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2014), "NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal", DOF viernes 14 de noviembre de 2014, México.
16. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2004), "Normativa para la Infraestructura del Transporte", México, Editado por SCT.
17. Technical Committee (2016), "Estimación de la capacidad resistente de los puentes basada en los daños y deficiencias", Editado por World Road Association PIARC, Página Web <http://www.piarc.org/Inicio/Bibliotecavirtual/Catalogodepublicaciones>, fecha de consulta [09-12-2016], La Défense cedex, France.
18. Torres Acosta A., del Valle Moreno A., Martínez Madrid M., Pérez Quiroz J. T., y Backoff Polhs M. (2010), "Plan Nacional de evaluación de puentes federales, libres de peaje dañados por corrosión (2000-2005). Una cuantificación de resultados, proyectos y colaboraciones", IMT Publicación Técnica No. 327, México, Editado por el IMT.