

MONITOREO DE ESTRUCTURAS DE OBRAS CIVILES PARA UN COMPORTAMIENTO SUSTENTABLE

Peralta, María Haydée¹; Ercoli, Norma Luján¹; La Malfa, Salvador²

¹Ing. Civil-Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires-Olavarría- Bs.As. Argentina. E-mail: mperalta@fio.unicen.edu.ar

².Profesional-CONICET-Instituto de Mecánica Aplicada-UNS-Bahía Blanca-Argentina

RESUMEN

Diversos casos de colapsos ocurridos, influyen en la toma de conciencia sobre la necesidad de realizar tareas de mantenimiento y monitoreo, evaluación y diagnóstico de las estructuras. En el caso de puentes, las condiciones del tránsito han variado sustancialmente. En otros casos la respuesta estructural se modifica como consecuencia de cambios en el uso.

Al efecto, la medición y análisis de vibraciones es utilizada, complementariamente con otras técnicas, para evaluación del estado global de la estructura. La presencia de fisuras en una estructura reduce la rigidez modificando el amortiguamiento en la misma lo cual se asocia con una disminución de la frecuencia natural. La técnica de detección de daño es muy utilizada en diferentes tipologías estructurales.

Se expone la experiencia desarrollada por los autores, en la evaluación y diagnóstico del comportamiento de estructuras existentes en servicio. Se abordarán intervenciones en un puente de hormigón armado, y en entresijos de diferente tipología estructural, materiales y usos, evaluados en la faz experimental mediante el uso de técnicas dinámicas no destructivas. Las experiencias permiten mostrar casos de comportamientos adecuados y otros de comportamientos deficientes.

ABSTRACT

Several cases of breakdown occurred recently, have influence over the awareness of the need for maintenance, monitoring, evaluation and diagnosis of structural integrity.

Particularly in bridges, traffic conditions have changed substantially. In other situations, the structural response is modified due to changes in its usage.

In effect, the analysis and measurement of vibrations is used among with other techniques for the evaluation of the overall state of the structure. The existence of cracks or located damage in a structure, reduces the stiffness by modifying its buffer which comes along with a reduction of the natural frequency. The damage detection technique is widely used in different structural types.

The present paper exposes the experience developed by the authors, over the behavior evaluation and diagnosis of existing structures in service. It will be also addressed the interventions in concrete bridge and different structural types of slabs, examination of different materials and its uses evaluated using dynamic non-destructive techniques. The experiences allow showing appropriate and also inefficient behavior situations.

1. INTRODUCCIÓN

La medición y el análisis de vibraciones son utilizados en conjunto con otras técnicas para la evaluación del comportamiento estructural, constituyendo esta metodología una herramienta de interés en el análisis de la integridad de estructuras^[1].

Las características dinámicas de los elementos estructurales pueden utilizarse como indicadores de la flexibilidad de los mismos permitiendo evaluar por un lado el comportamiento y, por otro lado, pueden usarse para evaluar el daño estructural debido a que el mismo, con el transcurso del tiempo, afecta a la rigidez original dando por resultado una mayor flexibilidad de la estructura y, consecuentemente, una mayor vulnerabilidad a las acciones dinámicas. La auscultación periódica conduce, de acuerdo con los resultados, a adoptar medidas correctivas que permitan que la estructura continúe con las prestaciones establecidas en el proyecto.

Los códigos modernos establecen pautas para efectuar las mencionadas tareas de control con la finalidad de garantizar la vida en servicio de las estructuras, según el destino de las mismas^[2]. “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”^[3].

Particularmente, en el diseño de las estructuras correspondientes a los puentes son importantes los efectos de interacción dinámica entre los vehículos y la estructura, incluyendo las características del pavimento. Además, las vibraciones estructurales ocurren debido al movimiento de los vehículos sobre las estructuras, siendo más notables en las de alto grado de flexibilidad, excitándose varios modos naturales de vibración^[4]. Las irregularidades debidas a los baches del pavimento y a los desniveles pronunciados de los mismos conducen a impactos que amplifican a las vibraciones. No obstante lo indicado, que justifica el diseño a partir de un análisis dinámico, es muy común en los puentes introducir las fuerzas de diseño como fuerzas externas aplicadas, esto es, tener en cuenta los efectos dinámicos mayorando las acciones estáticas^[5]. En la actualidad se está revirtiendo esta situación dada la accesibilidad a herramientas que posibilitan el análisis dinámico contemplando y ajustando las diversas variables que afectan al problema real.

El grado de deterioro observado en estructuras de puentes y entresijos que incluyen, en el peor de los casos, a colapsos ocurridos ha influido en la toma de conciencia de la importancia de un monitoreo y mantenimiento de este tipo de estructuras.

El objetivo del presente trabajo es, por un lado, presentar la experiencia realizada en el Área de Estructuras de la Facultad de Ingeniería de la UNCPBA, referida a la inspección y monitoreo de uno de los puentes de la ciudad de Olavarría, incluido en un plan integral de inspección de todos los puentes de la ciudad. Por otro lado, se presenta el análisis de un entresijo de un local bailable en el marco de revisión de comportamiento de estructuras de edificios que ha instrumentado el municipio de la ciudad de Olavarría.

2. PAUTAS DE DISEÑO

2.1. Frecuencias propias

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 hormigón⁵, 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 1.

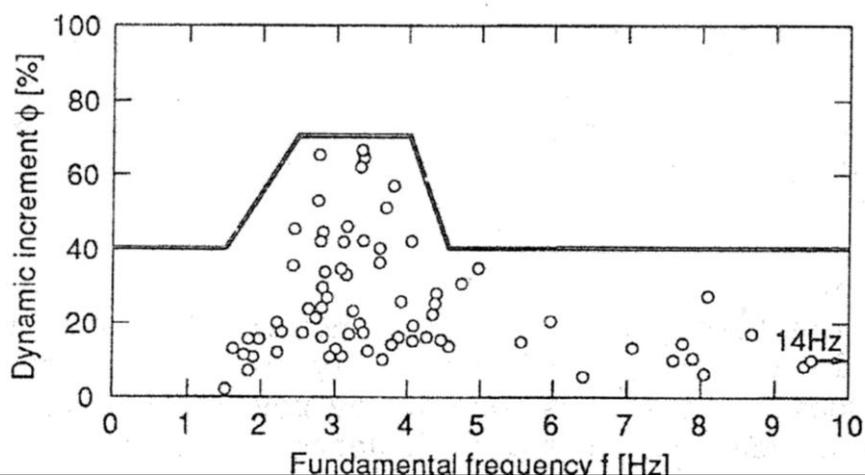


Figura 1. Incremento dinámico en función de la frecuencia fundamental

El análisis de la Figura 1 permite indicar que las frecuencias fundamentales que se encuentren en el rango indicado no son adecuadas por el mencionado incremento que sufre el factor de amplificación dinámica.

2.2. Respuesta Estructural

La respuesta estructural obtenida en términos de amplitud de aceleraciones y de velocidades posibilita la evaluación del comportamiento mediante la comparación de la respuesta medida con la indicada por las normas y los criterios tomados como referencia ^{[2],[5]}.

2.3. Normas y criterios de referencia

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 (ISO, DIN) que se indican en las Figuras 2 y 3.

En la Figura 2 ^[2] pueden 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.

Asimismo, sobre las ordenadas puede observarse que para el caso de velocidad vibratoria el nivel debería ser inferior a 10 mm/s, rms.

La Figura 3 [6] muestra otro criterio con valores que concuerdan con lo establecido en Figura 2 y considerando de la misma manera un valor aceptable cuando no es superado los 10 mm/s, rms, de velocidad vibratoria. Deberán estar numeradas consecutivamente con un número entre paréntesis en el margen derecho.

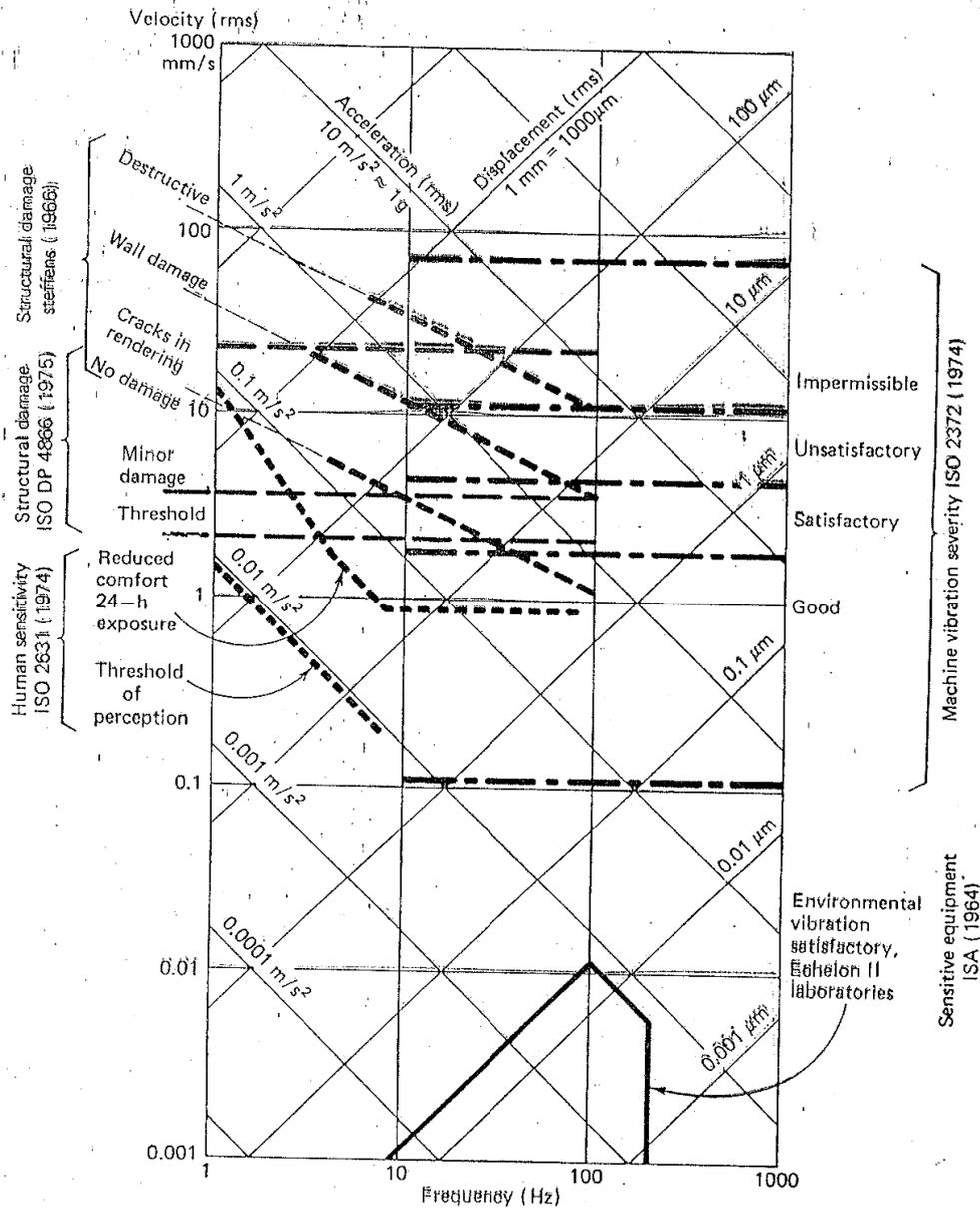


Figura 2. Criterios de vibración según ISO

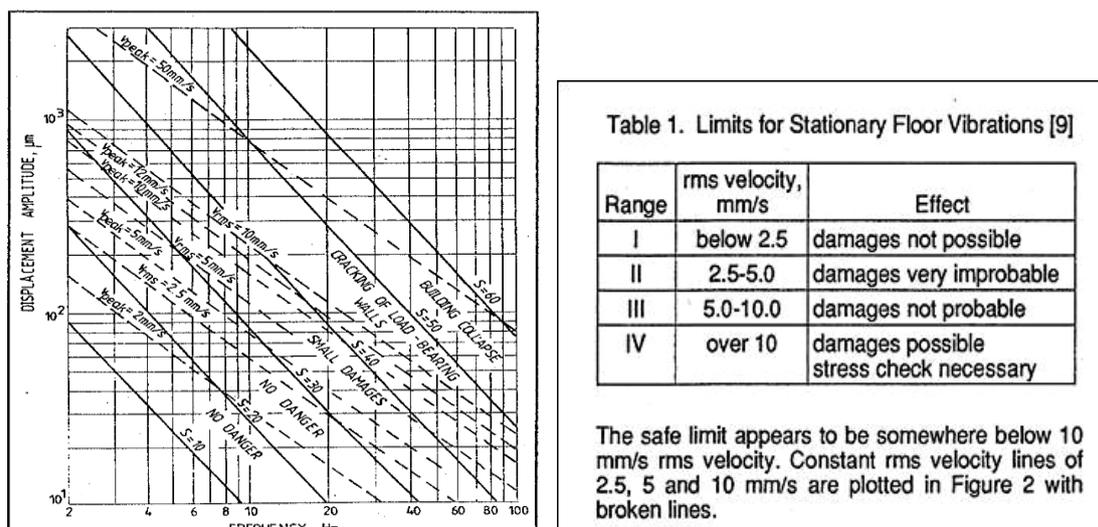


Figura 3. Criterios de vibración según Rades

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

Considerando como marco de análisis lo indicado precedentemente se presentan a continuación los estudios experimentales efectuados en los casos correspondientes a un puente de hormigón, Caso A y a entresijos de un local bailable, Caso B.

3. CASOS DE ESTUDIO

3.1 CASO A: EVALUACIÓN DE PUENTE DE HORMIGÓN ARMADO

3.1.1 ESTUDIOS EXPERIMENTALES

El objetivo de este análisis consistió en cuantificar las frecuencias y las amplitudes vibratorias existentes en distintas partes de la estructura bajo diferentes condiciones de circulación vehicular a efectos de su posterior análisis y comparación con normas y criterios utilizados a nivel internacional.

3.1.1.1 Metodología utilizada

Luego de evaluar in situ el comportamiento del puente con la circulación vehicular, se procedió a realizar mediciones en seis puntos estratégicos: tres sobre el tablero del puente, Figura 4, y tres sobre los estribos, Figura 5.

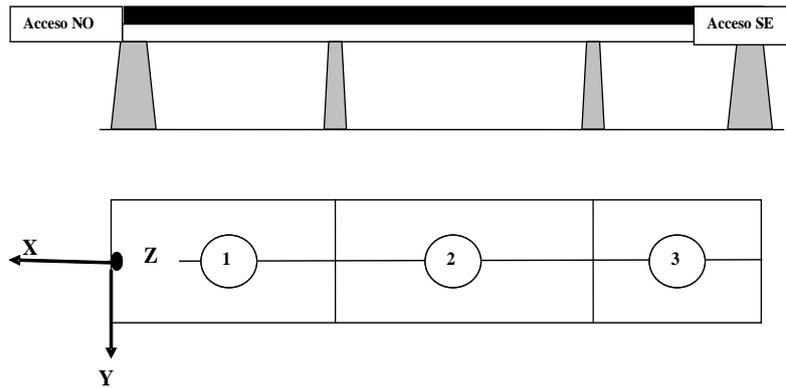


Figura 4. Distribución y direcciones de los puntos de medición 1, 2 y 3

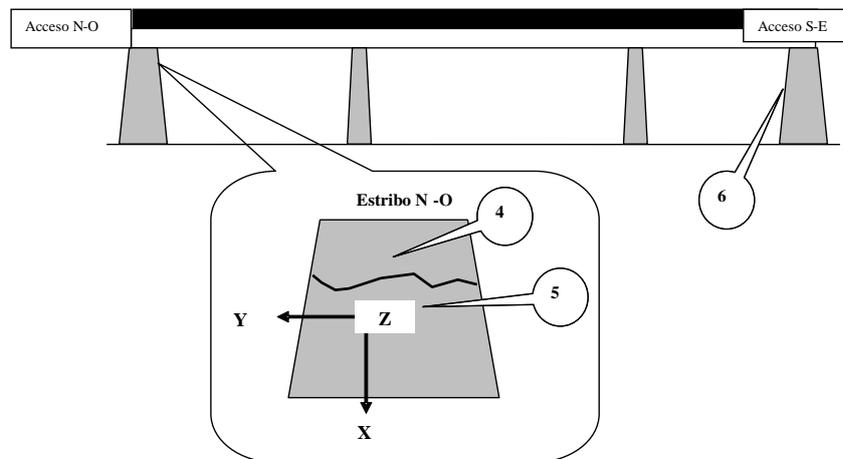


Figura 5. Distribución y direcciones de los puntos de medición 4, 5 y 6 sobre los estribos

3.1.1.a Medición sobre el puente

En toda la longitud del puente se ubicaron tres puntos centrales correspondientes a los tres vanos que éste posee. En cada uno de dichos puntos se obtuvieron en forma simultánea las aceleraciones vibratorias en tres direcciones mediante un adquirente de datos que utiliza un acelerómetro triaxial. Por otra parte, paralelamente con un segundo equipo, mediante la colocación de un acelerómetro y un transductor del tipo sísmico, se obtuvieron las amplitudes y las frecuencias predominantes (FFT) en la dirección considerada como Z (vertical).

Para poder evaluar el comportamiento con el tránsito se permitió la normal circulación de vehículos en las dos direcciones y el tránsito de un camión de la Municipalidad de Olavarría con una carga de aproximadamente 10 tm de arena, haciéndolo circular bajo dos condiciones: 1) a una velocidad de 30 Km/hora y 2) partiendo de marcha detenida.

Desde cada uno de los puntos de medición (1, 2 y 3) en que se colocó el acelerómetro triaxial, se enviaba al colector de datos toda la información proveniente del movimiento del puente en las tres direcciones, debida al tránsito normal y a la circulación del camión. Por otra parte, era registrado el instante de ingreso del

camión, como así también la eventual circulación de cualquier otro vehículo de gran porte (camiones, colectivos, etc.) con el objeto de identificar la correspondencia con los registros. El registro continuo en cada punto era de aproximadamente 4/5 minutos, lapso suficiente como para permitir la circulación del camión en ambas direcciones.

3.1.1. b Medición sobre los estribos

Debido a la fisura que presentaba el estribo del sector Norte-Oeste, se realizaron mediciones utilizando el acelerómetro triaxial en la parte superior de la fisura (zona apoyo puente) y luego debajo de la fisura, bajo condiciones normales de circulación sobre el puente (ver Figura 5). El otro punto de medición se ubicó en el estribo ubicado sobre sector Sur-Este.

3.1.1.2 Resultados Experimentales Obtenidos

Se obtuvieron los espectros sobre el puente en diferentes puntos. Por ejemplo, cuando el puente es excitado por el tránsito vehicular, se observa en el espectro correspondiente al punto 2 (ver Figura 6), que la frecuencia predominante es de aproximadamente 3,204 Hz.

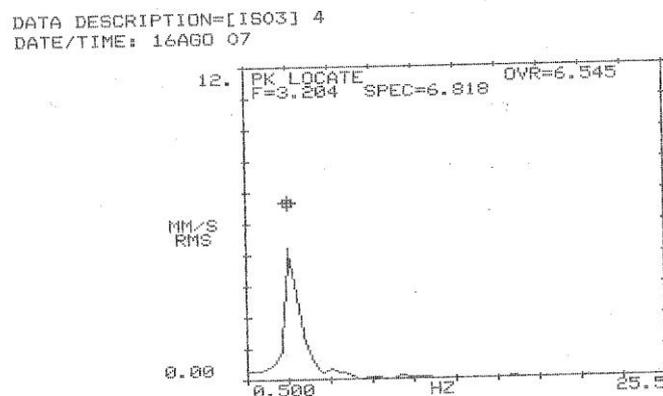


Figura 6: Espectro vibratorio y frecuencia predominante

En los puntos 1, 2 y 3 se tomaron los registros correspondientes a las direcciones X (rojo), Y (verde) y Z (azul), con las amplitudes expresadas en m/s^2 (aceleración vibratoria) y de velocidad en mm/s, rms, identificando el ingreso del camión N a S (norte a sur) y S a N (sur a norte). Identificando, asimismo, día, hora, minutos y segundos en que fue realizada la medición, (ver Figuras 7 a 10), en condición de velocidad 1, es decir a 30 Km/h.

En el estribo N-O se efectuaron registros en la parte superior e inferior de la fisura (ver Figuras 11 y 12), mientras que en el estribo S-E se tomó un único registro (ver Figura 13).

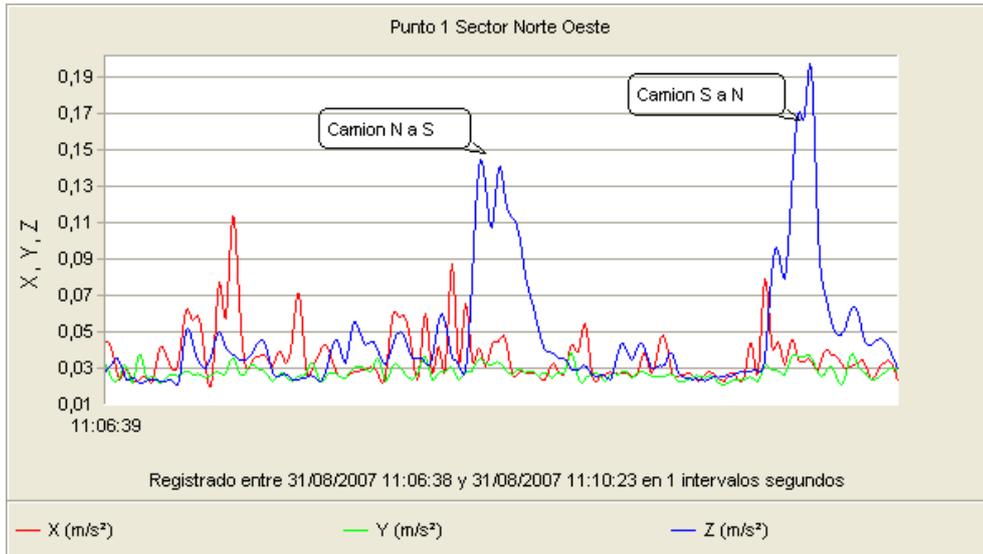


Figura 7: Aceleración vibratoria en m/s² en el punto 1

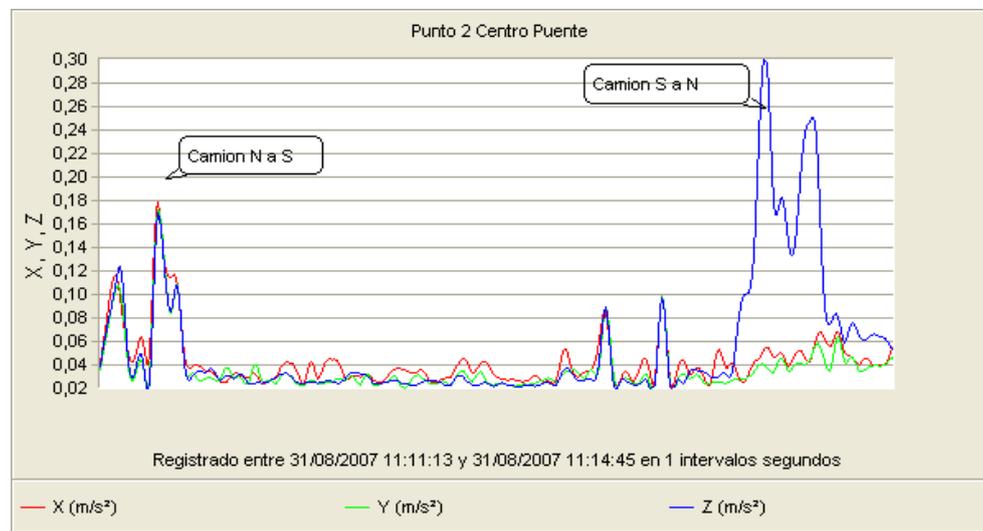


Figura 8: Aceleración vibratoria en m/s² en el punto 2

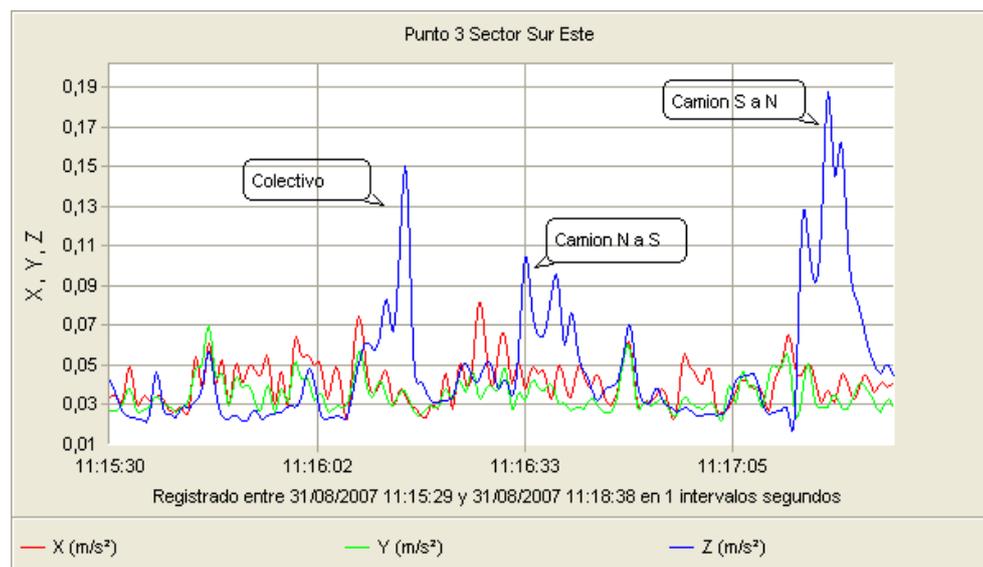


Figura 9: Aceleración vibratoria en m/s² en el punto 3

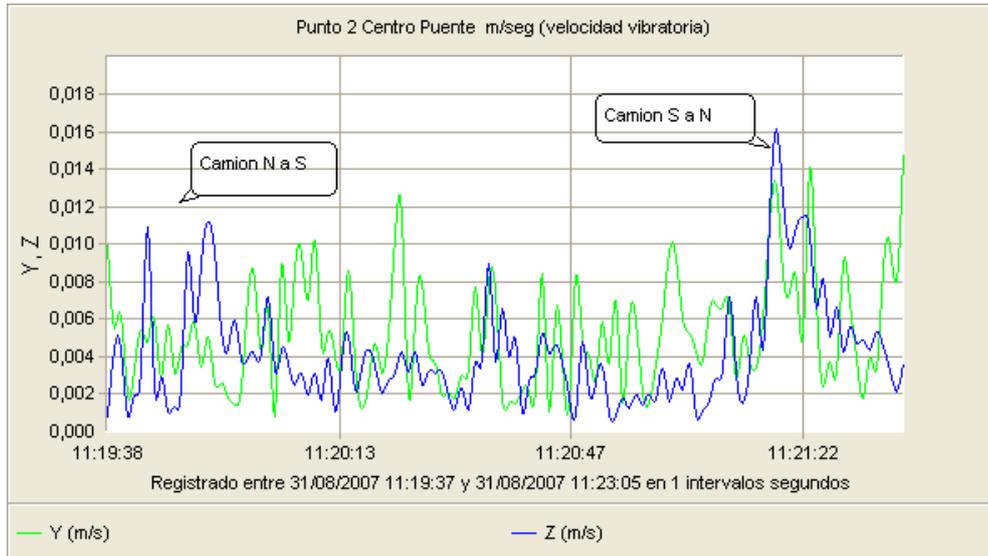


Figura 10: Velocidad vibratoria en m/s, rms en el punto 2

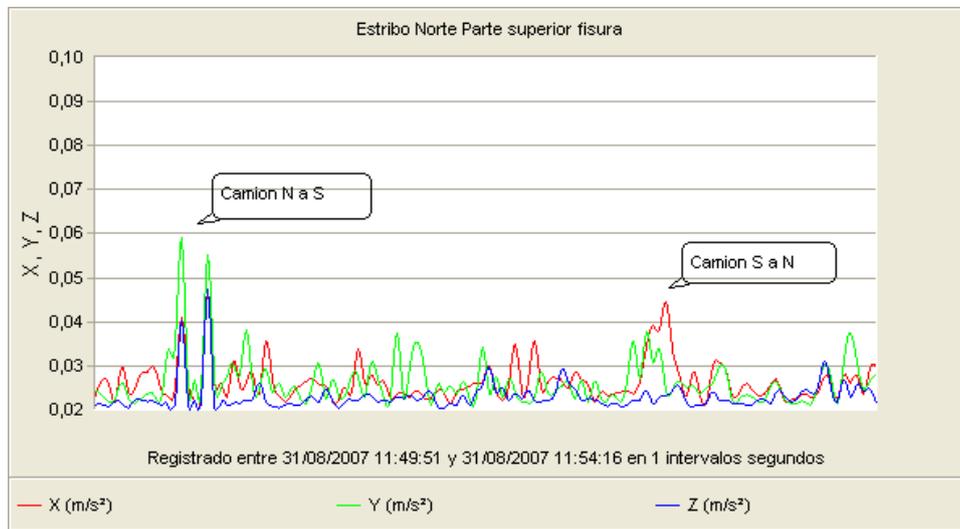


Figura 11: Aceleración vibratoria en m/s^2 en el estribo N-O, parte superior de la fisura

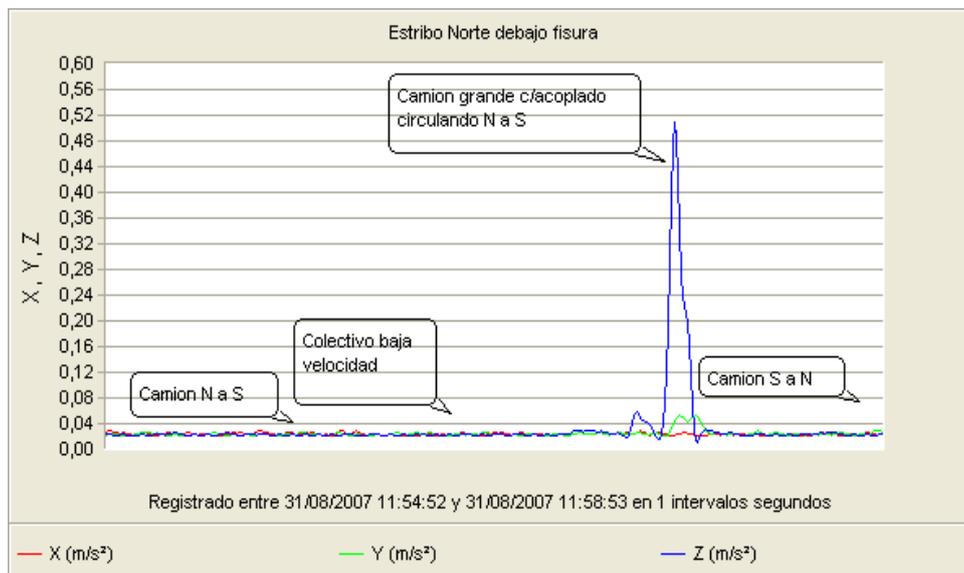


Figura 12: Aceleración vibratoria en m/s^2 en el estribo N-O, parte inferior de la fisura

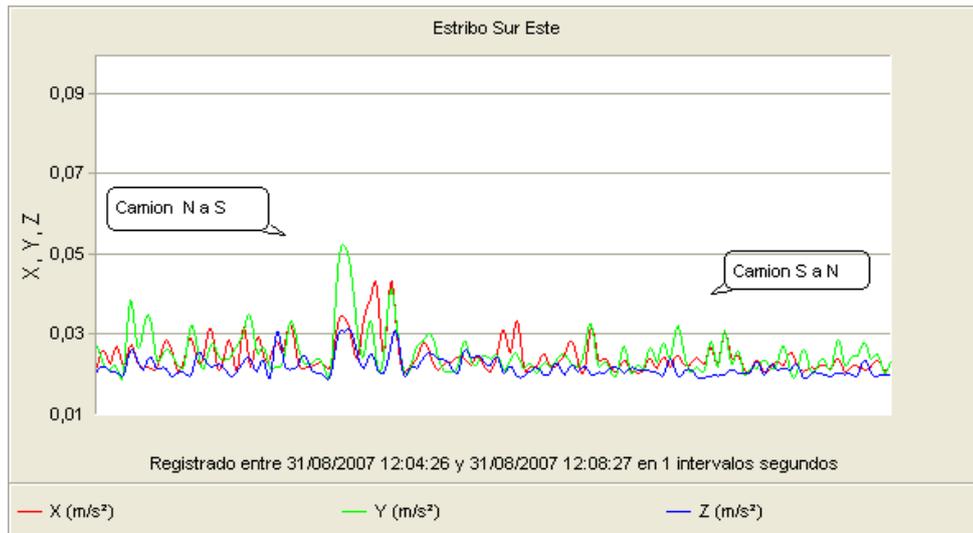


Figura 13: Aceleración vibratoria en m/s² en el estribo S-E

En los puntos 1, 2 y 3 se tomaron los registros correspondientes a las direcciones X, Y y Z, con las amplitudes expresadas en m/s² (aceleración vibratoria) y de velocidad en rms, en condición de velocidad 2, partiendo de marcha detenida (ver Figura 14 para el punto 2)

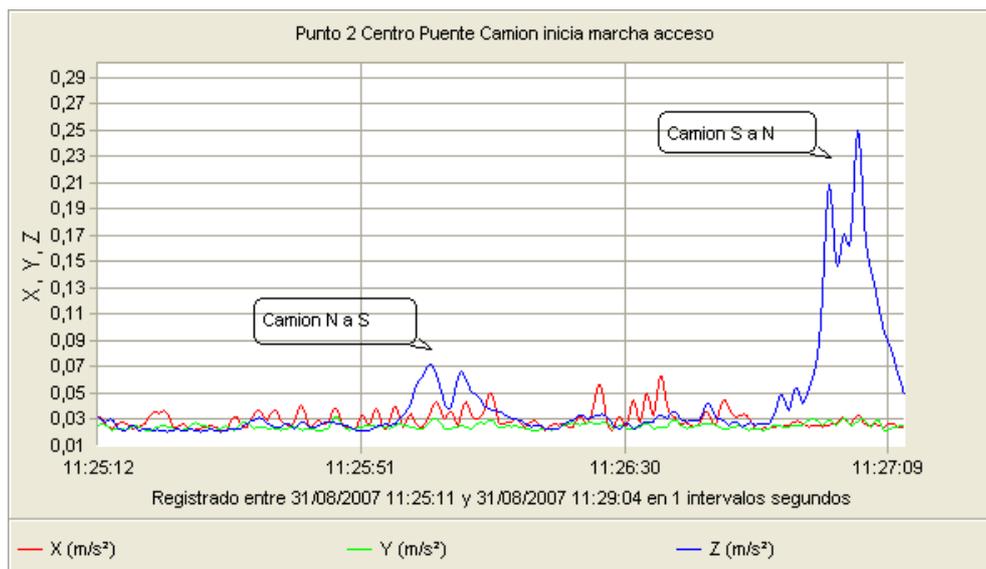


Figura 14: Aceleración vibratoria en m/s² en el punto 2 a partir de marcha detenida

3.1.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1.2.1. Frecuencias propias

El puente analizado en el presente trabajo tiene una frecuencia fundamental incluida en el intervalo de incremento del factor de amplificación dinámica mencionado en la Figura 1, lo cual justifica la elevada flexibilidad del sistema.

3.1.2.2. Respuesta Estructural

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 obtenidos permiten observar una notable diferencia en los valores de las aceleraciones verticales, (ver Figuras 7 a 11), en los diferentes puntos medidos según el camión cargado testigo ingrese de S a N o de N a S. Los valores de todas las mediciones efectuadas superan los valores 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 dichas figuras.

La medición indicada, simulando la marcha a partir de una detención inducida (ver Figura 14), muestra una considerable disminución de las aceleraciones verticales cuando el camión circula de N a S observándose valores dentro de los rangos admisibles. Dicha disminución es despreciable cuando el camión circula de S a N. Las aceleraciones en X e Y también disminuyeron hasta casi anularse.

Las mediciones indicadas (ver Figuras 11 y 12) muestran que tanto las amplitudes vibratorias obtenidas sobre y debajo de la fisura del estribo N-O como las obtenidas en el estribo S-E se encuentran en rangos admisibles para el tránsito normal e incluso para la circulación del camión cargado. Esto no es así cuando circula un camión cargado con acoplado que produce un pico vibratorio de alta amplitud que se encuentra fuera de los límites admisibles.

3.1.3. RECOMENDACIONES EFECTUADAS

El análisis de los datos aportados por los estudios experimentales indica que el puente se encuentra en zona de trabajo estructural crítica. Es por ello que el puente está sometido a aceleraciones y ciclos de cargas y descargas que hay que atenuar y controlar.

Las mediciones vibratorias varían con la velocidad de circulación y el peso de los vehículos que transitan.

Lo señalado precedentemente permitió indicar que el puente analizado presenta, por un lado, un comportamiento flexible de la superestructura para las condiciones actuales de cargas y velocidades del tránsito. Por otro lado, debido al efecto del tránsito, existe una transmisión de las vibraciones hacia la infraestructura que se amplifica para condiciones de tránsito con altas velocidades y cargas, por lo cual se indicaron las siguientes acciones para efectuar en la estructura del puente analizado y sus adyacencias, recomendándose su ejecución en lo inmediato:

1. Rehacer las losas de acceso en dicho extremo con el fin de disminuir el impacto de los vehículos en el acceso S-E. Para ello se considerará una pendiente acorde para enlazar el pavimento de la avenida con el nivel superior del estribo para lo cual se corregirán al menos dos losas adyacentes.
2. Limitar la carga y la velocidad de circulación de los vehículos.
3. Monitorear el comportamiento de la fisura del estribo N-O con posterioridad a la realización de una reparación que actúe como testigo.
4. Efectuar la inspección periódica de todos los elementos del puente a efectos de

detectar otros posibles daños posteriores a esta etapa.

5. Luego de ejecutadas las acciones indicadas precedentemente se sugiere repetir las mediciones vibratorias para evaluar el nivel de incidencia en el comportamiento estructural del puente.

3.1.4. ESTUDIO EXPERIMENTAL POSTERIOR A LAS REPARACIONES

Una vez efectuadas las tareas de construcción de las losas de acceso en el sector S-E y la reparación de la fisura del estribo N-O, se realizaron nuevas mediciones de las vibraciones, siguiendo las mismas premisas en cuanto a tránsito y disposición de los sensores, cuyos resultados se muestran a continuación.

Se registraron las aceleraciones en el punto 1 (ver Figura 15), en el punto 2 (ver Figura 16) y en el punto 3 (ver Figura 17).

Asimismo, se efectuaron mediciones en el estribo N-O en las partes superior (ver Figura 18) e inferior (ver Figura 19) de la fisura.

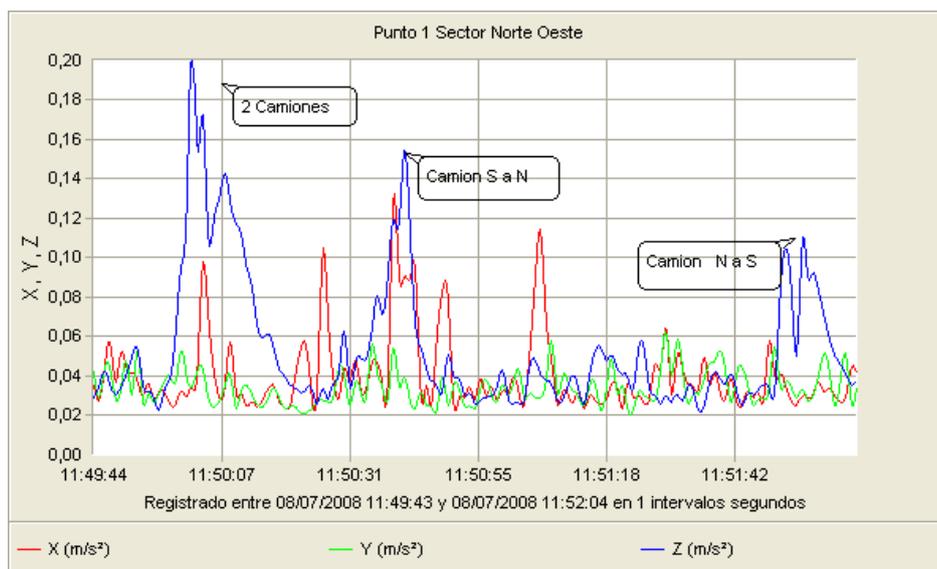


Figura 15: Aceleración vibratoria en m/s^2 en el punto 1

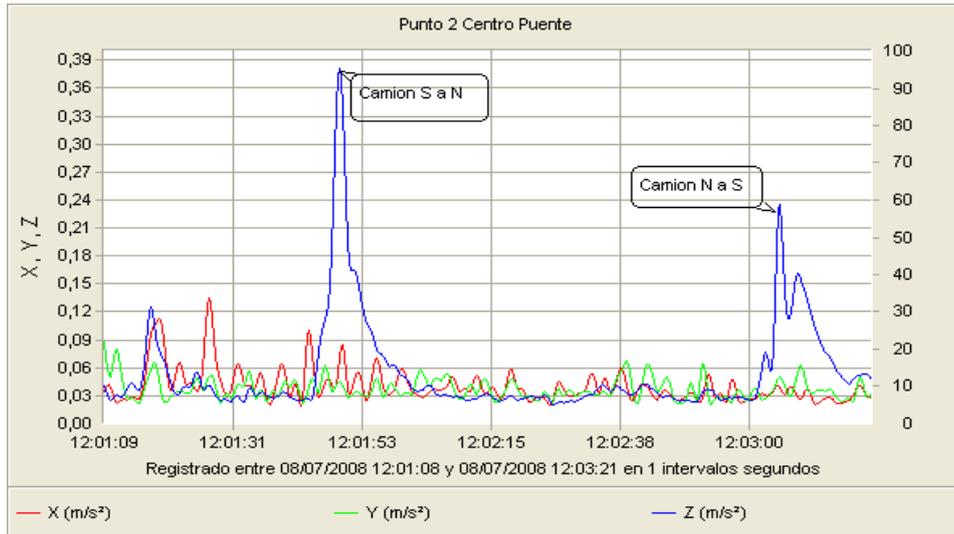


Figura 16: Aceleración vibratoria en m/s² en el punto 2

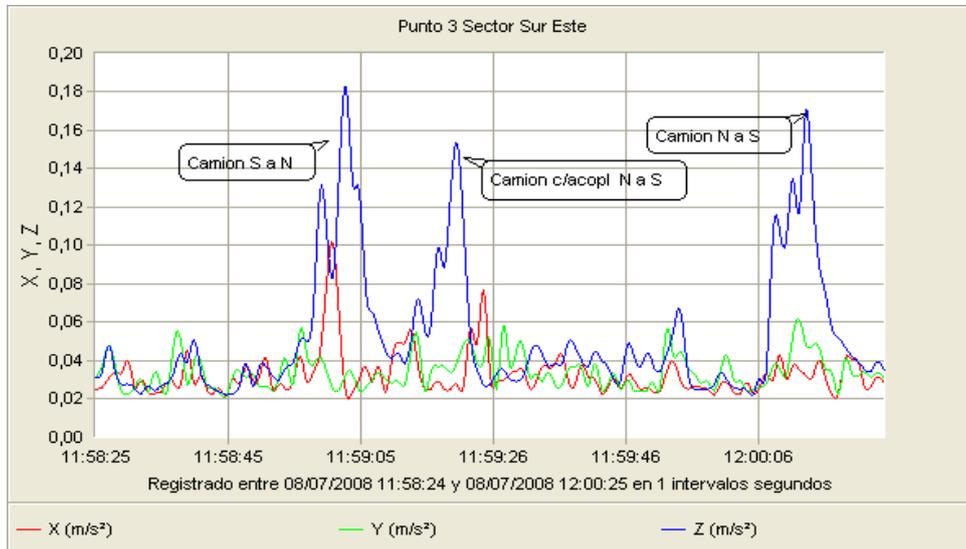


Figura 17: Aceleración vibratoria en m/s² en el punto 3

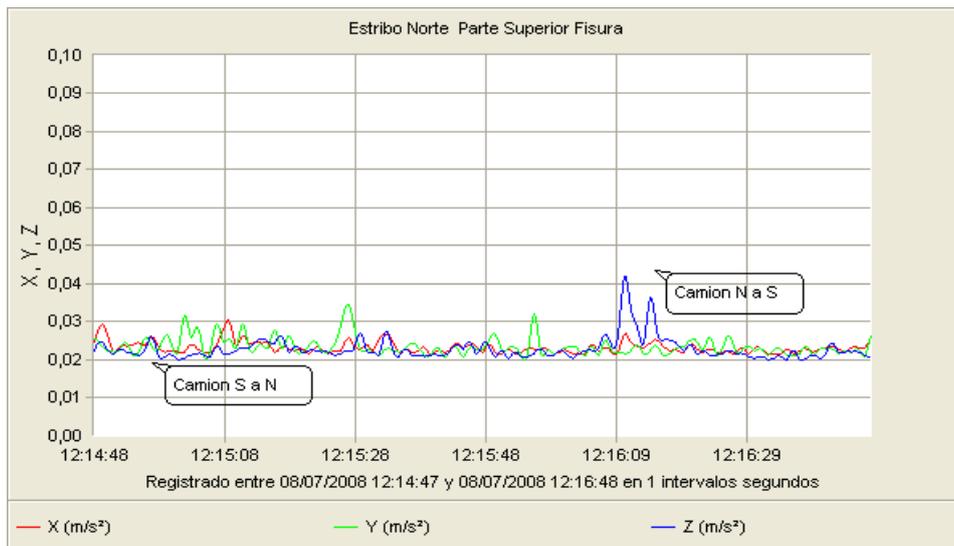


Figura 18: Aceleración vibratoria en m/s² en el estribo N-O, parte superior de la fisura

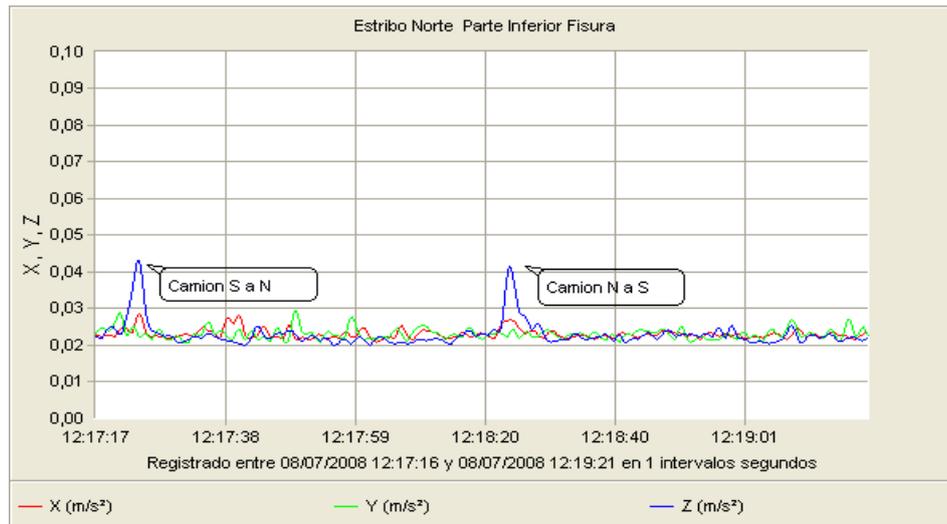


Figura 19: Aceleración vibratoria en m/s^2 en el estribo N-O, parte inferior de la fisura

Comparando los registros obtenidos una vez efectuadas las primeras reparaciones, se observó lo siguiente:

- Los niveles vibratorios registrados en los puntos 1, 2 y 3 correspondientes al antes y al después de las reparaciones registran variaciones, manteniéndose con valores de aceleraciones que superan las admisibles para las cargas de tránsito consideradas.
- Los niveles vibratorios medidos en el Estribo Norte, muestran una mejoría. Esto sería un indicio de que los cambios realizados minimizaron las amplitudes sobre el estribo que posee la fisura.

Dado lo indicado se efectuaron las siguientes propuestas:

- Limitar la carga y la velocidad de circulación de los vehículos, dado que para vehículos medianos los parámetros asociados a la vibración se encuentran dentro de los rangos admisibles. A tal fin, se recomienda inducir a la reducción de la velocidad en ambos accesos al puente e impedir el acceso de camiones cargados con acoplado.
- Efectuar monitoreos e inspecciones continuas con la finalidad de su control.

3.2. CASO B: EVALUACIÓN DE ENTREPISOS DE LOCAL BAILABLE

Se efectuaron mediciones vibratorias en el entrepiso de un local bailable, de la ciudad de Olavarría a efectos de evaluar su comportamiento y determinar posibilidades de uso.

3.2.1. ESTUDIOS PRELIMINARES

3.2.1.1 Relevamiento del esquema estructural

La estructura del entrepiso, que se observa en Figuras 20 y 21, presenta un esquema diferenciado en dos zonas en diferentes niveles: una zona recientemente

incorporada al edificio, metálica con entablonado de madera, y otra correspondiente al edificio original de hormigón armado, no a la vista, revestida con cielorraso y piso. En Figura 22 se observa la zona de entrepiso metálico.



Figura 20: Vista general del entrepiso

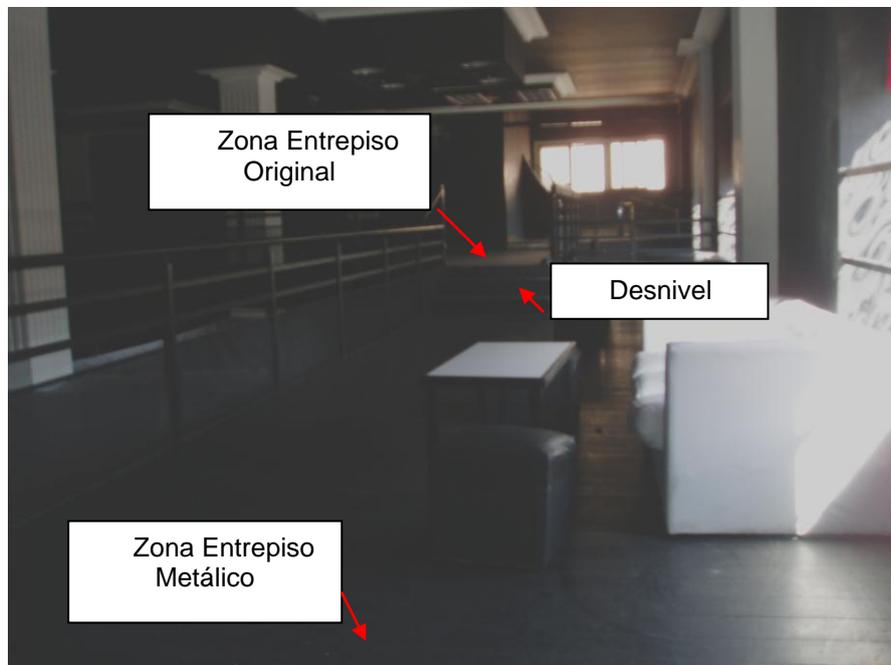


Figura 21: Vista del entrepiso

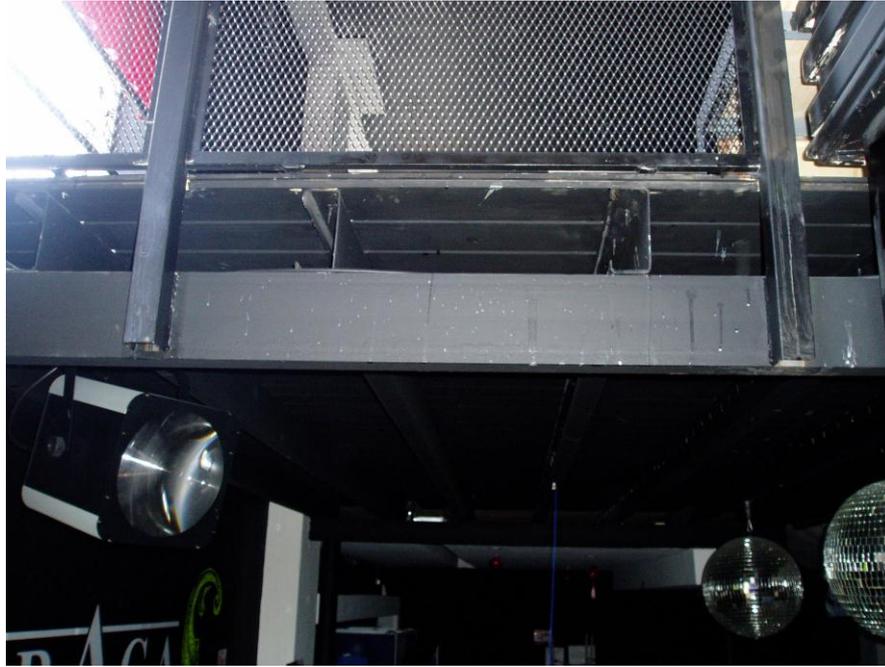


Figura 22: Vista zona de entepiso metálico

3.2.1.2 Información relevada

Se procedió a inspeccionar in-situ la estructura a analizar. Dadas las características diferenciadas, por zonas, de acuerdo a lo indicado en 3.2.1.1 se decidió efectuar mediciones en ambas zonas. Cabe aclarar que las diferencias no solo se refieren a la antigüedad de la construcción y a los materiales sino también al nivel en el que está construida cada una.

3.2.2 MEDICIONES EFECTUADAS

Tal lo indicado, se decidió efectuar las mediciones vibratorias en cada zona del entepiso. Los registros obtenidos durante las mismas se indican a continuación.

3.2.2.1 Frecuencias predominantes y amplitudes vibratorias

Inicialmente se midieron las **frecuencias y amplitudes vibratorias** en la zona del entepiso metálico, para la situación de dos personas saltando. En Figura 23, se observa el espectro vibratorio con las correspondientes frecuencias predominantes.

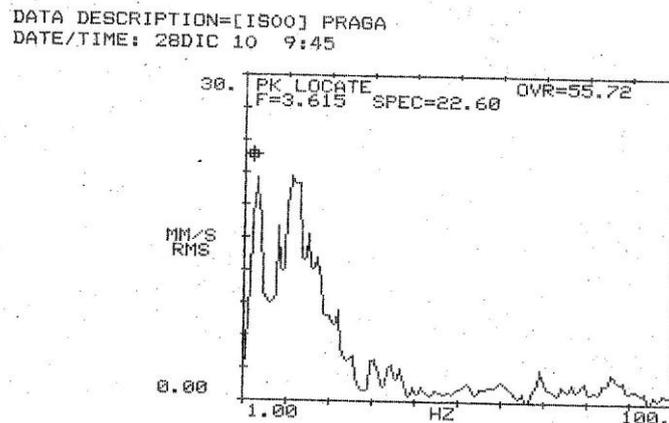


Figura 23: Espectro correspondiente a personas saltando en entrepiso metálico

Las frecuencias predominantes son 3,615 Hz con una amplitud de 22,6 mm/seg, RMS según muestra espectro Figura 23, luego el otro pico dentro del espectro corresponde a la frecuencia de 12,48 Hz y cuya amplitud es de 23,99 mm/seg RMS.

En forma simultánea fueron obtenidas las aceleraciones instantáneas en las tres direcciones (XYZ) producidas debajo del perfil C en el sector central del entrepiso de madera, correspondientes también a los saltos de dos personas.

Las direcciones de medición se observan en Figura 24 y las aceleraciones registradas son indicadas en Figura 22.

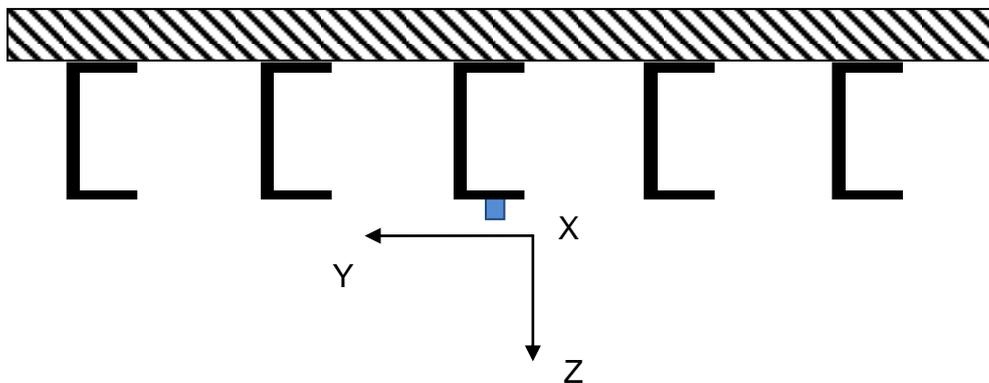


Figura 24: Direcciones de medición en los perfiles del entrepiso

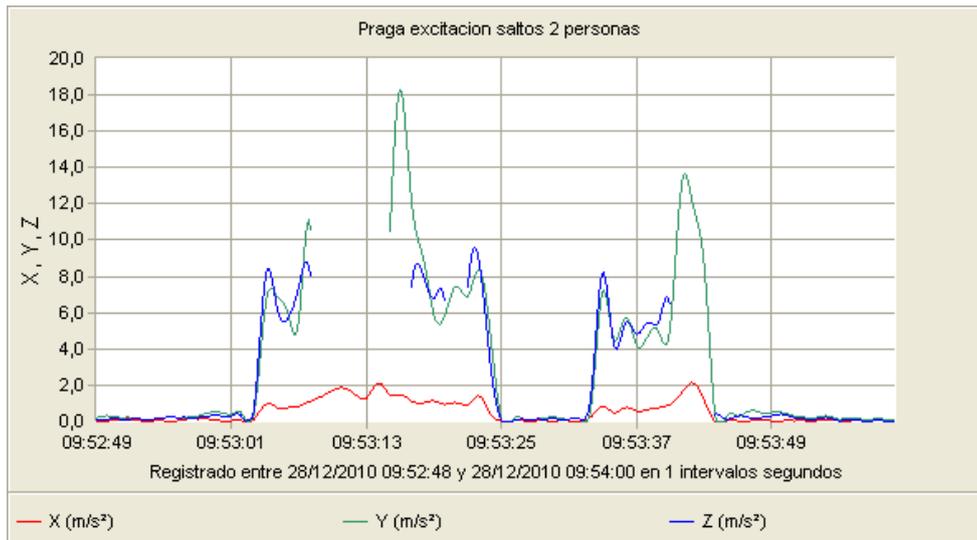


Figura 25: Aceleraciones instantáneas obtenidas debajo del perfil C en el sector central del entrepiso madera correspondiente a dos personas saltando.

Posteriormente se obtuvieron mediciones para la situación de dos personas caminando. En Figura 26 se observa el espectro correspondiente a dicha situación.

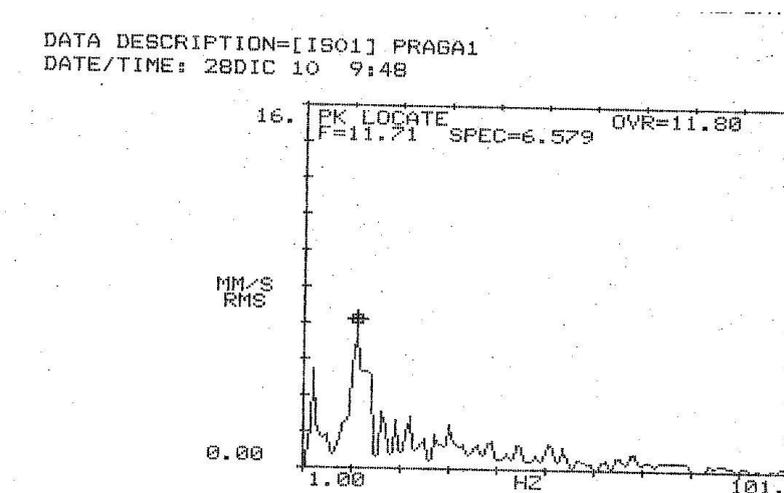


Figura 26: Espectro obtenido en entrepiso metálico correspondiente dos personas caminando

Los dos picos mas representativos observados en dicho espectro, corresponden a frecuencias de 3,00 Hz con amplitud de 4,3 mm/seg RMS, luego el otro pico predominante corresponde a 11,71 Hz con amplitud de 6,579 mm/seg RMS

Asimismo, se obtuvieron las aceleraciones instantáneas debajo del perfil C en el sector central del entrepiso de madera, correspondientes también a la situación de dos personas caminando. Dichas aceleraciones se muestran en Figura 27.

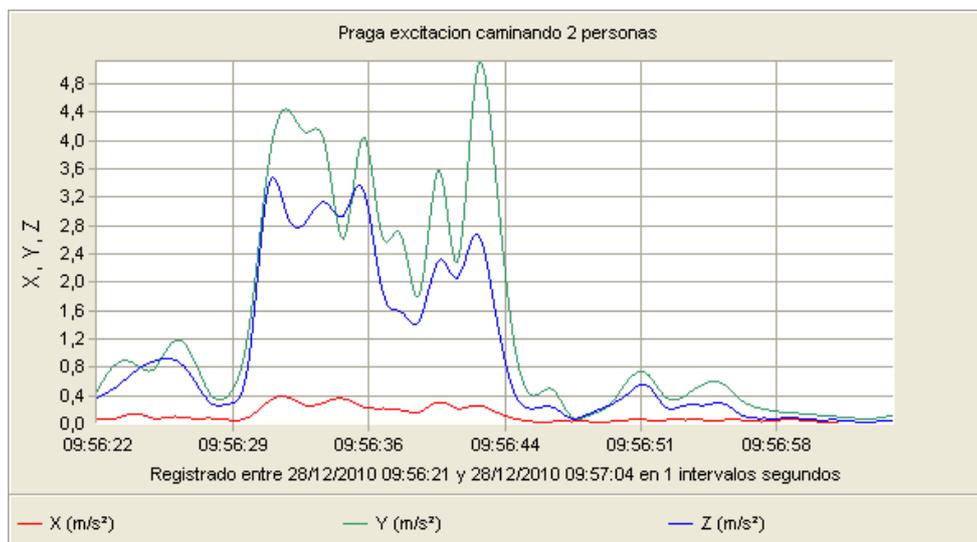


Figura 27: Aceleraciones instantáneas obtenidas debajo del perfil C en el sector central del entrepiso madera correspondiente a dos personas caminando

Posteriormente se tomó el espectro correspondiente a la zona de entrepiso original con la correspondiente frecuencia predominante, y las amplitudes vibratorias en la situación de dos personas caminando, el mismo se muestra en Figura 28.

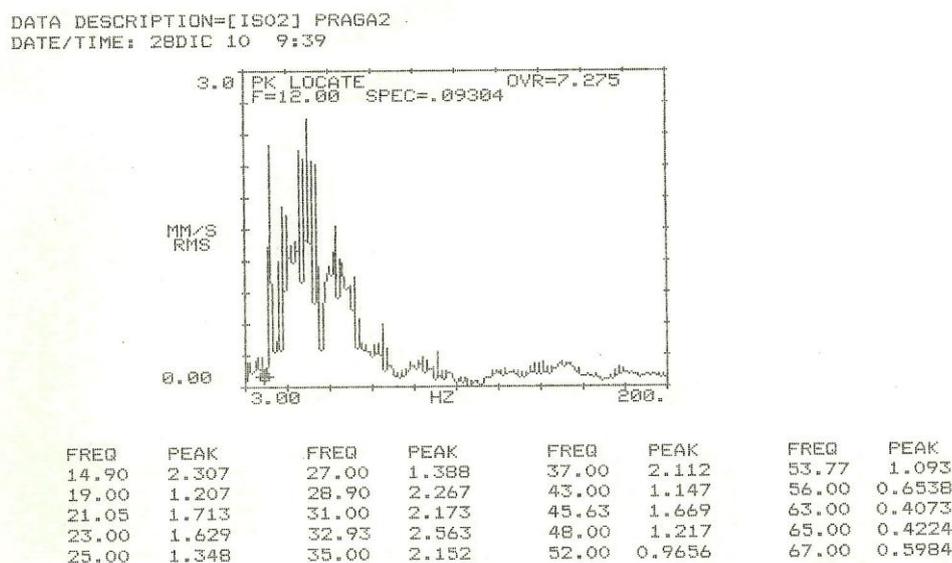


Figura 28: Espectro obtenido en entrepiso original correspondiente a personas caminando

Los picos predominantes son: 14,9 Hz con una amplitud de 2,3 mm/seg RMS, luego 32,93 Hz con una amplitud de 2,6 mm/seg RMS.

3.2.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.2.3.1 Frecuencias Naturales

Los valores de frecuencias registrados en la zona de entrepiso metálico, se encuentra dentro de un rango de frecuencias que permite indicar que el entrepiso presenta alta flexibilidad.

Es importante aclarar que en los casos donde se encuentra involucrada la permanencia del ser humano, la Resolución 295/03 (Seguridad e Higiene Laboral) considera para la dirección **Z** (pies cabeza), nocivas las frecuencias comprendidas entre 4 a 8 Hz, por tal no deberían exponerse en sitios donde el piso se mueve dicha cantidad de ciclos por segundo (4 a 8 Hz) ya que entrarían en resonancia algún órgano generando diversos malestares.

Los valores de frecuencias registrados en el entrepiso original se encuentran dentro de un rango de frecuencias superiores a los 6 Hz por lo que, según los criterios internacionales, se puede indicar que el entrepiso posee una rigidez adecuada que se traduce en un comportamiento estructural admisible.

3.2.3.2 Amplitudes Vibratorias

De acuerdo a criterios internacionales que establecen los límites admisibles, no debería superar las amplitudes el nivel de 10 mm/seg, RMS, ver Figura 3, correspondientes a la referencia especificada en la misma. Los resultados obtenidos muestran que las amplitudes vibratorias medidas en la zona de entrepiso metálico exceden los rangos admisibles para la excitación considerada, personas saltando a ritmo normal.

3.2.4. RECOMENDACIONES para el Caso B

El estudio realizado permite indicar que la zona del **entrepiso metálico** presenta un comportamiento flexible lo cual se traduce en amplitudes vibratorias fuera de los límites admisibles para acciones dinámicas según lo indicado en el ítem 2.3, Figura 3, **siendo adecuado para uso como zona de paso o estar.**

Mientras que la zona del entrepiso correspondiente a la estructura original presenta amplitudes vibratorias dentro de los límites admisibles para acciones dinámicas lo que permite indicar que el **entrepiso original** evaluado presenta un **comportamiento adecuado** para usos que involucren acciones de características dinámicas similares a las ensayadas.

CONSIDERACIONES FINALES

La evaluación dinámica de los elementos estructurales o de las estructuras constituye una técnica apropiada para evaluar el comportamiento estructural o el daño en el caso de que se realice un seguimiento de los mismos en el tiempo.

La evaluación dinámica experimental complementariamente con otras técnicas, numéricas y/o teóricas está siendo cada vez más utilizada a los fines indicados precedentemente.

Los ejemplos indicados permiten destacar la validez de las pautas de comportamiento estructural basadas en las características dinámicas.

Estas técnicas de análisis constituyen técnicas no destructivas muy prácticas en su aplicación, lo cual las hace recomendables para los fines expresados.

Referencias

[1] Peralta, M., Ercoli, N., "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 Setiembre 2005.

[2] Richart F.E. Jr., Hall J.R. Jr, Woods R.D., 1970. "Vibrations of soils and foundations". Prentice Hall.

[3] Husni, R. "Fallas y prevención en las estructuras de hormigón - Revista Ingeniería Estructural". ISSN 16667 – 1511. Año 15 – N°39. 2007.

[4] Clough, R. W., Penzien, J., "Dynamics of Structures", Second Edition, McGraw-Hill, Inc. 1993.

[5] Amman W., "CEB Bulletin D'Information N°209-Vibration Problems In Structures" – Practical Guidelines – Agosto 1991.

[6] Rades, M., 1994 "Vibration Limits for Industrial Buildings" The Shock and Vibration Digest. Volume 26 N°3.