

La salud de los puentes de hormigón. Experiencia de evaluación y conservación

María Peralta^{1,a}, Leonel Pico^{2,b}, Raúl Bacchiarello^{3,c}, María Laura Godoy^{4,d}, María Inés Montanaro^{5,e}, Irene Elisabet Rivas^{6,f}

^{1,2,3,4,5,6} Facultad de Ingeniería, Unicen, Av, Del Valle 5737, Olavarría, Argentina

^amperalta@fio.unicen.edu.ar, ^blpico@fio.unicen.edu.ar, ^crabac9@hotmail.com,
^dmgodoy@fio.unicen.edu.ar, ^emmontana@fio.unicen.edu.ar, ^firivas@fio.unicen.edu.ar

Palabras clave: puentes, mantenimiento, inspección, evaluación

RESUMEN

La planta urbana de la ciudad de Olavarría es atravesada por el arroyo Tapalqué, por lo que existen numerosos puentes que permiten la comunicación entre la población de ambos márgenes. Los puentes fueron construidos en diferentes épocas, pudiendo distinguirse los puentes colgantes o peatonales y los puentes vehiculares de hormigón. Particularmente, los puentes de hormigón presentan diferentes tipologías estructurales acordes a su época de construcción.

Ante el interés de la Municipalidad de Olavarría por evaluar el estado de conservación de los puentes a efectos de asegurar su prestación y conservar el patrimonio urbano, se materializaron convenios con la Facultad de Ingeniería de la UNCPBA para la realización de las actividades pertinentes. A partir de la firma de los mismos, en los años 2007, 2010 y 2016, se realizaron las tareas de evaluación correspondientes.

En este trabajo se presenta la actividad realizada con los puentes de hormigón. Se propuso y utilizó una metodología que involucra dos etapas, según el caso: 1) Etapa preliminar, que incluye la inspección, diagnóstico y recomendaciones. 2) Estudios complementarios: cuando derivado de la primera etapa surge la necesidad de recomendar acciones adicionales para completar el diagnóstico. Algunas de las acciones requirieron evaluaciones de vibraciones por lo cual se realizaron estudios numéricos y experimentales considerando acciones dinámicas. Cabe destacar que esta temática se corresponde con una de las líneas de investigación del proyecto "Teorías y Modelos para el Análisis Estructural" que los autores integran logrando una transferencia de las capacidades disponibles y difusión de conocimientos con el medio, de alto impacto.

La experiencia realizada con los puentes de hormigón existentes permitió efectuar recomendaciones diferentes para cada caso estudiado, volcándose las más relevantes en el presente documento.

INTRODUCCIÓN

Las estructuras de las obras civiles deben diseñarse para que resulten seguras y durables durante su vida en servicio, definida en general en 50 años. Para ello, se requieren tareas de mantenimiento y de monitoreo, considerando que pueden presentarse deterioros debido al desgaste de los materiales que las componen, deficiencias en procesos constructivos, y/o modificaciones en las condiciones de uso.

El escenario extremo, que incluye colapsos estructurales, con las consecuencias que éstos pueden tener en bienes y personas, ha llevado a una toma de conciencia de atender esta problemática y acrecentar las acciones en ese sentido por parte de la comunidad profesional y de organismos relacionados con la infraestructura de los espacios públicos de las ciudades.

El monitoreo de la salud estructural tiene a su vez el propósito preventivo de determinar si existe riesgo, para tomar las medidas correctivas oportunas. De ahí que la información que se registre debe servir también para establecer parámetros de conformidad y tendencias que faciliten un sistema de alerta. La idea es que *“La prevención en la etapa de utilización debe orientarse a establecer un programa mínimo de conservación, disponer los recursos suficientes, realizar inspecciones y trabajos de mantenimiento periódicos que permitan sostener en el tiempo asignado de vida útil una prestación acorde a la establecida”* (Husni, 2007).

La información relevada periódicamente mediante la inspección o monitoreo debe permitir detectar cambios diversos debidos al deterioro, corrosión, fatiga, reacciones químicas, humedad, cambios en las variables del ambiente; así como variaciones en las propiedades físico-mecánicas de la estructura/materiales derivadas de la acción de las cargas, desplazamientos, deformaciones, aceleraciones, agrietamientos, vibraciones, dislocaciones y otros que sean necesarios para la evaluación operacional de la estructura. Problemas que no sólo se relacionan con la seguridad estructural (Estados Límite últimos) sino también con el confort humano y su funcionalidad (Estados Límite de Servicio). Particularmente, en el diseño de las estructuras correspondientes a los puentes son importantes los efectos de interacción dinámica entre los vehículos y la estructura con notable influencia de las características del pavimento. Además, debido al movimiento de los vehículos sobre las mismas ocurren vibraciones, siendo más notables en las de mayor flexibilidad (Clough y Penzien 1993). Las irregularidades debidas a baches y desniveles pronunciados en tableros conducen a impactos que amplifican las vibraciones. No obstante lo indicado, que justifica el diseño a partir de un análisis dinámico, históricamente era habitual para la determinación de los esfuerzos en los puentes introducir las fuerzas de diseño como fuerzas estáticas equivalentes, esto es, tener en cuenta los efectos dinámicos mayorando las acciones estáticas, (Amman, 1991). En la actualidad se está revirtiendo esta situación dada la accesibilidad a herramientas computacionales que posibilitan el análisis dinámico.

En el presente desarrollo se expone la experiencia realizada por los autores, docentes e investigadores del Área de Estructuras y Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, en el marco de Convenios con la Secretaría de Obras Públicas de la Municipalidad de Olavarría. El objeto de los mismos fue la Evaluación, Diagnóstico y Propuesta de Mantenimiento y/o Reparaciones de los puentes existentes sobre el Arroyo Tapalqué. A tal fin, se efectuaron inspecciones “in situ”, análisis numéricos y experimentales, y se entregaron Informes Técnicos con los resultados obtenidos para cada puente presentándose los aspectos más relevantes en el presente trabajo. Esta transferencia se da en el marco de una de las líneas de investigación del Grupo “Teorías y Modelos para Análisis Estructural”, de la cual son integrantes los autores.

El Contexto

En Figura 1 se muestra una imagen aérea de parte de la ciudad de Olavarría, donde se observa el arroyo Tapalqué que atraviesa la ciudad y sobre el cual se hayan emplazados nueve puentes de hormigón y siete puentes peatonales colgantes que permiten una fluida comunicación entre los dos sectores de la ciudad en que queda dividida por el arroyo mencionado. Cabe destacar la importancia de los puentes emplazados favoreciendo la comunicación entre los pobladores que literalmente quedan separados por el arroyo. La ciudad de Olavarría ha sufrido crecidas importantes del arroyo llegando a desborde en los años 30, 80 y 85. Estos eventos sometieron a las estructuras de los puentes a acciones extremas que llevó, fundamentalmente en el caso de los puentes peatonales colgantes, a importantes tareas de rehabilitación. Por su parte, los puentes de hormigón existentes no sufrieron daños de importancia para su integridad estructural.



Figura 1: Imagen del Arroyo Tapalqué cruzando la ciudad de Olavarría

Los puentes de hormigón sobre el arroyo Tapalqué tienen diferentes edades, la mayoría fueron construidos en la década del 60 y los últimos de la década del 80 y 90. Por lo expuesto presentan diferentes tipologías estructurales y calidades de los materiales que los constituyen.

El Municipio de Olavarría atendiendo a una prestación en servicio adecuada decidió llevar adelante, con la colaboración de la Facultad de Ingeniería de la UNCPBA, las actividades que se formalizaron en convenios con el objeto de Evaluación, Diagnóstico y Propuesta de Mantenimiento y/o Reparaciones de los puentes existentes sobre el Arroyo Tapalqué.

Metodología de trabajo

En este ítem se detalla la metodología utilizada para cumplimentar los objetivos del convenio. Se consideran las etapas de inspección, evaluación y diagnóstico que dan lugar al

INFORME PRELIMINAR, para determinar la salud estructural. Se tomaron como referencias las establecidas en bibliografía y códigos internacionales relacionados con la temática (Calavera 2005, Amman 1991), y esquematizadas en Figura 2

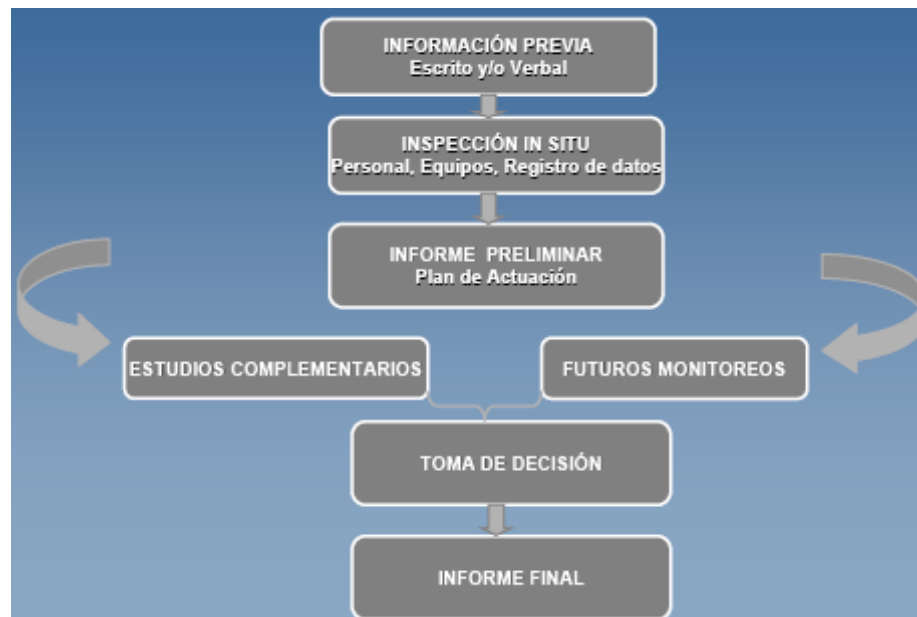


Figura 2. Esquema de la metodología de trabajo

A continuación se describen brevemente las tareas que se desarrollan en cada etapa:

Información Previa: En esta etapa se recopila toda la información disponible relacionada con antecedentes la que puede estar documentada o a transmitida en entrevistas con personas que hayan tenido vinculación con la estructura a evaluar.

Inspección in situ: Esta etapa nunca debe obviarse y permite mediante una inspección ocular recabar información fotográfica, afectar relevamientos de geometrías, registrar daños observados.

Informe Preliminar: Cumplidas las dos etapas anteriores se está en condiciones de elaborar un informe que indique el estado de la estructura. De este informe debe desprenderse y justificarse el Plan de Actuación próximo. Este plan puede indicar que el estado de la estructura es satisfactorio por lo cual se recomiendan evaluaciones futuras o si el estado no es satisfactorio debe indicarse la necesidad de realizar **Estudios Complementarios** para arribar a un diagnóstico y recomendaciones adecuadas a la situación.

Toma de decisión: Con los datos aportados por las instancias previas se elaborará el **Informe Final** en el que se incluirán recomendaciones que permitan tomar decisiones.

Tareas Desarrolladas en Puentes Vehiculares de Hormigón

En el caso de los puentes de hormigón sobre el arroyo Tapalqué tienen diferentes edades, la mayoría de la década del 60 y los últimos de la década del 80 y 90. Cuentan con diferentes tipologías estructurales y calidades de los materiales que los constituyen.

Se inspeccionaron y evaluaron, en cada una de las instancias, los 9 puentes de hormigón dispuestos sobre el arroyo Tapalqué. Para cada uno de ellos se realizaron las etapas planteadas e indicadas precedentemente.

- **Información Previa: Antecedentes**

Se dispuso de información técnica aportada por el municipio de la que pudieron obtenerse detalles de la tipología, geometría y constructivos. En las siguientes figuras se presentan tipologías características relevadas. Se observa documentación obtenida en la etapa de recopilación de antecedentes e imágenes fotográficas tomadas durante la etapa de inspección in situ.

En Figura 3 se presenta un puente de 3 tramos cuya estructura resistente presenta una tipología que se compone de una superestructura, constituida por un tablero superior tipo losa con voladizos, que descarga sobre un entramado de vigas longitudinales postesadas de sección doble T y vigas transversales de sección rectangular constante, hormigonadas in situ. Las descargas intermedias se realizan sobre vigas que descargan en columnas y de éstas a la fundación en la parte central del puente y sobre estribos en los extremos del mismo.

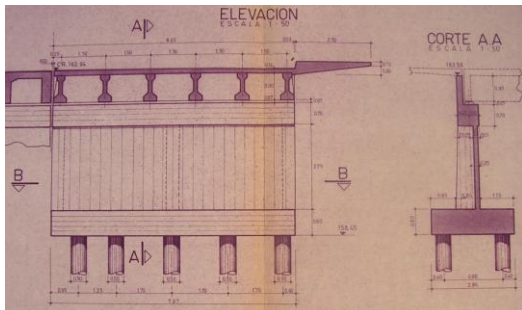


Figura 3: Tipología de puente "viga"

En Figura 4 se muestra la estructura resistente de un puente con una tipología que se compone de una superestructura, constituida por un tablero superior tipo losa aligerada-viga con voladizos, que descargan sobre vigas transversales de sección rectangular constante, hormigonadas in situ. La losa-viga longitudinal conforma un sistema continuo de tres tramos. Las descargas intermedias se realizan sobre vigas rectangulares que descargan en columnas circulares y de éstas a la fundación en la parte central del puente y sobre estribos en los extremos del mismo (en todos los casos cimentados sobre pilotes).

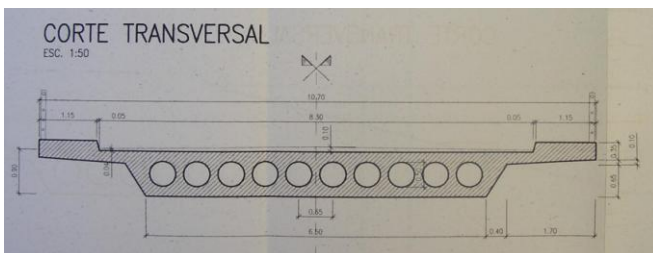


Figura 4: Tipología de puente "losa alivianada"

La estructura ilustrada en la Figura 5 se compone de un arco, plegado en el ancho de la calzada, con nervios trapezoidales unidos al tablero tipo placa con voladizos, mediante columnas inclinadas de sección variable en forma de V invertida y altura también variable.

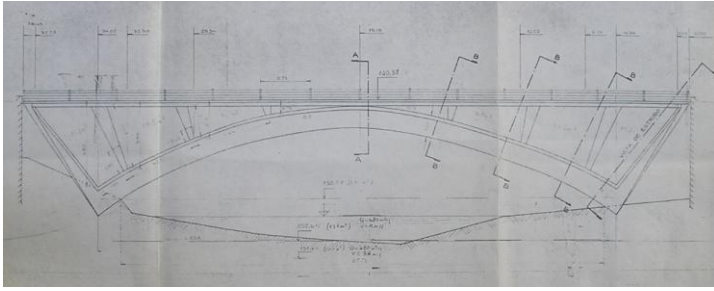


Figura 5: Tipología de puente "arco con puntales"

- **Inspección in situ**

Esta etapa favorece la toma de conocimiento sobre el estado del puente en el momento de realizar la inspección in situ. Permite recabar, completar o complementar la información previa sobre:

La Tipología estructural de los puentes

Se recabaron datos geométricos con la finalidad de complementar la información disponible: dimensiones generales, luces (en el sentido longitudinal y transversal), vanos, geometría de secciones para contar con el relevamiento completo de la estructura.

Sobre las patologías relevadas de la inspección ocular

En simultáneo durante la inspección visual, se registraron los defectos observados, obteniéndose material fotográfico que constituye un valioso input para los análisis posteriores. En general los procesos patológicos están relacionados con escasas tareas de mantenimiento. Se observaron manchas de humedad producto de diseños deficientes de los desagües de los tableros, existencia de vegetación, armaduras a la vista con algún grado de incipiente corrosión, fisuras en pavimentos y losas en voladizos.

A modo de ejemplo, en las Figuras 6 a 13 se ilustran varios defectos relevados durante la inspección ocular en uno de los puentes inspeccionados. Estos datos se volcaron en el Informe Preliminar.



Figura 6. Manchas de humedad por desagües sin goterón.



Figura 7. Restos de hormigón y suelo adosados a camisas de columnas que presentan incipiente corrosión



Figura 8. Manchas de humedad en losas de veredas por desagües sin goterón.



Figura 9. Falta de elementos en barandas peatonales de ambos lados.



Figura 10. Crecimiento de vegetación entre muro de contención y protección



Figura 11. Presencia de material orgánico en cabezas de pilotes.



Figura 12. Fisuras en estribo



Figura 13. Fisuras sobre tablero. Falta de mantenimiento junta

• Informe Preliminar

Por un lado, en los casos en que no se observó posibilidad de comportamiento estructural inadecuado se realizó el Informe Preliminar recomendando tareas de mantenimiento y proponiendo plazo para próximos monitoreos y evaluaciones.

Por otro, en los casos en los que durante las tareas de inspección in situ se detectó comportamiento estructural no adecuado, específicamente en base a la percepción de vibraciones al paso del tránsito, particularmente en dos de los puentes inspeccionados, se refirió la situación en el INFORME PRELIMINAR y se recomendó efectuar ESTUDIOS

COMPLEMENTARIOS con la finalidad de cuantificar las vibraciones y establecer el posible grado de afectación de la capacidad portante de la estructura.

- **Estudios Complementarios**

Para ilustrar esta fase metodológica se presenta uno de los casos analizados. Los estudios fueron realizados en colaboración con personal de la UNS y permitieron indicar si los niveles de vibraciones medidos eran aceptables o no para la salud estructural. La recomendación y uso de estas técnicas dinámicas no destructivas constituyen una metodología cada vez más empleada en evaluación de estructuras. Asimismo, se realizaron estudios numéricos para complementar los estudios dinámicos experimentales, (Peralta y Ercoli, 2005). Los resultados obtenidos fueron comparados con criterios de evaluación establecidos en códigos internacionales para establecer el grado de afectación de la estructura.

1. Análisis Efectuados

1.1. Aspectos Teóricos y Pautas de Evaluación

Tal lo indicado se efectuaron análisis numéricos y experimentales para evaluar las características dinámicas de los puentes mencionados.

Es sabido que las características dinámicas pueden tomarse como indicadores del comportamiento estructural dados los parámetros involucrados en las mismas: masa, rigidez y amortiguamiento (Clough y Penzien 1993).

De acuerdo a lo indicado, las frecuencias propias pueden tomarse como índices para evaluar la flexibilidad de un sistema estructural. Estudios efectuados en puentes de hormigón (Amman 1991), demuestran que, para frecuencias fundamentales entre 1,5 y 4,5 Hz aproximadamente, se produce un fuerte incremento del factor de amplificación dinámica, tal como se indica en la Figura 14.

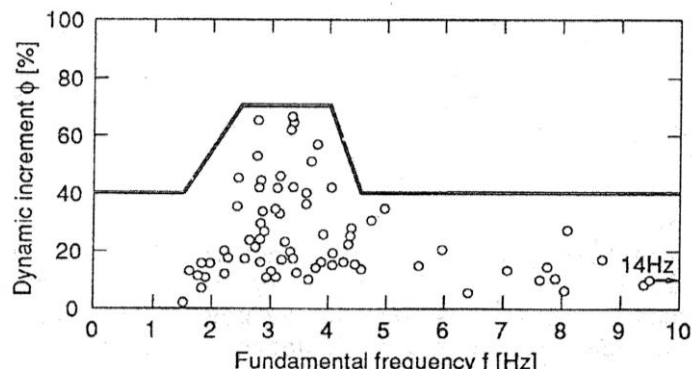


Figura 14: Factor de amplificación dinámica en función de la frecuencia fundamental (Amman 1991)

Para establecer un criterio de evaluación por posibles daños estructurales existe una serie de normas y criterios que expresan los valores admisibles y los límites vibratorios máximos que podrían dañar a una estructura. A los efectos del presente análisis, se adoptan los criterios establecidos en normas internacionales.

En la Figura 15 (Richart et al. 1970) puede observarse los valores expresados en unidades de aceleración, m/s^2 , como así también los niveles de velocidad vibratoria en mm/s (rms), relacionados con la frecuencia vibratoria y el daño que dichos niveles pueden ocasionar sobre las estructuras. En la ordenada puede observarse que para el caso de

velocidad vibratoria el nivel debería ser inferior a 10 mm/s (rms) para tener un comportamiento estructural admisible.

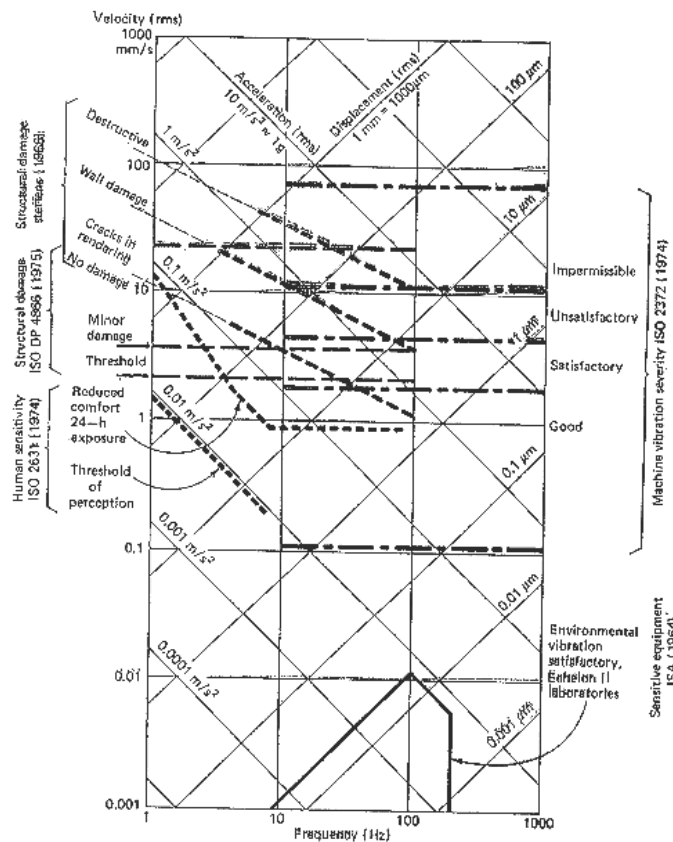
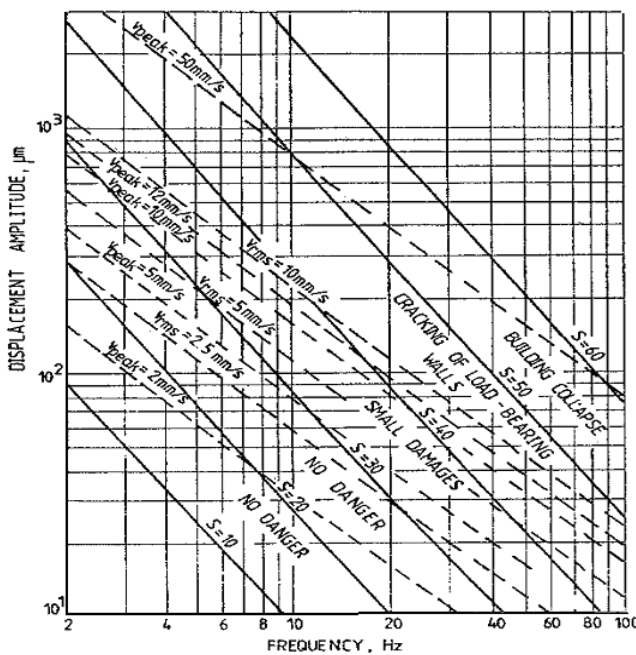


Figura 15: Criterios de vibración (Richart et al. 1970)

La Figura 16 (Rades 1994) muestra otro criterio con valores que concuerdan con lo establecido en Figura 15 y considerando de la misma manera un valor aceptable cuando no se supera 10 mm/s (rms), de velocidad vibratoria.



Range	rms velocity, mm/s	Effect
I	below 2.5	damages not possible
II	2.5-5.0	damages very improbable
III	5.0-10.0	damages not probable
IV	over 10	damages possible stress check necessary

The safe limit appears to be somewhere below 10 mm/s rms velocity. Constant rms velocity lines of 2.5, 5 and 10 mm/s are plotted with broken lines.

Figura 16: Criterios de vibración (Rades 1994)

1.2. Análisis Numéricos

Este análisis se efectuó previo a la etapa de mediciones experimentales a efectos de predecir el rango de frecuencias de la estructura. La implementación computacional de los modelos numéricos se efectuó en un software de Elementos Finitos (Algor Software V20.3 2007; Huebner et al. 1995), utilizando elemento BRICK disponible en la librería de elementos de dicho software y realizando análisis modal. El material empleado corresponde a un hormigón con densidad 2400 kg/m^3 , módulo elástico de $2,07 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ y módulo de Poisson de 0,15. Cabe destacar que en esta etapa de análisis, se tomó el valor correspondiente a la primera frecuencia flexional, de acuerdo al objetivo del estudio indicado en el ítem 1.1, por lo que de acuerdo a estándares internacionales, su variación puede ser utilizada para establecer el nivel de degradación y determinar si dicha degradación es o no peligrosa para la integridad del elemento (Amman 1991; Richard et al. 1970).

En la Figura 17 se observa el primer modo de vibración flexional obtenido por la vía numérica. Los valores de frecuencias fundamentales se detallan en la Tabla 1.

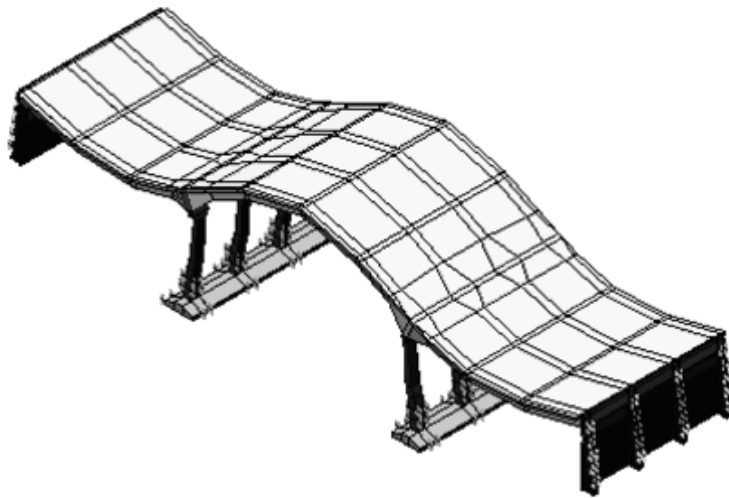


Figura 17: Puente Sarmiento. Modo de vibración flexional

Posteriormente, y a efectos de la comparación de los resultados, se realizó el análisis experimental que se detalla en los ítems siguientes.

1.3. Análisis Experimental

Se efectuaron mediciones de frecuencias de vibración mediante acelerómetros y un transductor del tipo sísmico, obteniéndose las amplitudes y las frecuencias predominantes mediante FFT (Transformada Rápida de Fourier) en la dirección Z (vertical).

Como resultado de las mediciones realizadas, cuando el puente es excitado por el tránsito vehicular la frecuencia predominante es de 3,2 Hz en el centro del vano central, cuyo registro se observa en la Figura 18.

DATA DESCRIPTION=[ISO3] 4
 DATE/TIME: 16AGO 07

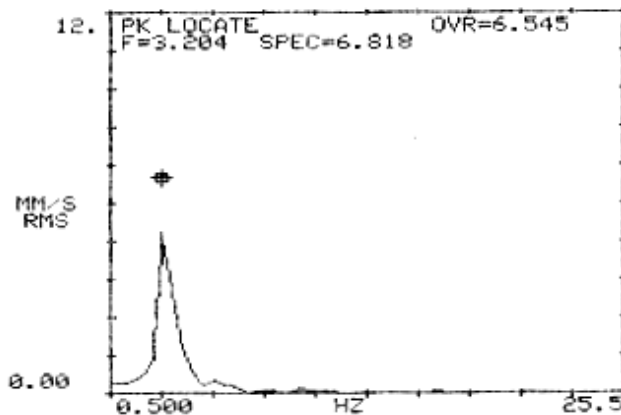


Figura 18: Frecuencia predominante del Puente Sarmiento

En la Tabla 1 se muestra la comparación de los resultados obtenidos mediante las dos metodologías empleadas.

Tabla 1: Comparación de valores experimentales y numéricos

	Valores obtenidos (Hz)	
	Experimental	Numérico
Puente Evaluado	3,20	3,53

1.4. Respuesta estructural del puente en estudio

Considerando el comportamiento en condiciones de servicio y los valores de frecuencias y amortiguamiento medidos en este puente, se planteó la necesidad de cuantificar las amplitudes vibratorias existentes en distintas partes de la estructura bajo diferentes condiciones de circulación vehicular para su posterior análisis y comparación con las normas y criterios utilizados a nivel internacional.

A tal fin, se realizaron mediciones en seis puntos estratégicos: tres sobre el tablero del puente, en correspondencia con cada uno de los centros de los vanos (puntos 1, 2 y 3) y tres sobre los estribos, como se muestra en las Figuras 19 y 20. Las mediciones sobre los estribos se debieron a la existencia de una fisura que presentaba el estribo del sector N-O. Las mismas se realizaron por encima (punto 4) y por debajo de la fisura (punto 5), bajo condiciones normales de circulación. Para complementar el análisis se ubicó otro punto de medición en el estribo ubicado sobre el sector S-E, punto 6.

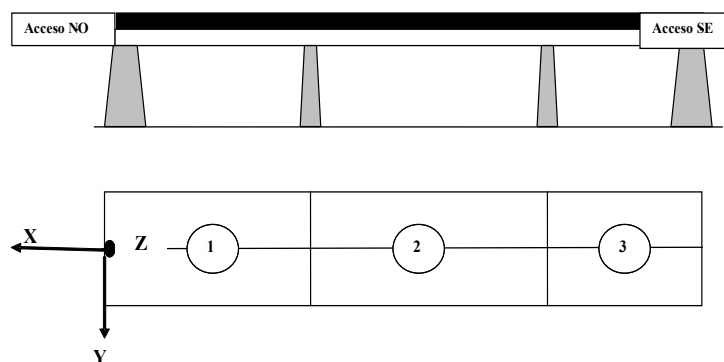


Figura 19: Puntos de medición 1, 2 y 3.

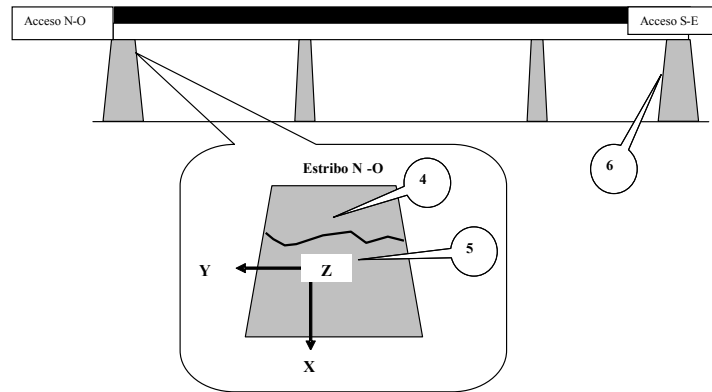


Figura 20: Puntos de medición 4, 5 y 6 sobre los estribos

En cada uno de dichos puntos se obtuvieron las aceleraciones vibratorias en las tres direcciones X, Y, Z.

Para poder evaluar el comportamiento con el tránsito, por un lado, se permitió la normal circulación de vehículos en las dos direcciones (N-O y S-E) y por otro lado, el tránsito de un camión cargado con 10 t de arena, haciéndolo circular bajo dos condiciones:

- Velocidad de 30 km/h
- Partiendo de marcha detenida

Desde cada uno de los puntos de medición (1, 2 y 3) se recolectó la información proveniente del movimiento del puente en las tres direcciones, debida al tránsito normal y a la circulación del camión. Por otra parte, se registró el instante de ingreso del camión y la eventual circulación de cualquier otro vehículo de gran porte (camiones, colectivos, etc.) con el objeto de identificar la correspondencia con los registros. El tiempo de registro continuo en cada punto fue de aproximadamente 48 s, lapso suficiente como para permitir la circulación del camión de prueba en ambas direcciones.

Las Figuras 21 a 25 ilustran la información experimental recogida.

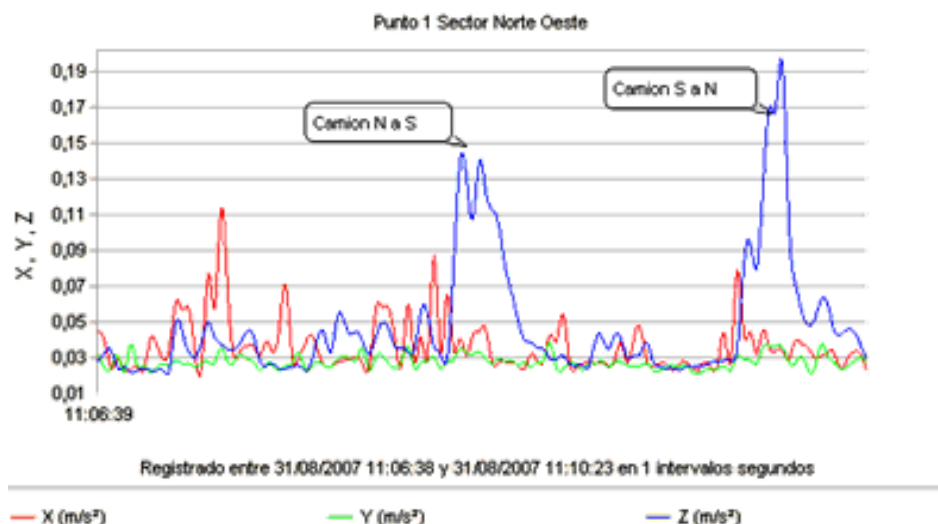


Figura 21: Aceleración vibratoria en el Punto 1

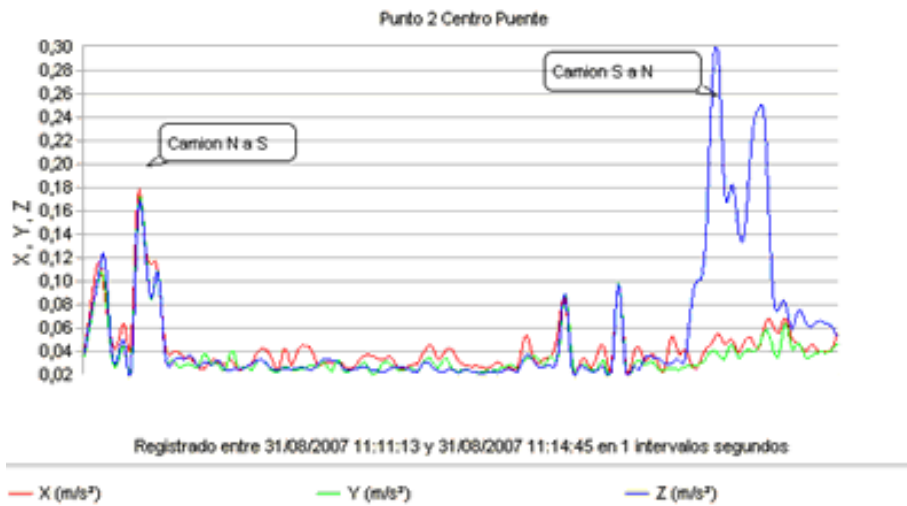


Figura 22: Aceleración vibratoria en el Punto 2

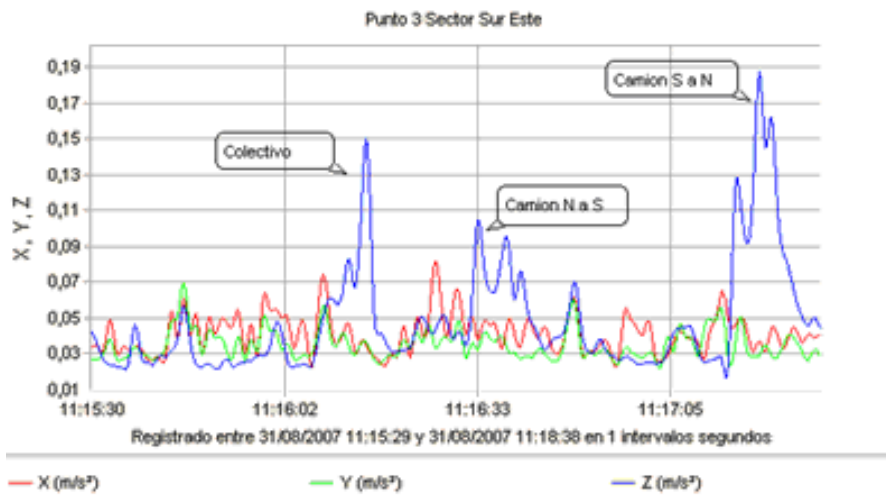


Figura 23: Aceleración vibratoria en el Punto 3

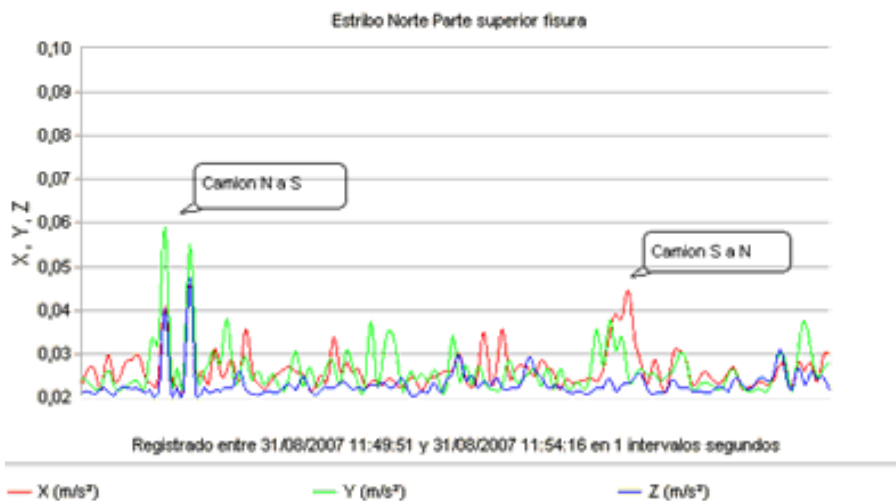


Figura 24: Aceleración vibratoria en el Estribo N-O, parte superior fisura, Punto 4

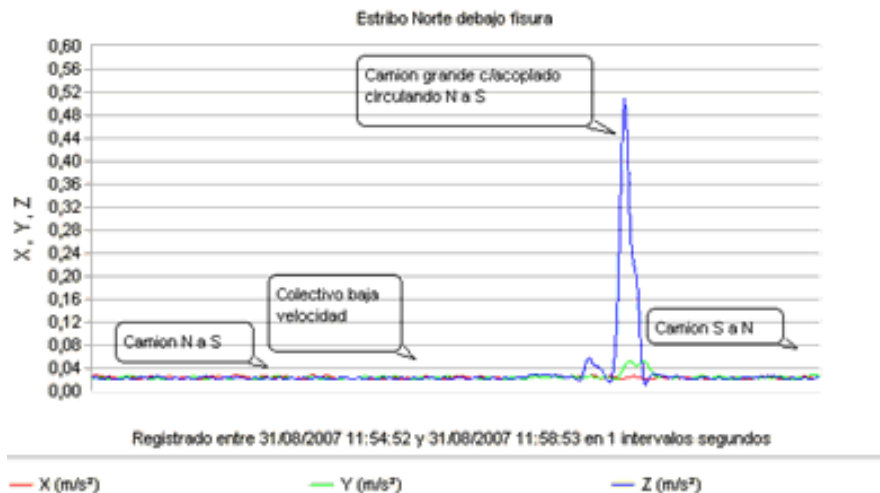


Figura 25: Aceleración vibratoria en el Estribo N-O, parte inferior fisura, Punto 5

1.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

1.5.1. Frecuencias propias y amortiguamiento

De acuerdo a lo indicado, las frecuencias propias pueden tomarse como índices para la evaluación del comportamiento dinámico. La respuesta estructural obtenida en términos de amplitud de aceleraciones y de velocidades permite la evaluación del comportamiento mediante la comparación de la respuesta medida con la indicada por las normas y los criterios tomados como referencia (Richart et al. 1970; Amman 1991).

El puente analizado en el presente trabajo tiene una frecuencia predominante de 3,2 Hz que se encuentra en el intervalo de mayor respuesta dado el incremento del factor de amplificación dinámica, Figura 14, lo cual justifica la elevada flexibilidad del sistema.

1.5.2. Respuesta estructural del puente

De acuerdo a los criterios mencionados el nivel de aceleraciones para no generar daño deberá ser inferior a $0,1 \text{ m/s}^2$. Asimismo, el nivel de velocidades vibratorias no debería superar el valor de 10 mm/s (rms).

Los resultados experimentales permiten observar una notable diferencia en los valores de las aceleraciones verticales, en los diferentes puntos medidos según el camión cargado testigo ingrese de S-E a N-O o de N-O a S-E. Los valores de todas las mediciones efectuadas superan los límites indicados para ambos sentidos de circulación. La diferencia indicada estaría justificada por un desnivel existente en el acceso S-E entre las losas de aproximación y la losa que constituye el tablero del puente, lo que provoca un impacto del vehículo sobre el tablero en el momento del acceso al puente, originando los picos marcados en Figuras 21 a 25.

- **Informe Final**

Los resultados de las mediciones indicados previamente, muestran que las amplitudes vibratorias obtenidas sobre el tablero se encuentran fuera de rangos admisibles para el tránsito pesado. Esto motivó plantear recomendaciones para llevar al puente a un comportamiento con niveles de respuesta adecuados de acuerdo al tipo de estructura involucrada: Por un lado, eliminar el desnivel entre las losas y, por otro, limitar el tránsito a vehículos livianos (Peralta et al. 2009).

CONSIDERACIONES FINALES

El monitoreo y evaluación periódica de estructuras, en particular las correspondientes a puentes, está siendo considerada como una necesidad en Argentina, dada la importante cantidad de estructuras que están llegando al final de su vida útil de diseño, y permanecen aún en estado de servicio.

La utilización de protocolos que ya están siendo empleados a nivel internacional, ha permitido establecer diagnósticos y efectuar recomendaciones, entre ellas la necesidad de monitoreos continuos en ciertos casos, a partir de las cuales los organismos tomen decisiones.

El empleo de técnicas complementarias, como el caso particular de medición de vibraciones "in situ", constituye una técnica no destructiva de sencilla aplicación, que permite evaluar globalmente la respuesta estructural, lo cual la hace recomendable y que, utilizada complementariamente con otras, demuestra ser adecuada para la toma de decisiones e intervenciones en este tipo de estructuras.

Los estudios realizados se efectuaron en el marco del Proyecto de Investigación "Teorías y Modelos para el Análisis estructural" en desarrollo en el Área de Estructuras constituyéndose en una importante actividad de transferencia desde la institución académica al municipio sobre temáticas en las cuales se viene investigando.

Es importante la difusión de este tipo de actividades en el marco de convenios entre dos instituciones públicas, que permite poner en práctica posteriormente tareas de mantenimiento de las estructuras. Estas tareas redundan en beneficio de las prestaciones de los puentes, de la vida útil de los mismos y fundamentalmente de las personas usuarias de los mismos.

REFERENCIAS

1. Algor Software V.20.3 (2007). Finite Element Analysis Software.
2. Amman, W. (1991). CEB Bulletin D'Information N°209 - Vibration Problems In Structures. Practical Guidelines.
3. Calavera, J. (2005). Patología de Estructuras de hormigón armado y Pretensado – 2ª Edición. Tomo 1. INTEMAC. España.
4. Clough, R. W. and Penzien, J.(1993). Dynamics of Structures, Second Edition, McGraw-Hill, Inc.
5. Huebner, K. H., Thornton, Earl A. y Byrom, Ted G. (1995), The Finite Element Method for Engineers, Third Edition, John Wiley and Sons, Inc.
6. Husni, R. (2007). Fallas y prevención en las estructuras de hormigón. Revista Ingeniería Estructural. ISSN 16667 – 1511. Año 15, n. 39. (4) Calavera Ruiz – Patología de Estructuras de hormigón armado y Pretensado – 2ª Edición. Tomo 1. INTEMAC. España. 2005
7. Peralta, M. and Ercoli, N. (2005). Measuring the Dynamic Properties to Detect Structural Damage. IV International ACI/CANMET. Conference of Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing. Olinda, Pernambuco State. Brazil. Sesión VII Non Destructive Test. pp. 463-475- ISBN 85-98576-08-05.
8. Peralta, M.; Ercoli, N.; Pico, L.; La Malfa, S. (2009) Utilización de Técnicas Experimentales Dinámicas en la Evaluación de Estructuras. 8º EIPAC, Encuentro de Investigadores y Profesionales Argentinos de la Construcción, Mendoza, Argentina
9. Rades, M. (1994). Vibration Limits for Industrial Buildings. The Shock and Vibration Digest, v. 26, n. 3.
10. Richart F.E., Hall, J.R. y Woods, R.D. (1970). *Vibrations of soils and foundations*. Prentice Hall.