



Comisión Administradora del Río Uruguay

CARU

**Informe de Evaluación del Puente General Artigas
Conexión internacional entre las ciudades de
Colón (Argentina) y Paysandú (Uruguay)**

Informe Final

Elaborado por:



INvestigación, **D**esarrollos en **I**ngeniería y **G**estión de **O**bras



Universidad Nacional de Córdoba – Argentina



Universidad de la República – Uruguay

Noviembre de 2010



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Tabla de Contenidos

TABLA DE CONTENIDOS	2
1. ALCANCES Y OBJETIVO	4
2. INTRODUCCIÓN	4
3. EVALUACIÓN DEL PGA	5
3.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN OCULAR	6
3.1.1 <i>Infraestructura</i>	6
3.1.2 <i>Superestructura</i>	12
3.1.3 <i>Accesos y Detalles</i>	15
3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS TESTIGOS EXTRAÍDOS A LA INFRAESTRUCTURA DEL PGA	18
3.2.1 <i>Ensayos de compresión y ultrasonido</i>	19
3.2.2 <i>Estudio petrográfico</i>	19
<i>Conclusiones del análisis de los testigos</i>	21
3.3 ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS REALIZADOS AL PUENTE	22
3.3.1 <i>Profundidad de Carbonatación</i>	22
3.3.2 <i>Recubrimiento de la Estructura</i>	22
3.3.3 <i>Integridad del hormigón</i>	23
3.4 MODELOS NUMÉRICOS DEL PGA	24
3.4.1 <i>Modelo del puente principal – PGA</i>	26
3.4.2 <i>Modelación del Viaducto Uruguayo</i>	28
3.4.3 <i>Modelación del Viaducto Argentino</i>	31
3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DINÁMICOS	33
3.5.1 <i>Procedimiento de ensayo</i>	33
3.5.2 <i>Resultados de los ensayos dinámicos</i>	34
3.6 VERIFICACIÓN DE LAS PILAS DE VIADUCTO TENIENDO EN CUENTA REDUCCIÓN DE RIGIDEZ DEBIDO A LAS FISURAS OBSERVADAS	42
3.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA NIVELACIÓN DE TABLERO Y BATIMETRÍA DEL CAUCE DEL RÍO URUGUAY	45
3.7.1 <i>Análisis de la nivelación de tablero</i>	45
3.7.2 <i>Análisis de la batimetría del cauce del Río Uruguay</i>	50
3.8 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE MEDICIÓN DE VERTICALIDAD DE LAS PILAS	53
4. RECOMENDACIONES	54



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES55

Anexo I: Análisis de Laboratorio de Testigos Extraídos al PGA.

Anexo II: Resumen de Ensayos No Destructivos Realizados al PGA.

Anexo III: Análisis Detallado de Nivelación de Tablero del Puente Principal – PGA.

Anexo IV: Registros de Ensayos Dinámicos Realizados al PGA.

Anexo V: Verificación a Estabilidad y Resistencia de las Columnas de Viaducto del PGA.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

1. Alcances y Objetivo

El objetivo de este documento se presenta la evaluación del estado de conservación del Puente General Artigas (PGA) como resultado del relevamiento de detalle del puente realizado en este proyecto.

Este informe se ha elaborado a la finalización de las tareas de campaña señaladas en la Propuesta Técnica de este trabajo y que consisten en la ejecución de una inspección ocular de detalle de todo el puente, ejecución de ensayos no destructivos sobre los elementos principales de la estructura, realización de nivelaciones topográficas, y batimetrías.

El alcance del informe de evaluación es el de ponderar las observaciones realizadas durante el relevamiento en relación a su importancia para el comportamiento de la estructura del puente y su desempeño en el futuro. Además, se brindan recomendaciones de actuación y reparación para los problemas detectados durante este trabajo.

2. Introducción

En la propuesta técnica para este trabajo se describió una metodología para el estudio detallado del PGA en la cual el primer paso consiste en realizar el inventario de la estructura del puente. El segundo paso es la ejecución del relevamiento detallado del puente. La metodología en donde se destacan estos pasos se representó en la propuesta mediante un esquema, que se repite a continuación en la Figura 1. En esta ilustración se ha resaltado el grado de avance del trabajo que se resume en este informe. Los cuadros en gris indican actividades que se informarán más adelante o que ya fueron presentados anteriormente. Las actividades de la Figura 1 constituyen los módulos de un Sistema de Gerenciamiento de Puentes (SGP) que se implementará para estudiar a lo largo del tiempo la integridad del puente PGA.

El objeto principal de este informe es presentar la evaluación de la estructura del PGA elaborada sobre la base de los resultados obtenidos de las campañas de relevamiento, ensayos de laboratorio, y trabajos de gabinete realizados.

Las conclusiones que se extraen en este documento, y que se presentan en los distintos apartados que siguen a continuación, se respaldan en las observaciones de campo y en análisis numéricos desarrollados para estudiar el comportamiento del puente en su conjunto. Las conclusiones dan lugar a recomendaciones para conservar y, en algunos casos, mejorar el estado de conservación actual del puente.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

INSPECCIÓN PRINCIPAL DEL PGA

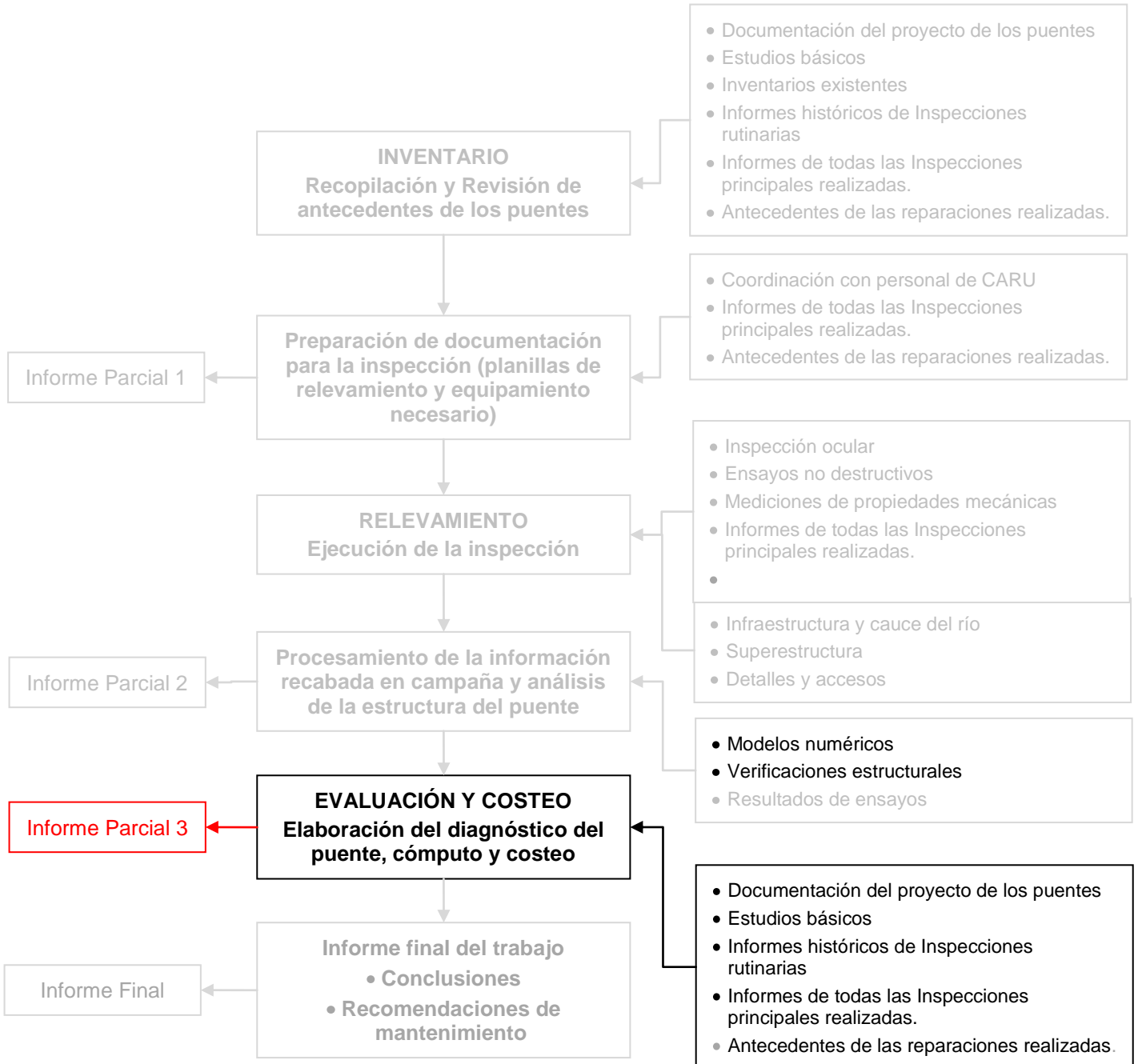


Figura 1. Metodología propuesta para la Inspección Principal del puente General Artigas

3. Evaluación del PGA

El módulo de evaluación de un sistema de gerenciamiento de puentes tiene por objeto estudiar el estado actual en que se encuentra la estructura a partir del análisis de la información consignada en el módulo de relevamiento y de los antecedentes disponibles. Por



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

ello, los datos de entrada del módulo de evaluación surgen de la información recabada en las inspecciones que se realizó a la estructura. La inspección detallada del PGA se presentó en el Informe Parcial 2 de este trabajo.

El objeto principal del relevamiento de detalle del puente fue detectar indicios de mal funcionamiento estructural, presencia de fisuras, deformaciones o roturas que pudieran atender contra la seguridad del puente. En esta tarea se realizaron todos los ensayos no destructivos que se consideraron necesarios para entender cabalmente el funcionamiento del PGA y que permiten extraer las conclusiones sobre el estado de la estructura, tal como se presenta en este informe.

La información de relevamiento se complementa con tareas de gabinete que asisten en el análisis de las causas y probables consecuencias de algunos defectos observados en el relevamiento. Estas tareas consisten en el desarrollo de modelos numéricos para el puente y sus viaductos de acceso, análisis detallado de antecedentes, procesamiento de las nivelaciones y batimetría del puente y análisis de laboratorio de los testigos de hormigón extraídos de elementos estructurales del puente.

A continuación se presenta la evaluación detallada del PGA según los resultados consignados en el módulo de relevamiento.

3.1 Análisis de los resultados de la Inspección Ocular

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos de la inspección ocular de detalle realizada al PGA en mayo y junio de 2010. Se analizan los resultados obtenidos del relevamiento para la infraestructura, la superestructura, los accesos y detalles del puente, y luego se realizan valoraciones sobre cada uno de ellos.

3.1.1 Infraestructura

3.1.1.1 Fisuras verticales en pilas

De acuerdo a lo indicado en las planillas e informe de relevamiento del PGA, el Viaducto Uruguayo y el Viaducto Argentino se observan fisuras verticales en las columnas de sección circular con espesores que van desde los 0,2 mm a los 0,6 mm, tal como se observa en la Figura 2. Esta situación se observa en un 90% de las columnas de los viaductos. La distribución y dirección de estas fisuras, junto con el análisis del esquema estático del puente y la geometría de las pilas, indican que la aparición de las mismas no respondería a un mal comportamiento o deficiencia estructural del puente. Esto es debido a que las fisuras no están alineadas con la trayectoria de los esfuerzos principales que se espera en las columnas de los viaductos.



Figura 2. Vista de la Columna 1 de la Pila 19 (Lado Argentino). A la izquierda de la figura se encuentran indicadas las fisuras, a la derecha se observa una imagen de la medición del espesor de la fisura.

Esta situación motivó la extracción de testigos de los elementos afectados para estudiar la calidad del material constituyente de las columnas de las pilas. De este modo se extrajeron testigos cilíndricos de 5 cm de diámetro y 10 cm de longitud que se analizaron en laboratorio. Un resumen de las consideraciones que surgen de estos análisis se describe en el apartado 3.2 de este informe y los resultados de laboratorio de estos análisis se presentan en el Anexo I de este informe.

3.1.1.2 Exposición de armaduras transversales en columnas

Se observó exposición de armaduras de refuerzo transversal en la zona inferior de las columnas del viaducto argentino, tal como se observa la Figura 3. Las armaduras no presentan oxidación importante ni reducción de sección transversal debido a procesos corrosivos y se detectó, principalmente, en las pilas que se encuentran dentro del cauce activo del río. Por este motivo, se estima que este defecto no compromete estructuralmente a la pila y podría atribuirse al rozamiento del agua y material de arrastre sobre la columna. En el apartado 4 se presentan recomendaciones de actuación para reparar este defecto.



Figura 3. Vista de la Columna 1 de la Pila 16. Se observa un sector de la columna con peladura y con armadura de refuerzo transversal expuesta.

3.1.1.3 Fisuras en pilas del puente principal

Las pilas del puente principal (tipo pantalla) presentan fisuras verticales de espesores que van desde los 0,2 mm a los 0,3 mm en la parte inferior de las mismas (Figura 4). Estas fisuras pueden atribuirse a esfuerzos de coacción (retracción del hormigón), fenómeno característico de esta tipología de pilas. Por este motivo se considera que la presencia de estas fisuras no atenta contra la seguridad del puente, aunque debido al espesor de las mismas se recomienda su sellado, tal como se detalla más adelante en este informe.



Figura 4. Detalle de una de las fisuras relevadas en la Pila 10 (Puente Principal).



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

3.1.1.4 Fisuras en estribos y armaduras expuestas en cabezales de pilas

Se observaron fisuras inclinadas en las vigas de bancada y muros frontales de los estribos del puente, tal como se observa en la Figura 5. De acuerdo al análisis de la estructura de los estribos se concluye que estas fisuras no representan un riesgo para la integridad estructural del estribo y se encuentran dentro de los valores que pueden esperarse para este tipo de elementos de hormigón armado. El espesor de las fisuras es cercano a 0,2 mm por lo que el ingreso de humedad al elemento es poco probable, por lo que no sería necesario su sellado.



Figura 5. Detalle de una de las fisuras en el Estribo 1 (Lado Uruguayo).

Los cabezales de las Pilas 11 y 12 presentan fisuras de pequeño espesor (menor a los 0,2 mm) en su superficie, pérdida de recubrimiento superficial y armaduras expuestas (Figura 6 y Figura 7), que se estima tienen el mismo origen que las fisuras en estribos y columnas. También se detectó pérdida de recubrimiento de hormigón en los cabezales de las pilas centrales del puente (Figura 8), aunque esto podría deberse a la erosión del agua. Se considera que los defectos señalados no atentan contra la seguridad del puente ni se deben a problemas estructurales frente a las fuerzas operantes.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”



Figura 6. Vista de la armadura expuesta en el cabezal de la Pila 11.

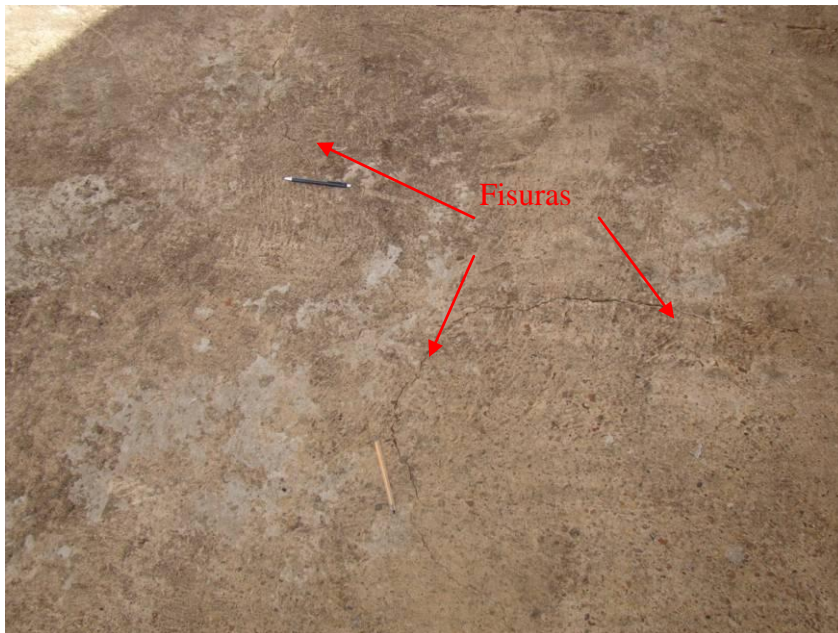


Figura 7. Fisuras en el cabezal de la Pila 11.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”



Figura 8. Pérdida de recubrimiento en cabezal de Pila 12.

3.1.1.5 Dispositivos de apoyo

Los dispositivos de apoyo del estribo uruguayo del PGA se encuentran en buen estado de conservación. Uno de los aparatos de neopreno del estribo argentino se encuentra dañado, aunque no se detecta un mal funcionamiento de la estructura debido a ello. El defecto consiste en una rotura de la goma de recubrimiento del paquete de apoyo, que ha dejado al descubierto parte de las placas de acero y planchas de neopreno del apoyo. Si bien al momento de este trabajo se observa que el comportamiento es adecuado, más adelante se recomienda el reemplazo de este dispositivo ya que la ausencia de recubrimiento del neopreno acorta significativamente la vida útil del mismo. En la Figura 9 se observa una imagen del estado de los dispositivos de apoyo.



Figura 9. Apoyo sobre el Estribo 2 (Lado Argentino).

El resto de los dispositivos de apoyo de neopreno del puente lucen en buenas condiciones generales de conservación, tanto en el viaducto argentino como en el viaducto uruguayo. Cabe destacar que algunos paquetes de neopreno, aunque no presentan signos de mal funcionamiento o agotamiento, muestran fisuras horizontales. Estas fisuras se observan en la goma que recubre el paquete por lo que de progresar en el tiempo podrían afectar el normal desempeño del dispositivo. Por este motivo, más adelante en este informe se recomienda realizar una nueva inspección de estos elementos a intervalos regulares.

El apoyo en pilas 10 y 13 de la viga cajón que constituye el tramo central del puente es por medio de una biela de hormigón, biarticulada. Este elemento garantiza libertad de movimiento de la viga en sentido longitudinal del puente, debido a esfuerzos del tránsito o cambios térmicos. Las bielas de hormigón se encuentran en buen estado de conservación.

3.1.1.6 Otros defectos observados

A lo largo del PGA se observaron manchas de exudación, zonas localizadas con pérdida de recubrimiento y leve exposición de armaduras en algunas pilas de los viaductos, tal como se consignó en las planillas de relevamiento. Estos daños no representan un riesgo estructural para el PGA en la actualidad, ni indican deficiencia o agotamiento estructural. Sin embargo se recomienda la atención de dichos defectos consignados en las planillas de relevamiento a fin de evitar la propagación de los mismos y asegurar las buenas condiciones de la estructura.

3.1.2 Superestructura

La superestructura del PGA se encuentra en buenas condiciones generales de conservación sin observarse daños o signos de agotamiento estructural en los distintos elementos que componen la misma. A continuación se presenta el detalle de las evaluaciones efectuadas.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

3.1.2.1 Vigas principales y losa de tablero de viaductos de acceso

Se observaron pequeños defectos como fisuras (espesor menor a 0.2 mm) en las vigas principales, sectores con defectos de colado del hormigón y algunas manchas de exudación en vigas del viaducto argentino, Figura 10. Estos defectos no representan un riesgo estructural para el PGA ya que su presencia obedece a problemas constructivos.

Las fisuras observadas en las vigas principales del viaducto argentino, Figura 11, no responden a esfuerzos principales de la estructura del tablero, de acuerdo al esquema estático del mismo (las fisuras sólo se observan en la cara externa de uno de los nervios de la viga principal), y a la ubicación y dirección de las fisuras.

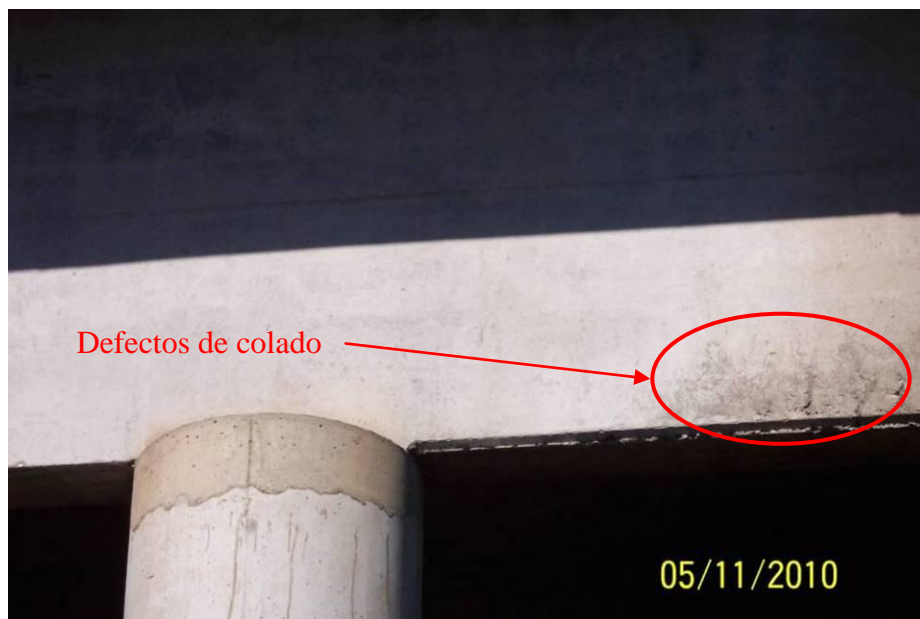


Figura 10. Detalle de defecto de colado en viga 2 del tamo 41.

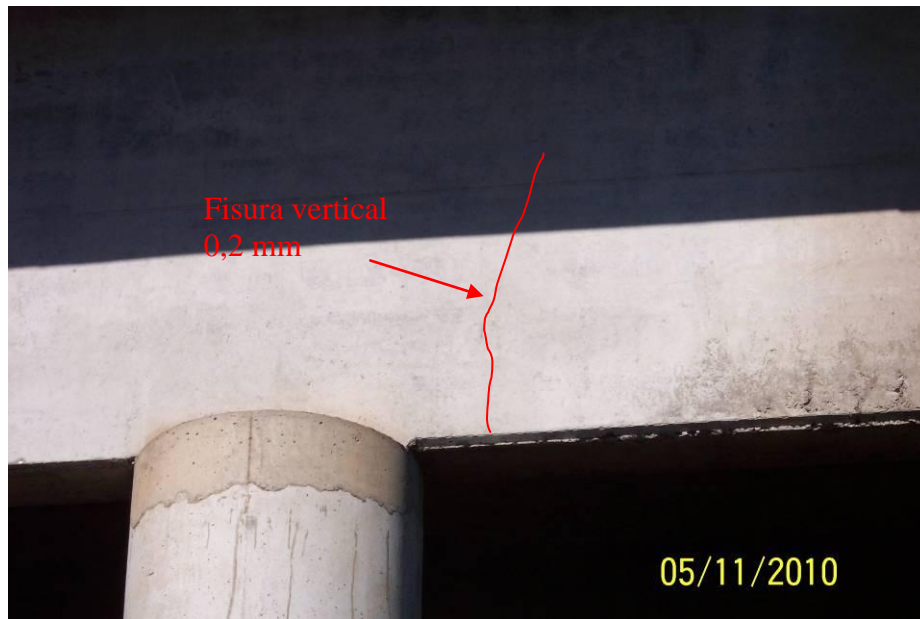


Figura 11. Detalle de fisura vertical de 0,2 mm de espesor en tramo 22.

Las vigas principales y transversales del viaducto uruguayo no presentan fisuras o defectos, por lo que se concluye que el comportamiento de este viaducto es normal.

Las losas de tablero presentan fisuras en dirección transversal al desarrollo longitudinal del puente, tal como se observa en la Figura 12. Estas fisuras no indican problemas estructurales por lo que no atentan contra la seguridad de la estructura del PGA (se desarrollan en la dirección secundaria de la losa y podrían deberse a esfuerzos secundarios o de coacción).



Figura 12. Detalle de fisuras con manchas de exudación de color blanco en la cara inferior de la losa (tramo 2).



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

3.1.2.2 Superestructura del tramo principal del puente

El tramo principal del puente consta de una viga cajón que se extiende a lo largo de los cuatro vanos centrales de la obra de arte. La viga cajón se encuentra empotrada sobre las pilas principales intermedias del puente principal (Pilas 11 y 12), y simplemente apoyada sobre bielas de hormigón armado sobre las pilas principales extremas (Pilas 10 y 13).

En toda su longitud la viga principal presenta un buen estado de conservación. No se observan fisuras o defectos en sus caras accesibles a la inspección visual, que pudieran indicar agotamiento o deficiencia estructural. Esto permite concluir que el comportamiento del puente en su conjunto es bueno.

La inspección visual se realizó por dentro del puente, obteniendo los mismos resultados positivos señalados anteriormente.

3.1.3 Accesos y Detalles

Los accesos al PGA se encuentran en buenas condiciones generales de conservación, lo cual se traduce en un buen estado de mantenimiento de las banquetas, cunetas, losas de aproximación y señalización vertical. Sin embargo se observó que la señalización horizontal en los accesos se encuentra algo deteriorada, por lo que se recomienda su readecuación más adelante en este documento.

Las losetas de protección de los taludes de los estribos presentan vegetación creciendo entre sus juntas. Esto permite el ingreso de agua al talud y la propagación y profundización del deterioro señalado. Por este motivo se recomienda la limpieza y sellado de la junta de las losetas de los estribos.



Figura 13. Protección de los terraplenes de acceso.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Los detalles del puente se encuentran compuestos por la carpeta de rodamiento, la señalización horizontal sobre el puente, las juntas de dilatación, las barandas, veredas peatonales, las luminarias sobre el puente, y la iluminación interior de la viga cajón que conforma el puente principal.

La carpeta de rodamiento sobre el puente se encuentra desgastada con pérdida de mezcla asfáltica como consecuencia del paso del tiempo. También se observaron algunas fisuras en la carpeta de rodamiento y en coincidencia con la zona de juntas de dilatación. En la Figura 14 se observa una imagen donde se ilustran estos defectos. Como parte de este trabajo de relevamiento se realizó y presentó a la CARU un breve informe sobre el estado de la carpeta de rodamiento con recomendaciones para su readecuación.

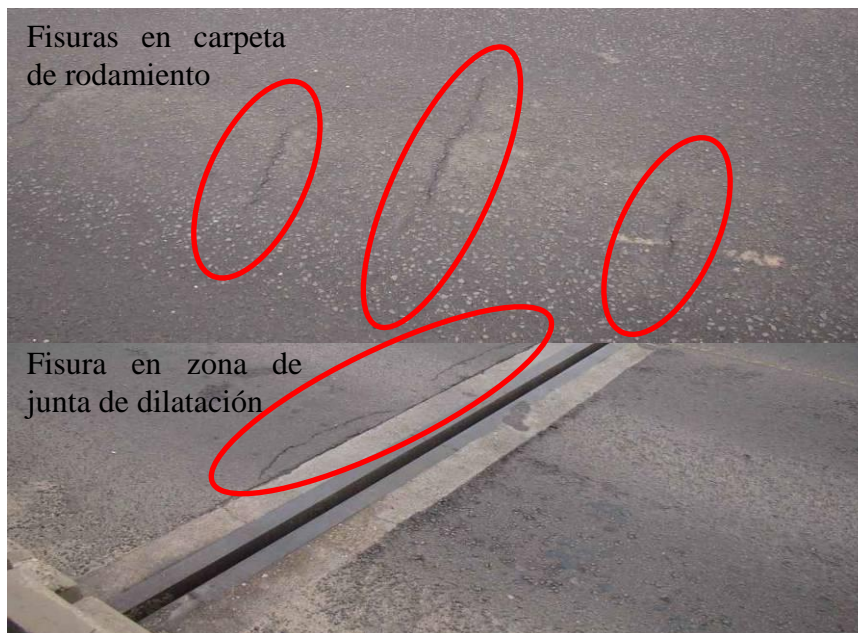


Figura 14. Defectos en carpeta de rodamiento.

La señalización vertical sobre el puente es la correcta, la señalización horizontal se encuentra deteriorada por el paso del tiempo tal como se observa en la Figura 15. Se considera necesario y recomendable realizar la readecuación de la señalización horizontal sobre el mismo.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”



Figura 15. Desgaste de la señalización horizontal en el puente.

Los dispositivos de juntas de dilatación se encuentran en buen estado sin observarse signos de mal funcionamiento. Los perfiles metálicos que componen la junta de dilatación sobre la vereda peatonal presentan una leve oxidación (superficial), tal como se observa en la Figura 16. Se recomienda realizar la limpieza y pintado de estos elementos a fin de evitar el avance de la oxidación observada.



Figura 16. Dispositivos de juntas de dilatación en veredas. Oxidación de los perfiles metálicos.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Las veredas peatonales del puente se encuentran en buenas condiciones generales de conservación tanto en su cara superior como inferior. Las barandas peatonales (barandas metálicas) se encuentran en buen estado sin observarse abolladuras, golpes o tramos deteriorados.

Los orificios de desagüe sobre el tablero del puente presentan un buen funcionamiento. No se observan obstrucciones en los mismos.

Las columnas de alumbrado sobre el puente se encuentran en buen estado, sin embargo las luminarias se encuentran quemadas en un 70 %, tal como se observa en la Figura 17. Se recomienda realizar el remplazo de las luminarias quemadas.



Figura 17. Vista del estado de la iluminación sobre el tablero, el 70 % de las luminarias se observan apagadas.

El estado de la iluminación interior de la viga cajón es deficiente: se encontró el 25% de las luminarias quemadas; además la intensidad de las mismas resulta pobre dificultando el trabajo de mantenimiento dentro de la estructura. Se recomienda realizar el remplazo de las luminarias quemadas y el aumento de la intensidad de las mismas a fin de asegurar buenas condiciones de trabajo dentro de la estructura.

Por último el balizamiento de la estructura del PGA se encuentra al momento de realizar el presente informe, fuera de servicio. Se recomienda realizar en el corto plazo las reparaciones pertinentes a fin de asegurar el correcto balizamiento de la estructura debido al intenso flujo fluvio-marítimo que se presenta en la zona.

3.2 Análisis de resultados de los testigos extraídos a la infraestructura del PGA

El objetivo de este apartado es presentar los resultados de la evaluación de los testigos de hormigón tomados de las pilas y vigas transversales del puente General Artigas, a través de ensayos de compresión, ultrasonido, observaciones con lupa binocular y secciones delgadas.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

3.2.1 Ensayos de compresión y ultrasonido

Los ensayos fueron realizados a dos testigos tomados de la infraestructura del PGA, Pila 21 y Pila 22, y a un testigo tomado de la superestructura del PGA, viga transversal sobre estribo uruguayo.

Los testigos extraídos de las distintas columnas y viga transversal fueron sometidos a ensayos de compresión y de ultrasonido para determinar la resistencia y rigidez del hormigón.

Los resultados, dados en el Apéndice I (Informe del Laboratorio de Estructuras) indican que la resistencia a compresión del hormigón media es de 420 kg/cm², con un valor mínimo de 259 kg/cm², correspondiente a la muestra tomada de la viga transversal sobre el estribo uruguayo. La velocidad de propagación de pulsos de ultrasonido dio un valor medio de 4059 m/s, con un valor mínimo de 3780 m/s.

Si se calcula la constante de correlación ente el módulo elástico del hormigón obtenido a partir de la velocidad de propagación medida en los ensayos y la resistencia a compresión utilizando la expresión empírica:

$$E = C (\sigma_r)^{1/2}$$

Para una densidad $\rho = 2.5 \text{ t/m}^3$ y un módulo de Poisson $\nu = 0.2$, se obtiene un módulo elástico $E = 396900 \text{ kg/cm}^2$, y la constante resulta $C = 19367$. Este valor está comprendido en el rango entre los límites habituales de 19000 a 21000.

Como conclusión de estos ensayos surge que el hormigón presenta valores compatibles con la función estructural que le corresponde en las estructuras del puente.

3.2.2 Estudio petrográfico

El estudio se practicó en dos testigos extraídos del extremo inferior de las pilas del puente. Se procedió al corte y pulido para observación con lupa y una sección delgada para observación microscópica con luz polarizada.

3.2.2.1 Procedimientos de observación

Para la observación macroscópica se procedió de la siguiente manera:

- i) Se cortó transversalmente el testigo y se procedió al pulido con esmeriles especiales.
- ii) Se definieron bajo la lupa los puntos a observar.
- iii) Se detectaron discontinuidades rellenas con gel solidificado.
- iv) Se observó la composición del agregado.

Para la observación microscópica se procedió de la siguiente manera:

- i) Preparación de sección delgada del hormigón del testigo.
- ii) Análisis petromineralógico de la sección delgada.
- iii) Detección de discontinuidades rellenas con gel solidificado.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

3.2.2.2 Resultados

Componentes mineralógicos del agregado

Se estudiaron dos testigos tomados de las columnas circulares del puente. Una primera muestra tomada de la Pila 23 en la zona no sometida al contacto frecuente con el agua del río, y otra en zona inundable con frecuencia en la Pila 5. Respecto a los componentes mineralógicos de los agregados, en ambos testigos resultaron los siguientes:

- *Agregado grueso:*
 - Basaltos
 - Cuarzo criptocristalino
 - Hematitas y magnetitas congloméricas.
 - Calcedonias radiales
 - Calcedonias masivas
 - Areniscas de grano fino

- *Agregado fino:*
 - Cuarzo criptocristalino
 - Cuarzo normal
 - Calcedonias

Observaciones

Testigo de la Pila 23:

- Presencia de discontinuidades: Las discontinuidades son perigranulares y muy escasas, sin fisuras que rompan el agregado y lo atraviesen. El ancho de las discontinuidades medidas varía entre 0.445 mm y 0.113 mm.
- Presencia de minerales potencialmente reactivos, ordenados de mayor a menor grado de reactividad:
 - a) Calcedonias radiales
 - b) Calcedonias masivas
 - c) Cuarzo criptocristalino
- Presencia de componentes minerales cuyas resistencias mecánicas son muy diferentes. Por un lado hay abundancia de minerales ricos en silicatos duros (cuarzo, cuarzoes criptocristalinos, calcedonias, basaltos), y por otro lado materiales como areniscas de grano fino con componentes limosos, basaltos alterados y óxidos de hierro (hematita + magnetita) conglomerádicos.
- No se ha podido observar el comienzo de la reacción que genera el gel que luego se solidifica, pero a la luz del contenido de silicio inestable, ésta se habría



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

originado en la fracción fina. Hay abundante calcedonia en el agregado fino con ejemplares de 100 micras, y cuarzos criptocristalinos de sólo 18 micras en su mayor dimensión.

Testigo de la Pila 5:

- Presencia de discontinuidades: Estas son incipientes, perigranulares. No atraviesan el agregado y no se le puede asignar un ancho de fisura.
- Se observan los mismos minerales potencialmente reactivos indicados en el testigo de la Pila 23. No se ha podido detectar el comienzo de la reacción que genera el gel, pero a la luz del contenido de silicio se habría originado en la fracción fina de los agregados de esa composición.
- Hay cuarzos criptocristalinos que sólo alcanzan 21 micras en su dimensión mayor.

Las fotografías de las observaciones macroscópicas y microscópicas de ambos testigos están dadas en el Anexo I.

Conclusiones del análisis de los testigos

El análisis realizado de los testigos de hormigón permite arribar a las siguientes conclusiones:

- Los áridos del hormigón presentan significativas cantidades de minerales potencialmente reactivos tales como calcedonia y cuarzo criptocristalino, tanto en los agregados gruesos como en los finos, como así también componentes mineralógicas muy diferenciadas en naturaleza y rigidez tales como basaltos y areniscas.
- Ambos testigos de hormigón estudiados presentan fisuras perigranulares que no atraviesan los granos. En uno de ellos las fisuras están rellenas de gel de la reacción, posiblemente producida durante el proceso de fragüe y tienen un ancho variable de 0.45 mm y 0.11 mm. En el otro testigo las fisuras son sólo incipientes y no se puede asignar un valor al ancho de las mismas.
- Los resultados de los análisis petrográficos sugieren que las fisuras verticales que se observan en las columnas circulares de los viaductos podrían ser debidas a una expansión diferencial del hormigón en el interior de la sección de las columnas poco después del llenado de las columnas. La profundidad de esas fisuras hacia el interior de la columna se analiza por separado en el presente informe. La ausencia de fisuras en el revestimiento de mortero en aquellas columnas protegidas con este tipo de recubrimiento superficial sugieren que el proceso de fisuración no ha progresado desde que se introdujo esa protección, y que se encuentra detenido al menos en los sectores de la estructura expuestos.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

3.3 Análisis de los ensayos No Destructivos realizados al puente

En el presente apartado se presenta el análisis de los resultados obtenidos de los ensayos no destructivos realizados a la estructura del PGA. Los ensayos no destructivos que se realizaron como motivo de la inspección detallada a la estructura del PGA fueron los siguientes: *determinación de la profundidad de carbonatación, determinación del recubrimiento e integridad del hormigón (Pulso – Eco)*.

A continuación se presenta el análisis para cada uno de los ensayos realizados a la estructura del PGA.

3.3.1 Profundidad de Carbonatación

Se realizaron un total de 28 ensayos de carbonatación a la estructura del PGA, tanto a los elementos que componen la infraestructura como a los elementos que componen la superestructura. Los ensayos se realizaron de forma aleatoria a fin de asegurar una muestra homogénea. En las planillas de relevamiento se encuentran consignados los puntos de ensayo a lo largo de todo el puente.

Como resultado de los ensayos de carbonatación a los distintos elementos que componen la infraestructura y superestructura del PGA, se concluye que la estructura no presenta carbonatación. Las profundidades medidas en los distintos ensayos realizados arrojaron un valor igual a cero en su totalidad.

De esta manera se concluye que el hormigón del puente no ha sido atacado por los agentes ambientales, y la protección contra la corrosión de las armaduras es adecuada.

3.3.2 Recubrimiento de la Estructura

Tal como se indicó en el informe de relevamiento, se realizaron ensayos con el pachómetro para determinar el espesor del recubrimiento de armaduras en 22 de las 46 pilas que componen la infraestructura del PGA. En un total de 26 ensayos se obtuvo un recubrimiento promedio de 3,10 cm de espesor. Este valor surge de un análisis y depuración de los resultados de los ensayos realizados. Los valores para cada uno de los puntos de los ensayos se encuentran consignados en las planillas de relevamiento del PGA.

Para la determinación del recubrimiento de los elementos de la superestructura se realizaron ensayos en 13 vigas, de los cuales se obtuvo un recubrimiento promedio de 2,0 cm de espesor, siendo los valores mínimos y máximos obtenidos de 1,0 cm (viga cajón del puente principal) y 2,5 cm, respectivamente.

La aplicación del pachómetro sobre la superestructura (vigas principales) a lo largo de todo el puente permite concluir que el recubrimiento promedio para las varillas principales es de 2,0 cm. Este resultado es adecuado, teniendo en cuenta que los elementos pretensados del tablero se fabricaron en playones en donde la fabricación en serie tiene mayor control y calidad constructiva que los elementos que se cuelan “in-situ”.

En algunas mediciones de recubrimiento en vigas se obtuvieron valores de recubrimiento menores 1,0 cm, lo que se considera, en general, un valor reducido dada la importancia de los



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

elementos investigados (vigas principales). Sin embargo, la ausencia de carbonatación del hormigón (obtenida con el ensayo de fenolftaleína), permite concluir que este reducido espesor de recubrimiento no es por ahora un problema para proteger las armaduras del puente. Esto se confirma, además, por la ausencia de manchas de corrosión o reventones de recubrimiento que se habrían observado si las armaduras estuvieran sufriendo procesos corrosivos como consecuencia de un escaso recubrimiento que permite el ingreso de humedad en la estructura.

3.3.3 Integridad del hormigón

Los resultados obtenidos de los ensayos de propagación de onda tipo Pulso – Eco realizados a los diferentes elementos de la estructura del PGA se utilizan para conocer la integridad y calidad del hormigón de los elementos estructurales. Este ensayo consiste en medir las velocidades de propagación de onda en la masa de hormigón. Se investigaron numerosos puntos de la superestructura e infraestructura, tal como se detalla en las planillas de relevamiento del presente proyecto.

Los resultados obtenidos muestran que el hormigón es de buena calidad, especialmente en vigas en donde se registraron altas velocidades de propagación, lo que se corresponde con elevados módulos de elasticidad y, por consiguiente, con elevadas resistencias del concreto. Los resultados de estos ensayos, se utilizaron para la caracterización de los modelos numéricos, elaborados para estudiar el comportamiento del puente en su conjunto.

En la infraestructura se estudiaron 43 de las 46 pilas que hay el PGA, en total se realizaron 57 ensayos donde se determinó la velocidad de propagación de onda del hormigón. La infraestructura del viaducto uruguayo (9 de los 57 ensayos) arrojó un valor promedio de propagación de onda igual a 4442 m/s, siendo el valor mínimo y máximo, 3815 m/s y 4548 m/s respectivamente. La infraestructura del puente principal (12 de los 57 ensayos) arrojó un valor promedio de propagación de onda igual a 4283 m/s, siendo el valor mínimo y máximo, 4079 m/s y 5423 m/s respectivamente. La infraestructura del viaducto argentino (36 de los 57 ensayos) arrojó un valor de propagación de onda promedio igual a 4978 m/s, siendo el valor mínimo y máximo, 4667 m/s y 5353 m/s respectivamente.

En la superestructura del PGA se realizó un total de 36 ensayos. Se estudiaron 18 de los 47 tramos que componen la superestructura del PGA. La superestructura del viaducto uruguayo (en donde se realizaron 12 de los 36 ensayos) arrojó un valor promedio de propagación de onda igual a 4122 m/s, siendo el valor mínimo y máximo, 3946 m/s y 4227 m/s respectivamente. La superestructura del puente principal (14 de los 36 ensayos) arrojó una velocidad de propagación de onda promedio igual a 3474 m/s, siendo el valor mínimo y máximo igual a 3115 m/s y 3760 m/s respectivamente. La superestructura del viaducto argentino (11 de los 36 ensayos realizados) arrojó un valor promedio de propagación de onda igual a 4519 m/s, siendo el valor mínimo y máximo igual a 4199 m/s y 4433 m/s respectivamente.

Los valores medidos de velocidad de propagación presentan poca dispersión con respecto a la media lo que indica la homogeneidad de la calidad del hormigón a lo largo de todo el puente. En el Anexo II del presente informe se encuentra un resumen de las



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

velocidades de propagación de onda y graficas que ilustran las mediciones realizadas a la estructura del PGA.

A partir de las velocidades de propagación de onda medidas, se puede obtener el módulo de elasticidad para caracterizar el hormigón de la infraestructura y superestructura del PGA a partir de la siguiente expresión:

$$E = \gamma \times v_s^2$$

donde:

γ = densidad del hormigón = 0,255 tn/m³

v_s = velocidad promedio de propagación de onda medida (m/s)

De acuerdo a esta expresión, se adoptó un valor promedio para utilizar en el análisis estructural del puente el siguiente valor de módulo elástico:

$$E = 4500000 \text{ tn/m}^2$$

El valor anterior surge de hacer un promedio de las mediciones obtenidas a lo largo de todo el puente, eliminando las lecturas que surgen como erróneas, a la luz de los resultados globales del ensayo. Este valor resulta mayor que el valor obtenido a través de los ensayos realizados a los testigos extraídos de la infraestructura del PGA (apartado 3.2), sin embargo, el mismo se adopta, a la luz de que la muestra estudiada en los ensayos de integridad del hormigón realizados insitus es mayor que la estudiada en el caso de los testigos extraídos y ensayados en laboratorio.

3.3.4 Determinación de la Profundidad de Fisuras

Para complementar el estudio de las fisuras observadas en las columnas que conforman la infraestructura del PGA, se realizaron mediciones de profundidad de fisura en siete pilas ubicadas sobre el viaducto argentino (Pila 24, Pila 37, Pila 44, Pila 25, Pila 26, Pila 30 y Pila 37). Los resultados de las mediciones realizadas se presentan en la Tabla 1 del presente informe.

Pila	Columna	Profundidad de fisura [mm]
24	2	40
37	1	29
37	2	23
44	1	55
25	2	36
25	2	37
25	1	42
26	1	41
26	1	35
30	1	40



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Pila	Columna	Profundidad de fisura [mm]
30	1	56
37	1	46

Tabla 1. Resultados del ensayo de determinación de profundidad de fisura en la infraestructura del PGA.

Como se observa en los valores de la Tabla 1 la profundidad de las fisuras observadas en las pilas que conforman los viaductos del PGA presentan un valor máximo de 56 mm (Pila 30 – Columna 1) y un valor mínimo de 23 mm (Pila 37 – Columna 2), mientras que el recubrimiento promedio ha relevado un valor igual a 31 mm, y valores máximos de 40 mm. Por lo tanto se concluye que las fisuras que presenta la infraestructura del PGA sólo comprometen el recubrimiento de las columnas, y que la armadura de confinamiento se encuentra cumpliendo su función de controlar el avance de las fisuras.

3.4 Modelos Numéricos del PGA

Para la evaluación del comportamiento estructural del PGA se desarrollaron modelos numéricos para el Puente Principal y los viaductos uruguayo y argentino, utilizando el software de elementos finitos Sap2000 en su versión 10.0.1. Se realizaron tres modelos numéricos para estudiar el comportamiento del PGA: uno, correspondiente a los tres tramos principales (viga cajón), un segundo modelo para los tramos simplemente apoyados del viaducto uruguayo y un tercer modelo para los tramos de viga continua que se presentan en el viaducto argentino.

Mediante ligeras variaciones en las propiedades mecánicas (cuyos valores teóricos son difíciles de establecer en forma precisa) de los elementos de apoyo se constató que los modelos numéricos arrojan frecuencias naturales de vibración muy próximas a las medidas con los ensayos vibratorios en las diferentes estructuras, tal como se describe en el apartado 3.3.4. Esto demuestra que el comportamiento mecánico-estructural de las distintas partes del puente está de acuerdo con las propiedades previsibles según dimensiones y calidad de los materiales, es decir confirmando que el comportamiento observado es el que debía esperarse.

Para cada una de las estructuras, puente principal, viaducto uruguayo y viaducto argentino, se desarrollaron además de los modelos arriba mencionados, modelos numéricos simplificados, que presentan una geometría más simple. Estos modelos simplificados se utilizaron para control de los modelos numéricos principales completos y más complejos. Los resultados obtenidos entre los modelos numéricos completos y los simplificados, resultaron similares con pequeñas diferencias, atribuibles a las características de las distintas formulaciones utilizadas. De este modo se consiguió un análisis que arroja resultados confiables para el análisis y evaluación del puente.

Para cada uno de los modelos se realizaron consideraciones particulares tales como disminución de rigidez por presencia de fisuras en pilas de apoyo, módulos de elasticidad, ubicación de las masas dentro de la geometría del modelo, rigideces de apoyo, entre otros parámetros, de acuerdo a los resultados del relevamiento de detalle realizado como parte de



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

este proyecto. A continuación se describe cada uno de los modelos numéricos desarrollados para el PGA.

3.4.1 Modelo del puente principal – PGA

El puente principal del PGA (tramos 11, 12 y 13), presenta una viga continua de sección cajón de inercia variable, tal como se observa en el esquema presentado en la Figura 18. Los apoyos extremos, sobre la Pila 10 y Pila 13, están resueltos mediante bielas de hormigón armado que permiten movimientos horizontales. La viga cajón se encuentra empotrada en los apoyos intermedios, Pila 11 y Pila 12. El tramo central del puente presenta una luz igual a 134,00 m, entre ejes de pilas, y los tramos extremos una luz igual 95,70 m, desde el eje de pila hasta el extremo de la viga cajón. De este modo la longitud total del puente principal es de 329,00 m.

Las Pilas 11 y 12 del puente principal se encuentran formadas por dos pantallas de 6,00 m de ancho por 1,00 m de espesor, y presentan una altura, desde el cabezal hasta la cara inferior de la viga cajón, igual a 23,00 m. Las pilas 10 y 13 se encuentran conformadas por una sección cajón de 9,40 m por 3,90 m, y presentan una altura, desde el cabezal hasta el extremos superior donde se apoya la biela de hormigón, igual a 25,00 m.

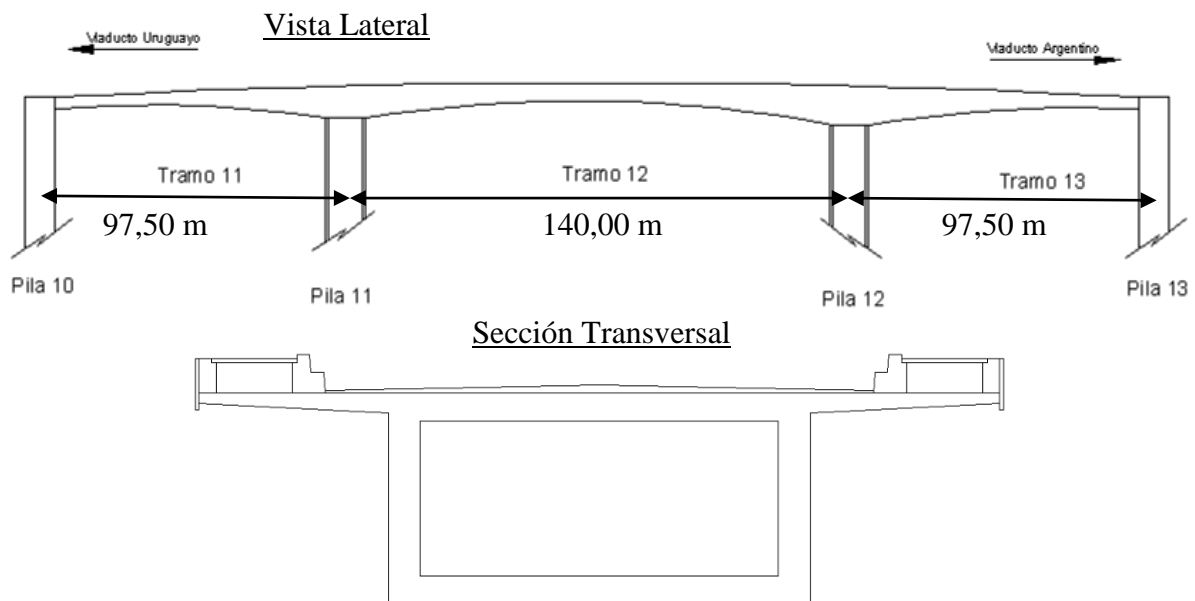


Figura 18. Esquema del Puente Principal – PGA. Se distingue la sección de inercia variable a lo largo del desarrollo de la estructura. Se presenta una vista lateral y un corte transversal.

La modelación numérica del puente principal se realizó utilizando elementos de placa para representar la sección geométrica de la viga cajón. Para lograr buenos resultados, se discretizó la geometría de la viga en 34 tramos, respetando las 35 secciones que se presentan en los planos de proyecto del PGA. Los espesores de las paredes laterales de la viga cajón varían tanto en su altura como en su desarrollo longitudinal, el espesor de la cara inferior de la viga cajón también es variable a lo largo de la longitud del puente. Todas estas variaciones



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

de espesores se tuvieron en cuenta gracias a la discretización de elementos utilizados en el modelo completo.

En la geometría del modelo numérico se respetó la curvatura de la cara inferior de la viga cajón. En la Figura 19 se presenta una imagen del modelo número realizado para el puente principal del PGA.

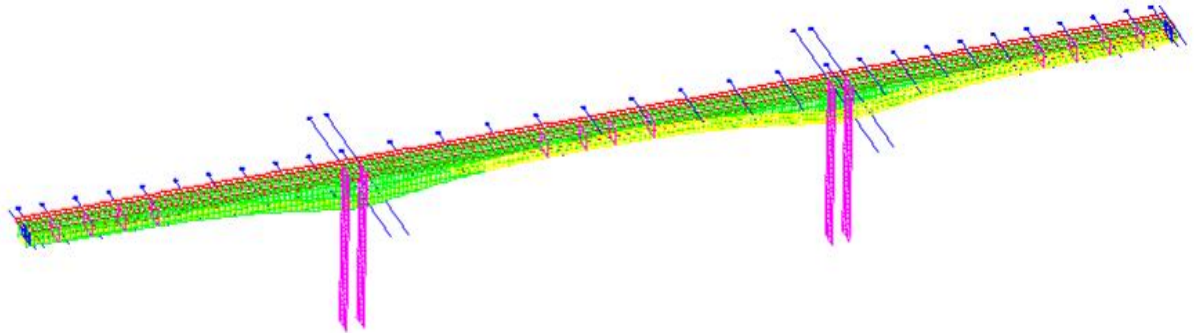


Figura 19. Modelo numérico desarrollado para el puente principal del PGA. Las líneas azules que se observan en el modelo representan las 36 secciones tomadas.

Las pilas intermedias, Pila 11 y 12, se incluyeron en el modelo para captar el grado de empotramiento real que las mismas ejercen sobre la viga del tablero. Además, esto permite simular correctamente la rigidez longitudinal y vertical del puente. Las pilas extremas, Pila 10 y 13, se consideraron aplicando un apoyo en los extremos de la viga cajón que permite los desplazamientos en el sentido longitudinal del puente. Las pilas se representaron empotradas en su base, considerando que las fundaciones de las mismas restringen los giros de las pantallas que conforman las pilas, dada la rigidez relativa de los cabezales frente a los tabiques.

El modelo numérico presenta una longitud de 331,70 m, valor igual a la longitud entre ejes de apoyo extremos (bielas de hormigón armado). La longitud total de las pilas se tomó desde su extremo superior hasta el eje de los cabezales, resultando así una longitud total igual a 35,11 m.

Para la modelación numérica del puente principal se adoptaron las siguientes propiedades referidas a los materiales:

- Módulo de Elasticidad $E = 4\,500\,000 \text{ t/m}^2$
- Peso Específico $\gamma = 2,5 \text{ t/m}^3$
- Densidad $\rho = 0,255 \text{ t/m}^3$

En el modelo, la inercia, peso y masa de las diferentes secciones se tienen en cuenta automáticamente por el software de análisis, a partir de las propiedades geométricas de cada uno de los elementos que representan la estructura del viaducto.

En el modelo se consideró el aporte de rigidez de las veredas debido a que los detalles constructivos muestran una importante armadura de vinculación a los losa del tablero. Esto se



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

incorporó en el modelo a través del espesor de los elementos de placa extremos, que representan los voladizos de la vereda.

Se contemplaron en el modelo numérico las masas y pesos correspondientes a las sobrecargas de calzada, vereda y baranda. Las masas y pesos fueron colocados en correspondencia con las posiciones que ocupan dentro de la sección transversal del puente.

Además del modelo arriba descrito, se realizó un modelo numérico simplificado, que presentan una geometría más simple, realizado con elementos de viga a los cuales se les asignaron las propiedades seccionales del puente principal. Dicho modelo simplificado fue utilizado como control del modelo numérico desarrollado con elementos de placa. Los resultados obtenidos entre el modelo numérico con elementos de placa y el modelo numérico simplificado fueron similares, con diferencias reducidas, lo que valida los resultados que se exponen en este informe. En la Figura 20 se observa una imagen del modelo simplificado.



Figura 20. Modelo simplificado del Puente Principal – PGA.

3.4.2 Modelación del Viaducto Uruguayo

El viaducto uruguayo del PGA, tramos 1 a 10, se encuentra resuelto mediante tres vigas principales de sección “I”, de inercia constante. El viaducto presenta vigas transversales sobre los apoyos y tres vigas transversales intermedias a los tramos. Los apoyos se materializan sobre placas de neopreno de 30 x 50 x 2,8 cm que descansan sobre los dinteles de las pilas. La longitud total de las vigas principales es de 45,91 m. Las pilas del viaducto uruguayo se encuentran conformadas por dos columnas de sección circular de diámetro igual a 1,50 m, con una viga dintel en su extremo superior. En la Figura 21 se observa una vista lateral de la estructura y un corte transversal de la misma.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

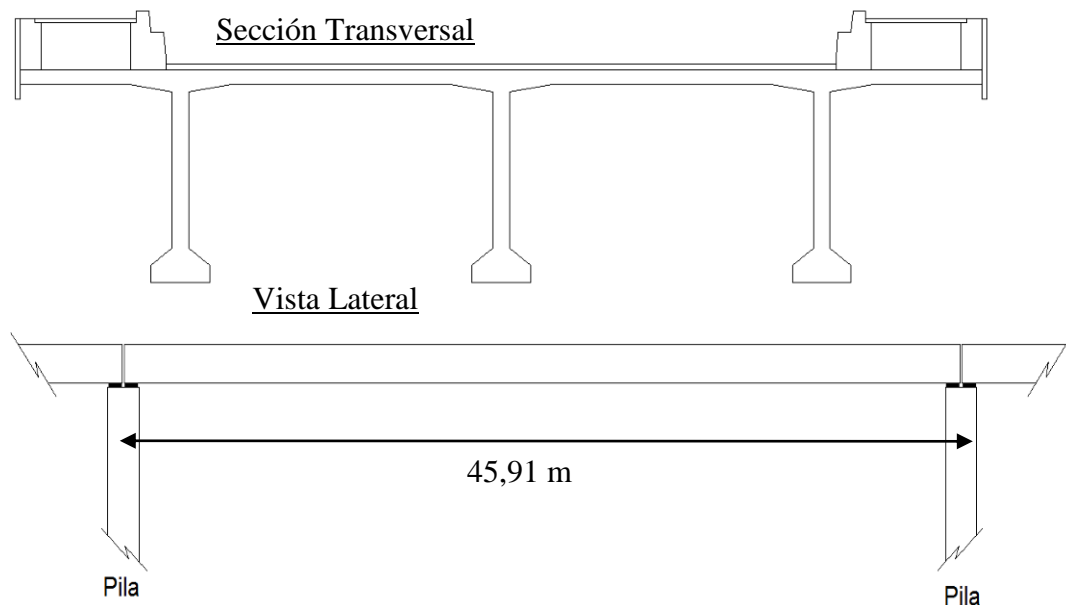


Figura 21. Esquema general del Viaducto Uruguayo – PGA. Se presenta un corte transversal y una vista lateral de la estructura.

El modelo numérico del viaducto uruguayo se realizó con elementos de barra a los cuales se les asignaron las propiedades seccionales de las vigas principales de la estructura. Se consideró el aporte de rigidez que brindan las veredas peatonales a ambos lados de la estructura, mediante coeficientes de mayoración que se aplicaron a los momentos de inercia de los elementos que representan las vigas principales extremas del modelo. Se dispusieron barras transversalmente a las vigas principales que representan las vigas transversales de la estructura. También se colocaron elementos de barra, perpendiculares a las vigas longitudinales, que representan la losa de tablero, dichos elementos presentan su rigidez torsional disminuida dada la superposición de elementos longitudinales y transversales. La longitud de las vigas principales es igual a 45,52 m, valor igual a la longitud entre ejes de apoyo de la estructura.

Dado el esquema estático que presenta la estructura del viaducto uruguayo, tramos simplemente apoyados, solo se modeló uno de los tramos. En la Figura 22 se observa una imagen del modelo numérico desarrollado para la estructura del viaducto uruguayo.

En las consideraciones del momento de inercia de las vigas principales se tuvo en cuenta el aporte de rigidez de las armaduras convencionales y tesadas a través del cálculo de las áreas homogéneas de cada sección. Se estimó que la contribución de las armaduras a la inercia total de la sección es de un 10%. Este factor resultó importante para la calibración de los modelos con los resultados de los ensayos dinámicos realizados.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

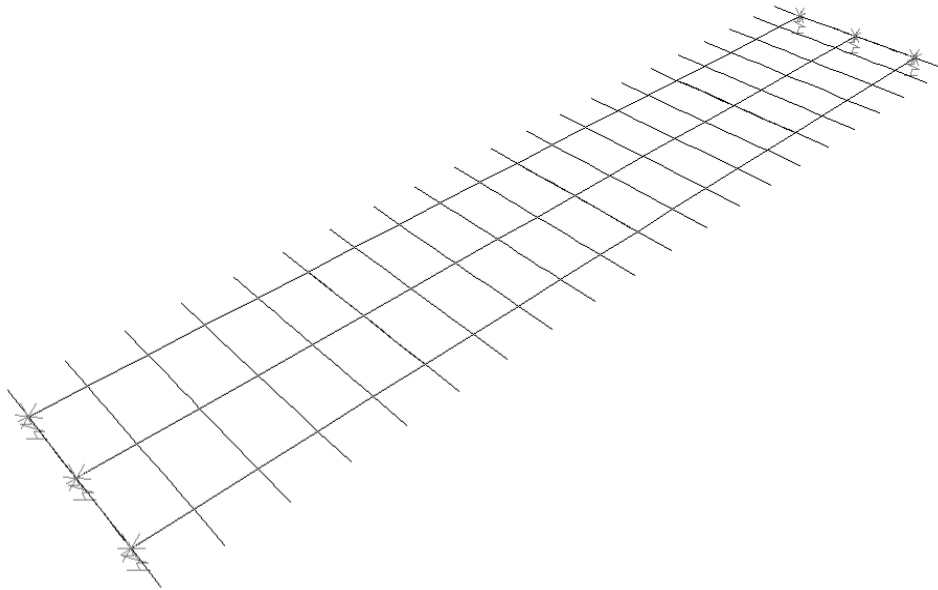


Figura 22. Modelo numérico Viaducto Uruguayo – PGA.

Los dispositivos de apoyo se modelaron mediante resortes elásticos y lineales, teniendo en cuenta la rigidez vertical de las placas de neopreno. Dado el alto grado de confinamiento que presentan las placas de neopreno se considera que el neopreno es prácticamente incompresible, por lo que se asumió un módulo de Poisson elevado ($\nu \approx 0,45$). Este criterio se funda en el buen estado de los aparatos de apoyo relevados en el viaducto. A partir de estas consideraciones se estimó la rigidez vertical de los dispositivos de apoyo mediante las dimensiones seccionales de las placas que se hallan indicadas en los planos, adoptándose un valor de $K = 25000 \text{ t/m}$.

Para la modelación numérica del viaducto uruguayo se adoptaron las siguientes propiedades referidas a los materiales:

- Módulo de Elasticidad $E = 4\,500\,000 \text{ t/m}^2$
- Peso Específico $\gamma = 2,5 \text{ t/m}^3$
- Densidad $\rho = 0,255 \text{ t/m}^3$

En el modelo, la inercia, peso y masa de las diferentes secciones se tiene en cuenta automáticamente por el software de análisis, a partir de las propiedades geométricas de cada uno de los elementos que representan la estructura del viaducto.

Se contemplaron en el modelo numérico las masas y pesos correspondientes a las sobrecargas de calzada, vereda y baranda. Las masas y pesos fueron colocados en correspondencia con las posiciones que ocupan dentro de la sección transversal del viaducto con el objeto de captar el comportamiento real de la estructura.

3.4.3 Modelación del Viaducto Argentino

El viaducto argentino del PGA, tramos 14 a 56, se encuentra resuelto mediante una viga principal continua cada dos tramos (longitud de viga = 92 m, longitud de tramo = 46 m), de sección transversal tipo “Pi” de inercia constante. El viaducto no presenta vigas transversales. Las vigas principales descansan en las pilas con junta de dilatación a través de paquetes de neopreno de 39 x 39 x 8 cm. En los apoyos intermedios (donde el puente es continuo) la viga está vinculada con las columnas en sus dos nervios.

Las pilas del viaducto argentino se encuentran conformadas por dos columnas de sección circular de diámetro igual a 1,50 m, sin viga dintel y con una riostra transversal a media altura. En la Figura 23 se observa una vista lateral de la estructura y un corte transversal de la misma.

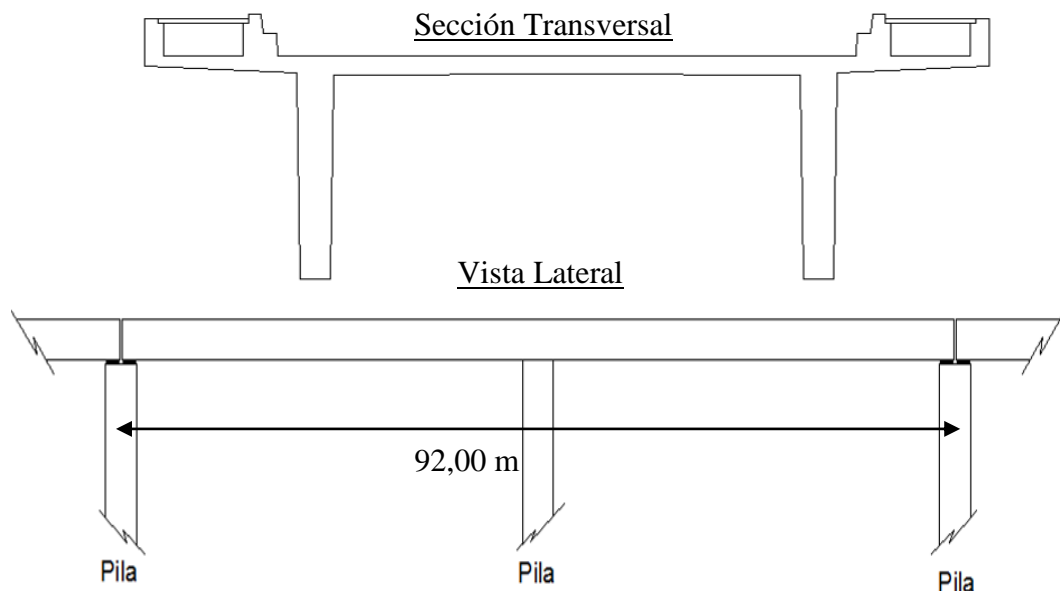


Figura 23. Esquema general del Viaducto Uruguayo – PGA. Se presenta un corte transversal y una vista lateral de la estructura.

El modelo numérico del viaducto argentino se realizó con elementos de barra a los cuales se les asignaron las propiedades seccionales de las vigas principales de la estructura. Se consideró el aporte de rigidez que brindan las veredas peatonales a ambos lados de la estructura ya que los planos de proyecto muestran una importante armadura de vinculación entre la losa superior del tablero y los cordones de vereda. Se dispusieron barras perpendiculares a las vigas principales para representar la losa de tablero.

Dado el esquema estático que presenta la estructura del viaducto uruguayo, vigas continuas de dos tramos, solo se modeló una viga típica, con la geometría descrita más arriba. En la Figura 24 se observa una imagen del modelo numérico desarrollado para la estructura del viaducto argentino.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

En las consideraciones del momento de inercia de las vigas principales se tuvo en cuenta el aporte de rigidez por la presencia de las armaduras, convencionales y tesadas, mediante el cálculo de las áreas homogéneas de cada sección. Para el viaducto argentino, la contribución de las armaduras a la inercia total de la sección fue del orden del 5%.

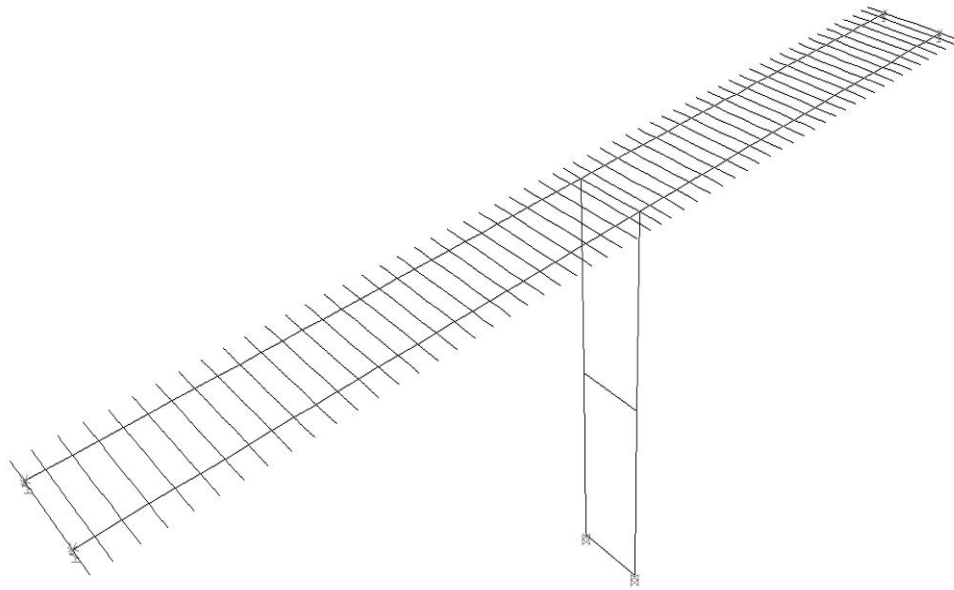


Figura 24. Modelo numérico Viaducto Uruguayo – PGA.

Se modeló la pila que materializa el apoyo intermedio de las vigas continuas, ya que la misma se encuentra vinculada por armaduras a las vigas de tablero. De esta manera se incluye en el modelo el vínculo real que existe entre las pilas y la viga, lo que permite considerar automáticamente las rigideces relativas de estos elementos y su incidencia en el comportamiento del conjunto. Se disminuyó la rigidez de la pila en un 50 %, a fin de contemplar las fisuras verticales que se observan en la misma.

Los dispositivos de apoyo extremos se modelaron mediante resortes elásticos y lineales teniendo en cuenta la rigidez vertical de las placas de neopreno. Dado el alto grado de confinamiento que presentan las placas de neopreno se considera que el neopreno es prácticamente incompresible, por lo que se asumió un módulo de Poisson elevado ($\nu \approx 0,45$). Este criterio se funda en el buen estado de los aparatos de apoyo relevados en el viaducto. Se estimó la rigidez vertical de los dispositivos de apoyo mediante las dimensiones seccionales de las placas, adoptándose un valor de $K = 20000 \text{ t/m}$.

Para la modelación numérica del viaducto uruguayo se adoptaron las siguientes propiedades referidas a los materiales:

- Módulo de Elasticidad $E = 4\,500\,000 \text{ t/m}^2$
- Peso Específico $\gamma = 2,5 \text{ t/m}^3$



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

- Densidad $\rho = 0,255 \text{ t/m}^3$

En el modelo, la inercia, peso y masa de las diferentes secciones se tiene en cuenta automáticamente por el software de análisis, a partir de las propiedades geométricas de cada uno de los elementos que representan la estructura del viaducto.

Se contemplaron en el modelo numérico las masas y pesos correspondientes a las sobrecargas de calzada, vereda y baranda. Las masas y pesos fueron colocados en correspondencia con las posiciones que ocupan dentro de la sección transversal del viaducto con el objeto de captar el comportamiento real de la estructura.

3.5 Análisis de resultados de ensayos dinámicos

El objetivo de la presente campaña de ensayos dinámicos es determinar experimentalmente el comportamiento estructural del puente a través de la medición de las frecuencias naturales de la superestructura del puente. El alcance de los ensayos vibratorios comprende todos los tramos del puente principal y un muestreo de las diferentes configuraciones estructurales de los viaductos de acceso.

3.5.1 Procedimiento de ensayo

El procedimiento de ensayo consiste en aplicar un impulso vertical en tablero del puente y registrar la respuesta con acelerómetros. Con el objeto de excitar tanto los modos predominantemente flexionales como los de torsión del tablero, los impulsos se aplican en forma alternativa en correspondencia con el eje del puente en la sección central y otras intermedias del vano ensayado, y en correspondencia con una de las veredas. Para ambos tipos de sollicitaciones se registran las aceleraciones en ambos costados del puente.

El dispositivo de aplicación del impulso está ilustrado en la Figura 25. Consiste en un marco que sirve de guía al desplazamiento vertical de una masa que se deja caer en forma libre sobre el tablero. El contacto de la masa con el tablero del puente se produce a través de un conjunto amortiguador-resorte que transmite componentes armónicas de frecuencia relevante para el objetivo de detectar los principales modos naturales de vibración, es decir aquellos modos más susceptibles de ser excitados por los vehículos que circulan por el puente. La determinación experimental de estas frecuencias permite establecer con la ayuda del modelo numérico del puente, si la rigidez de la estructura es consistente con las dimensiones de las componentes estructurales y las propiedades mecánicas del hormigón medidas a través de ensayos locales de propagación de ondas mecánicas. El procedimiento de ensayos no destructivos del hormigón se presenta en sección aparte del presente informe, apartado 3.3.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”



Figura 25. Dispositivo de aplicación de la carga dinámica

Los registros de aceleración de cada grupo de mediciones en cada sector ensayado son procesados a través del cálculo de la transformada de Fourier, cuya amplitud normalizada es promediada entre los distintos registros tomados en iguales condiciones de excitación y de localización. De esta manera, a través de los picos del espectro de amplitud de Fourier se identifican las principales frecuencias naturales de los modos naturales de flexión y de torsión de los distintos sectores del puente y de los viaductos.

A los efectos de evaluar los resultados de los ensayos dinámicos se generó un modelo numérico de ambos puentes y sus respectivos viaductos. Los detalles de dichos modelos están consignados en el apartado 3.3.4 del presente informe.

3.5.2 Resultados de los ensayos dinámicos

Las Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4 contienen las principales frecuencias naturales de los distintos sectores de la estructura determinados a través de los ensayos dinámicos, con una indicación del tipo de impacto que generó cada uno de los valores consignados. Los registros detallados de cada impacto y de la respuesta de la estructura con la respectiva nomenclatura utilizada están dados en el Anexo V. Todos los registros cuya designación finaliza con el dígito “1” corresponden a impacto centrado en el eje del puente, mientras que los que finalizan con “2” corresponden a impacto excéntrico.

Las Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4, presentan tanto los valores de las frecuencias naturales identificadas en cada sector del puente principal como de los viaductos de acceso. En cada caso, por ejemplo en el puente principal, o en los tramos de igual tipo de tamo del viaducto, se indican los valores medios, desviación estándar y coeficiente de variación de las respectivas frecuencias a los efectos de ilustrar sobre la dispersión de los respectivos valores de las frecuencias. La dispersión de las mediciones permite cuantificar las diferencias locales entre los distintos sectores cuyas frecuencias se espera que sean iguales, y por comparación



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

con similares mediciones en puentes de reciente construcción y exhaustivo control de obra representan un índice del comportamiento mecánico de la estructura.

En la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7, se presentan los modos y frecuencias fundamentales de vibración para las distintas estructuras que componen el PGA, obtenidos a partir de los modelos numéricos.

Sobre los resultados consignados en la Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4 pueden formularse las siguientes observaciones:

Puente Principal:

- La frecuencia natural más baja detectada de 1.6 Hz sólo aparece en dos series de registros (PP-S41 y PP-S42). Con la asistencia del modelo numérico se puede comprobar que se trata de un modo natural que comprende un acoplamiento entre los desplazamientos (y aceleraciones) longitudinales del puente con los verticales en los extremos de uno de los voladizos del puente principal. La única manera de excitar ese modo es mediante el frenado de vehículos de cierto porte que circulan por el puente, o alternativamente por el ingreso al sector del puente de dicho vehículo. En el momento de trasponer una junta transversal, y aún en condiciones de velocidad constante, las ruedas del vehículo aplican una fuerza horizontal longitudinal que excita al puente en el modo natural identificado con el modelo numérico como modo “3” (antisimétrico) indicado en la Tabla 5.
- El modo fundamental, designado como modo “1” (antisimétrico) en la Tabla 5 no presenta desplazamientos verticales y por lo tanto no podía ser detectado con los acelerómetros de componente vertical utilizados. El modo “2” (simétrico) tampoco fue movilizado por el dispositivo de carga impulsiva utilizado. Los modos 4 a 8 dados por el modelo numérico presentan una muy buena correspondencia con las frecuencias medidas dadas en la Tabla 3 para los modos “2” a “5” inclusive. Las frecuencias naturales medidas de esos modos (2,0; 3.2; 4.7 y 5.5 Hz) se corresponden bien con las calculadas (2.1; 3.3; 4.7 y 5.2/5.3 Hz) y se concluye que el comportamiento de la estructura es normal dadas su geometría y propiedades mecánicas de los materiales. Los coeficientes de variación de las frecuencias medidas en el puente principal se encuentran entre el 2% y el 6%, valores consistentes con la dispersión habitual en estructuras de este tipo en buen estado.

Viaductos de Acceso:

- Las frecuencias de los modos 1 y 2 de los viaductos del puente corresponden a la frecuencia del modo fundamental flexional y torsional, respectivamente, tanto para los tramos de viaducto del lado argentino como del uruguayo. Las frecuencias medidas de esos modos presentan un coeficiente de variación entre el 2% y el 3% para el viaducto lado uruguayo, mientras que para el lado argentino el coeficiente de variación es aún menor, entre el 1% y el 2% respectivamente para los modos 1 y 2. Estos resultados confirman el funcionamiento normal de los tramos ensayados. Los tramos ensayados de cada grupo fueron seleccionados de manera de tener muestras representativas del conjunto de cada tipo de estructura del viaducto.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

- Las tres primeras frecuencias medidas del lado uruguayo fueron 2.8, 3.2 y 6.8 Hz, mientras que las calculadas fueron 2.8, 3 y 8.7 Hz. Las tres primeras frecuencias medidas del lado argentino (vigas continuas de 2 tramos) fueron 2.8, 3.1 y 3.8 Hz, mientras que las calculadas fueron 2.8, 3.2 y 4/4.3 Hz. Estos resultados ratifican que el comportamiento observado y el esperado de los tramos de viaducto de ambos lados (argentino y uruguayo) son muy similares.

Tramo	Ubicación	Registro	Frecuencia [Hz]					
			1	2	3	4	5	6
Puente Principal	Sección central	PP-SC1	-	2,0	-	4,5	5,7	6,1
		PP-SC2	-	-	3,3	4,9	5,7	6,1
	Vano central, a 1/3 de la luz	PP-S11	-	-	3,2	5,0	5,8	6,1
		PP-S12	-	-	3,2	-	5,7	6,4
	Vano central, a 1/4 de la luz	PP-S21	-	-	3,1	-	-	6,1
		PP-S22	-	-	3,1	4,5	-	6,0
	Vano lateral, a 1/2 de la luz	PP-S31	-	-	-	4,5	5,1	-
		PP-S32	-	-	-	4,5	5,0	-
	Vano lateral, a 1/3 de la luz	PP-S41	1,6	2,0	-	-	-	6,1
		PP-S42	1,6	2,0	-	-	-	6,0
Promedio			1,6	2,0	3,2	4,7	5,5	6,1
Desviación			0,000	0,000	0,068	0,221	0,340	0,128
Coeficiente de Variación			0,000	0,000	0,021	0,047	0,062	0,021

Tabla 2. Principales frecuencias naturales medidas del puente General Artigas – Puente Principal. Se encuentran calculados el promedio la desviación y el coeficiente de variación.

Tramo	Ubicación	Registro	Frecuencia [Hz]					
			1	2	3	4	5	6
Viaducto Argentino	Tramo 15	T15-SC	2,8	3,0	3,8	5,3	-	-
	Tramo 18	T18-SC	2,8	3,1	3,8	5,7	-	-
	Tramo 23	T23-SC	2,8	3,2	3,9	5,3	-	-
	Tramo 28	T28-SC	2,8	3,1	3,9	5,3	-	-



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Tramo	Ubicación	Registro	Frecuencia [Hz]					
			1	2	3	4	5	6
	Tramo 32	T32-SC	2,7	3,1	3,8	5,2	6,7	7,4
	Tramo 36	T36-SC	2,7	3,0	3,8	5,4	6,9	7,3
	Tramo 39	T39-SC	2,8	3,1	3,9	5,8	-	-
	Tramo 43	T39-SC	2,8	3,1	3,9	5,7	7,1	7,5
Promedio			2,7	3,1	3,8	5,4	6,9	7,4
Desviación			0,033	0,054	0,048	0,225	0,214	0,106
Coeficiente de Variación			0,012	0,017	0,013	0,041	0,031	0,014

Tabla 3. Principales frecuencias naturales medidas del puente General Artigas – Viaducto Argentino. Se encuentran calculados el promedio la desviación y el coeficiente de variación.

Tramo	Ubicación	Registro	Frecuencia [Hz]					
			1	2	3	4	5	6
Viaducto Uruguayo	Tramo 2	T02-SC1	2,8	3,2	6,7	9,8	14,0	14,5
	Tramo 2	T02-SC2	2,8	3,2	6,7	-	-	-
	Tramo 5	T05-SC1	2,9	3,4	6,5	10,5	-	14,9
	Tramo 5	T05-SC2	2,9	3,3	6,2	-	-	-
	Tramo 8	T08-SC1	2,8	-	6,6	9,8	-	14,9
	Tramo 8	T08-SC2	2,8	3,3	-	-	-	15,0
	Tramo 10	T10-SC1	2,8	-	6,8	9,4	-	15,0
	Tramo 10	T10-SC2	2,8	3,1	7,8	10,8	-	15,1
Promedio			2,8	3,2	6,8	10,0	14,0	14,9
Desviación			0,052	0,091	0,518	0,595	-	0,228
Coeficiente de Variación			0,019	0,028	0,077	0,059	-	0,015

Tabla 4. Principales frecuencias naturales medidas del puente General Artigas – Viaducto Uruguayo. Se encuentran calculados el promedio la desviación y el coeficiente de variación.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

<i>Puente Principal (PGA)</i>			
<i>Modo</i>	<i>Periodo</i>	<i>Frecuencia</i>	
1	2,8254	0,4	
2	0,908	1,1	
3	0,6124	1,6	
4	0,4818	2,1	
5	0,3018	3,3	
6	0,2125	4,7	
7	0,1909	5,2	
8	0,1872	5,3	

Tabla 5. *Modos y frecuencias naturales obtenidas con el modelo numérico del Puente General Artigas – Puente Principal.*



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Viaducto Argentino PGA			
Modo	Periodo	Frecuencia	Esquema
1	0,35	2,8	
4	0,31	3,2	
5	0,25	4,0	
6	0,23	4,3	
8	0,13	7,8	
9	0,13	7,8	



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Viaducto Argentino PGA			
Modo	Periodo	Frecuencia	Esquema
10	0,12	8,6	
11	0,11	9,0	
12	0,11	9,2	

Tabla 6. Modos y frecuencias naturales obtenidas con el modelo numérico del Puente General Artigas – Viaducto Argentino.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Viaducto Uruguayo PGA			
Modo	Periodo	Frecuencia	Esquema
1	0,352	2,8	
2	0,337	3,0	
3	0,115	8,7	
4	0,112	8,9	
5	0,107	9,3	
6	0,085	11,7	

Tabla 7. Modos y frecuencias naturales obtenidas con el modelo numérico del Puente Viaducto Uruguayo – Puente Principal.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Los modelos cuyos resultados se presentaron en este apartado se describen en detalle en el apartado 3.3.4. Estos modelos se utilizaron para realizar los análisis de descensos que se presentan más adelante en este informe y que sirven para extraer valiosas conclusiones acerca del estado de conservación general de la estructura junto con la nivelación del tablero realizada (apartado 3.7).

3.6 Verificación de las pilas de viaducto teniendo en cuenta reducción de rigidez debido a las fisuras observadas

Como consecuencia de las fisuras observadas en las columnas circulares que conforman las pilas de viaducto surge la necesidad de realizar la verificación de la capacidad portante de las mismas, habida cuenta que las fisuras halladas estarían afectando la rigidez teórica de los elementos estructurales.

Para la verificación de las columnas de las pilas de viaducto se realizaron modelos numéricos utilizando el software de elementos finitos Sap2000 en su versión 10.0.1., de donde se obtuvieron los esfuerzos máximos en las columnas. Estos modelos surgen del modelo de los viaductos de acceso descritos en el apartado 3.3.4, a los cuales se agregaron las columnas de los viaductos, tal como se observa en la Figura 26 y Figura 27. Las columnas se representaron por elementos de barras a los cuales se les asignaron las propiedades seccionales de las mismas y las restricciones que presenta cada una. Para representar las fisuras observadas en las columnas se disminuyó en un 50% la inercia de las columnas.

Para la modelación numérica de las pilas se adoptaron las siguientes propiedades a los materiales, a partir de la calibración de los modelos con los ensayos no destructivos realizados y de los antecedentes disponibles:

- Módulo de Elasticidad $E = 4\,500\,000 \text{ t/m}^2$
- Peso Específico $\gamma = 2,5 \text{ t/m}^3$
- Densidad $\rho = 0,255 \text{ t/m}^3$
- $f'_c = 3875 \text{ t/m}^2$
- $f'_c = 42000 \text{ t/m}^2$

La verificación seccional de las pilas se realizó para las columnas más altas de los viaductos, pila 9 del viaducto uruguayo (28,95 m) y pila 14 viaducto argentino (260,61m), de modo de tomar el caso más crítico del puente. Verificando estos elementos se considera que las pilas más bajas quedan también verificadas.

Las columnas se consideraron empotradas en su extremo inferior, representando de esta manera el empotramiento que confieren los cabezales de fundación a las pilas de viaducto. También la restricción al movimiento longitudinal de las pilas por medio de resortes que simulan la rigidez del puente en la dirección longitudinal del mismo.

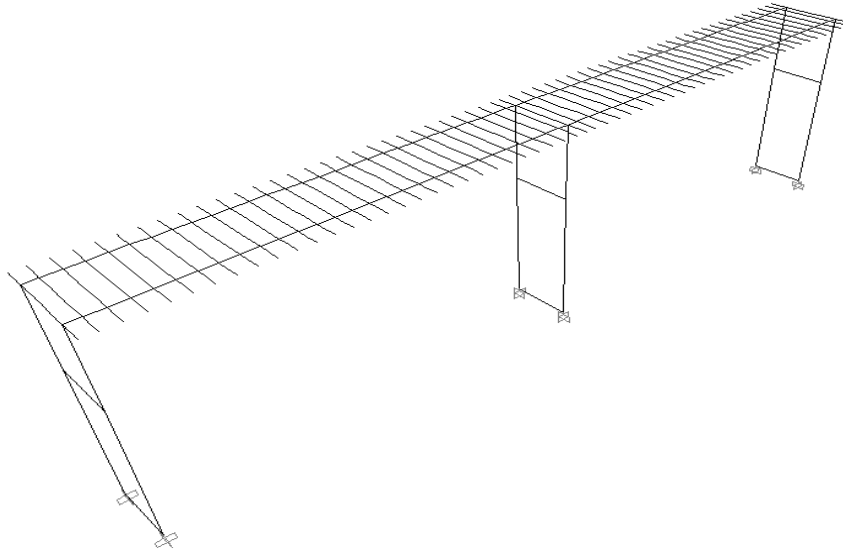


Figura 26. Modelo numérico de las pilas del Viaducto Argentino, PGA.

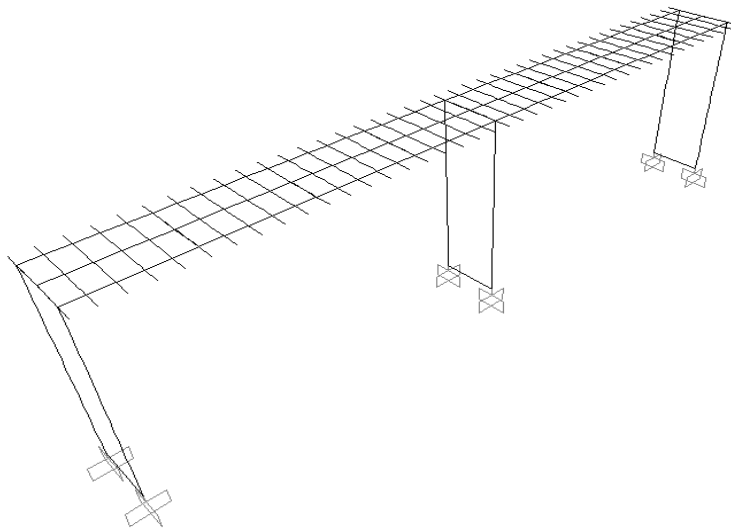


Figura 27. Modelo numérico de las pilas del Viaducto Uruguayo, PGA.

El tren de carga empleado para la verificación frente cargas extraordinarias es el tren doble de 12 ruedas por eje (TD2x12-12) con una carga bruta total máxima de 512 tn, el cual se tomó del “Reglamento para el paso de cargas extraordinarias por el Puente Libertador Gral. San Martín”.

Además, se realizó la verificación de las columnas para las cargas establecidas por la Dirección Nacional de Vialidad de Argentina en sus “Bases de Diseño para Puentes de Hormigón Armado”, las cuales provocan esfuerzos mayores que los estimados con el tren de cargas extraordinario señalado en el documento anterior. Esto se debe a que, de acuerdo a los



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

antecedentes consultados, el puente se diseñó con la norma AASHO, en donde los vehículos de diseño representan cargas menores que aquellos contemplados en las bases de diseño de la DNV.

Junto con las cargas de tipo gravitatorio debido a tránsito se contemplaron las cargas de viento y frenado sobre el viento. Las cargas extraordinarias no se verificaron actuando conjuntamente con las cargas de viento, ya que el “Reglamento para el paso de cargas extraordinarias por el PLGSM” establece que de existir condiciones de viento no podrán circular cargas extraordinarias sobre el puente. La carga de frenado para la carga extraordinaria fue calculada contemplando la velocidad máxima del tren de carga (5.0 km/h) y su distancia de frenado (igual a 4.0 m), valores establecido en el ya citado reglamento. Para la verificación realizada con las cargas de la D.N.V. (Argentina) se contemplaron actuando conjuntamente las cargas de viento y frenado, de acuerdo a las combinaciones de viento con puente cargado y viento con puente descargado.

Las verificaciones se realizaron utilizando el Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (CIRSOC 201-2005). Las combinaciones de carga utilizadas para las verificaciones fueron las siguientes:

- 1.2 D + 1.6 L
- 1.2 D + 1.6 W_{desc}
- 1.2 D + 1.6 W_{carg} + 0.5 L
- 1.2 D + 1.6 L_{extraordinaria}

Donde:

D: Peso propio de la estructura.

L: Sobre carga útil. Sobrecarga de vereda, Multitud Compacta, aplanadora A30.

W_{desc}: Viento con el puente descargado.

W_{carg}: Viento con el puente cargado.

L_{extraordinaria}: Sobrecarga extraordinaria reglamentaria.

En el Anexo V se observa el resultado de la verificación seccional de las columnas del viaducto argentino y viaducto uruguayo, respectivamente, solicitadas a flexo-compresión. La verificación se realizó en la sección donde se presentan los máximos esfuerzos.

Como se observa en las gráficas que se presentan en el Anexo V del presente informe, todas las combinaciones de cargas adoptadas quedan verificadas para las condiciones actuales de las columnas de viaducto. Se observa que las combinaciones debidas a las cargas reglamentarias de la D.N.V. (Argentina) resultan en algunos casos más críticas que la carga extraordinaria verificada.



3.7 Análisis de los resultados de la nivelación de tablero y batimetría del cauce del Río Uruguay

En este apartado se presenta el análisis de la nivelación de tablero y de la batimetría del cauce del Río Uruguay en las proximidades de la zona de emplazamiento del PGA, realizadas durante la campaña de relevamiento a la estructura.

3.7.1 Análisis de la nivelación de tablero

Para la nivelación del tablero del PGA se colocaron puntos fijos sobre el cordón de vereda del tablero que servirán para realizar futuras nivelaciones que serán comparables con la que aquí se presenta. Dichos puntos fueron materializados por medio de clavos colocados con pistola neumática sobre el cordón de la vereda. Debido a la técnica de colocación, los puntos fijos no presentan una nivelación perfecta con respecto a la cota del cordón de vereda, presentando variaciones de aproximadamente 2,00 cm con respecto a la cota del cordón de vereda. En la Figura 28 se observa un esquema transversal de una sección del tablero del PGA donde se encuentra indicada la posición de los puntos fijos. En el informe de relevamiento de este puente se encuentra descrito en detalle el procedimiento e instrumental de medición utilizados en esta tarea.

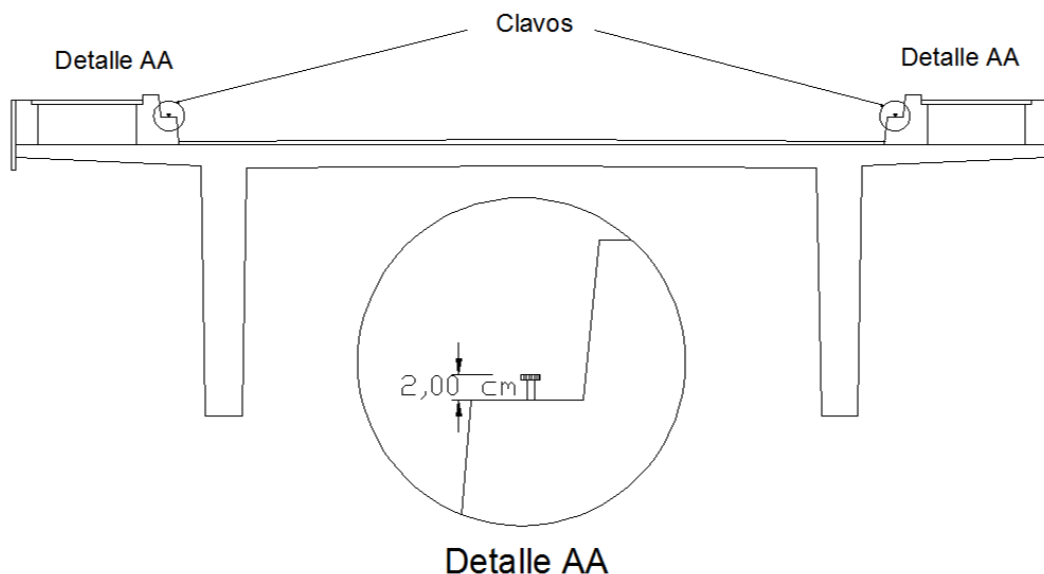


Figura 28. Esquema de la ubicación de los puntos fijos colocados sobre el tablero del PGA.

La nivelación del tablero del PGA se llevó a cabo en coincidencia con las juntas de dilatación de la estructura y en el centro de cada tramo uno del lado derecho y uno del lado izquierdo de la calzada, tal como se detalla en las planillas de relevamiento del puente. Sobre el puente principal se relevaron los niveles de las progresivas coincidentes con los ejes de las pilas principales (Pila 11y Pila 12), los niveles de cuatro progresivas intermedias a las juntas extremas del puente principal y el eje de pilas principales, y los niveles de seis progresivas intermedias a los ejes de cada pila principal. En total se relevaron los niveles de 133 progresivas resultando un total 266 puntos relevados (dos por cada progresiva), de los cuales 36 puntos corresponden a la nivelación del puente principal. El sentido de avance de la



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

nivelación fue desde el Estribo Uruguayo hacia el Estribo Argentino. En la Figura 29, Figura 30 y Figura 31 se observa un esquema de los puntos relevados, tanto para el puente principal como para las estructuras de viaducto.

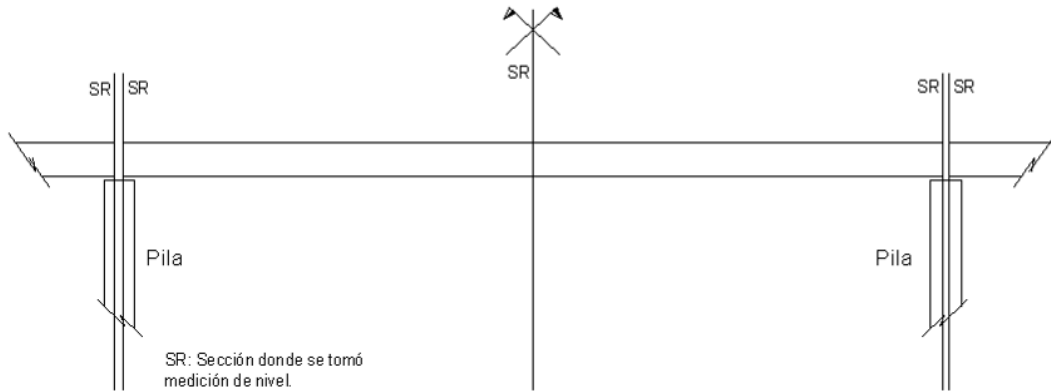


Figura 29. Esquema Viaducto Uruguayo, se encuentran indicadas las secciones donde se tomaron mediciones de nivel.

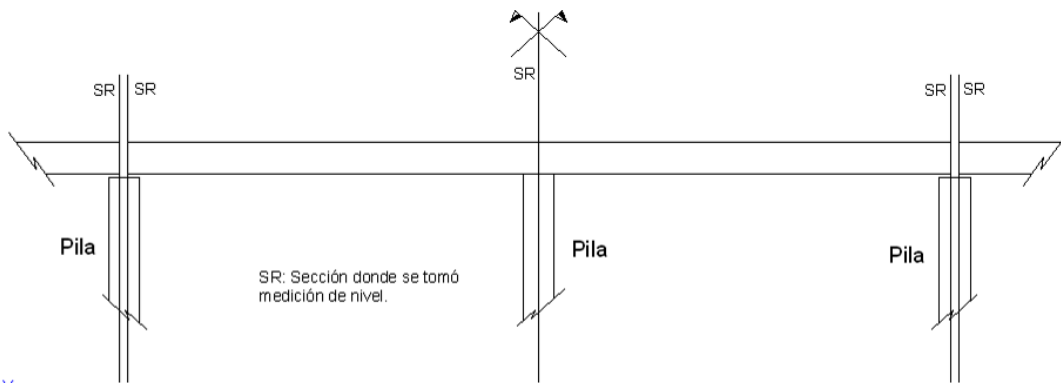


Figura 30. Esquema Viaducto Argentino, se encuentran indicadas las secciones donde se tomaron mediciones de nivel.

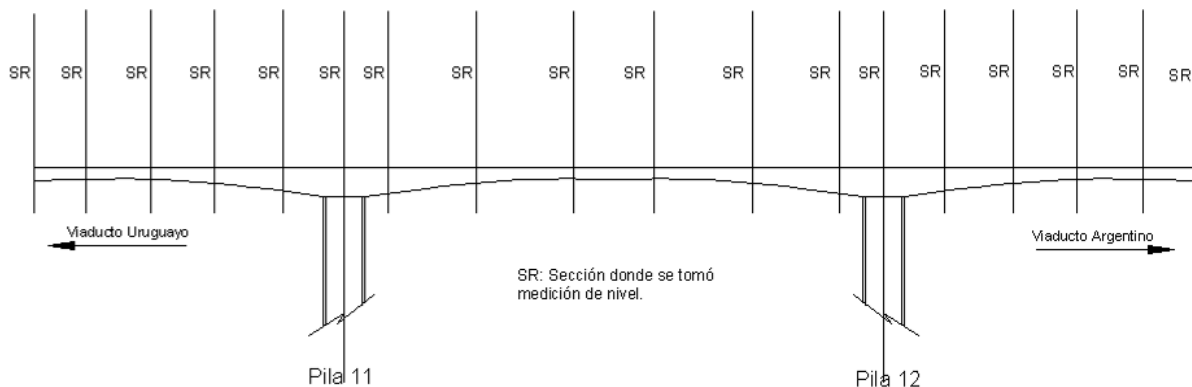


Figura 31. Esquema Puente Principal, se encuentran indicadas las secciones donde se tomaron mediciones de nivel.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Para el análisis de la nivelación actual del PGA se cuenta como antecedente con una nivelación realizada en el año 2000 con motivo de una evaluación general al estado del PGA realizada por el Ing. Ponce y las cotas de proyecto del puente. Una síntesis de la nivelación del año 2000 se encuentra en el Anexo III de este informe. Para el análisis de la evolución de las flechas en el puente se llevó a cabo una minuciosa comparación de ambas nivelaciones. De esta manera se obtiene la comparación que se muestra en la Tabla 8, en donde se presentan las cotas relevadas en el presente proyecto, las cotas de proyecto del puente y las cotas de la nivelación realizada en el año 2000. Cabe destacar que todas estas cotas se refirieron al mismo punto de nivelación, para que la comparación arrojara resultados correctos (se tomó como punto de nivelación la rasante sobre el puente).

Pila	(1) Cota Rasante de Proyecto	(2) Cota Rasante año 2000	(3) Cota Rasante Actual	(4) Diferencia Año 2000 - Actual	(5) Diferencia Proyecto - Actual
0	17.94	17.94	17.94	0.00	0.00
1	19.76	19.74	19.74	0.00	0.02
2	21.60	21.57	21.60	-0.03	0.00
3	23.44	23.43	23.46	-0.03	-0.02
4	25.27	25.25	25.33	-0.08	-0.06
5	27.11	27.12	27.16	-0.04	-0.05
6	28.95	28.99	29.03	-0.03	-0.08
7	30.78	30.79	30.80	-0.01	-0.02
8	32.62	32.63	32.65	-0.02	-0.03
9	34.45	34.39	34.42	-0.04	0.03
10	36.25	36.26	36.27	-0.01	-0.02
11	38.56	38.55	38.60	-0.05	-0.04
Eje P.P.	39.05	38.87	38.94	-0.07	0.11
12	38.56	38.56	38.57	-0.01	-0.01
13	36.25	36.23	36.23	0.00	0.02
14	34.45	34.45	34.45	-0.01	0.00
15	32.61	32.65	32.68	-0.03	-0.07
16	30.77	30.81	30.85	-0.04	-0.08
17	28.93	29.01	29.00	0.01	-0.07
18	27.09	27.14	27.15	-0.02	-0.06
19	25.25	25.25	25.30	-0.05	-0.05
20	23.41	23.41	23.46	-0.05	-0.05
21	21.57	21.57	21.62	-0.06	-0.05
22	19.94	19.93	19.99	-0.06	-0.05
23	18.68	18.69	18.73	-0.04	-0.05
24	17.79	17.80	17.82	-0.02	-0.03
25	17.26	17.25	17.27	-0.02	-0.01
26	17.10	17.10	17.10	-0.01	0.00
27	17.10	17.08	17.11	-0.04	-0.01
28	17.10	17.09	17.13	-0.04	-0.03
29	17.10	17.10	17.11	-0.01	-0.01
30	17.10	17.09	17.10	-0.02	0.00
31	17.10	17.08	17.12	-0.04	-0.02



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Pila	(1) Cota Rasante de Proyecto	(2) Cota Rasante año 2000	(3) Cota Rasante Actual	(4) Diferencia Año 2000 - Actual	(5) Diferencia Proyecto - Actual
32	17.10	17.10	17.11	-0.02	-0.01
33	17.10	17.10	17.12	-0.01	-0.02
34	17.10	17.12	17.12	-0.01	-0.02
35	17.10	17.09	17.11	-0.02	-0.01
36	17.10	17.13	17.12	0.01	-0.02
37	17.10	17.10	17.08	0.01	0.02
38	17.10	17.10	17.10	0.00	0.00
39	17.10	17.07	17.09	-0.02	0.01
40	17.10	17.09	17.09	0.00	0.01
41	17.10	17.07	17.07	0.00	0.03
42	17.10	17.06	17.10	-0.04	0.00
43	17.10	17.10	17.10	0.00	0.00
44	17.10	17.08	17.09	-0.02	0.01
45	17.10	17.09	17.08	0.00	0.02
46	17.10	17.07	17.10	-0.02	0.00
47	17.10	17.09	17.08	0.00	0.02

Tabla 8. *Tabla comparativa de nivelación. Se observa la nivelación de proyecto, la correspondiente al año 2000 y la nivelación actual. Todas las cotas de nivel han sido referenciadas a las cotas de rasante sobre el eje del puente.*

La columna 4 de la Tabla 8 indica la diferencia que existe entre la nivelación actual y la nivelación realizada en el año 2000. Como se observa, existen valores negativos, lo que indicaría que estos puntos presentan una cota mayor a las registradas en la nivelación del año 2000. Las diferencias obtenidas son muy pequeñas, y se hallan en el orden de la precisión que se obtuvo en el trabajo, debido a la elevación de los tetones que se fijaron en los cordones de las veredas (aquí se adiciona la altura del propio tetón y las posibles irregularidades que puede presentar la superficie de la vereda a lo largo del puente). La diferencia existente entre las cotas obtenidas para la pila 47 y para la pila 0 muestran que la precisión de las nivelaciones del año 2000 y la presente son similares, ya que a lo largo de todo el puente sólo se obtuvo una diferencia de de 10 mm, que podría atribuirse a las incertidumbres señaladas más arriba.

Cabe destacar que los errores de nivelación que se detallan en el párrafo anterior, asociados a la irregularidad en la superficie de la vereda y elevación de los tetones fijos no representarán inconvenientes en futuras nivelaciones, ya que se recomienda utilizar los mismos puntos fijos. De este modo las nivelaciones sucesivas podrán comprarse directamente.

El análisis de la nivelación realizada en este trabajo, junto con su comparación con la nivelación del año 2000 y las cotas de proyecto, permite extraer las siguientes conclusiones:

- Las diferencias negativas (indican que la estructura actual presenta cotas mayores a las de proyecto) que se observan en los puntos sobre las pilas podrían atribuirse



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

a defectos en el proceso constructivo del puente, ya que es poco probable que las pilas experimenten un incremento en su altura a lo largo del tiempo.

- Del mismo modo, las diferencias positivas, que indican que las cotas actuales de la estructura son menores a las de proyecto, que se observan en las pilas de los viaductos tiene un valor máximo de de 3.0 cm, lo que se considera dentro de la tolerancia del proceso constructivo para un puente de la envergadura del PGA.
- Se destaca que no se observaron fisuras o defectos que pudieran dar indicio de un mal comportamiento estructural debido movimientos verticales de la estructura, lo que refuerza lo señalado en los puntos anteriores.
- En el centro del puente se observa que la cota actual es 7 cm mayor a la cota registrada durante la nivelación del año 2000. Para estudiar este comportamiento se utilizó el modelo numérico del puente desarrollado para este proyecto y que se describió anteriormente en este informe, en el apartado 3.3.4. El análisis de elementos finitos desarrollado indica que puede esperarse un aumento de la elevación de la cota del punto central del puente, como consecuencia de los procesos de fluencia lenta de la viga principal del puente. Este resultado es consistente con los resultados de las nivelaciones señalados. El comportamiento descrito se ha simulado con el modelo, en donde se ha considerado la flecha elástica por peso propio, la contraflecha estimada debido al pretensado del puente y la deformación a tiempo infinito de la estructura.
- Si se compara la cota teórica de proyecto del centro del puente con la cota actual de ese punto se obtiene una diferencia de 11 cm, en donde la cota actual es menor a la teórica. A pesar de ello, y teniendo en cuenta el análisis numérico realizados y los resultados de las nivelaciones del año 2000 y la realizada en este proyecto se concluye que la diferencia mencionada podría deberse a errores constructivos, que se encontrarían dentro de los parámetros razonables habida cuenta la envergadura de la estructura (la relación error de flecha a luz del puente es aproximadamente 0.11/140 m, 0.078%)

Para evaluar la incidencia que podría llegara a tener la amplitud térmica en la línea rasante, a través de descensos del tablero se determinaron, con auxilio del modelo numérico desarrollado y descrito anteriormente en este documento, los desplazamientos que presenta la estructura del puente principal como consecuencia de la variación térmica estacional. Cabe destacar que sólo se realizó este análisis para el tablero del puente principal del PGA, dado que por sus características estructurales los efectos térmicos tienen mayor relevancia sobre el puente principal que sobre las estructuras de los viaductos. Para la determinación de los desplazamientos térmicos se adoptó un salto térmico medio uniforme de 10 grados en la losa superior de la viga cajón y de 5 grados para las caras lateral y la losa inferior de la viga cajón, en función de su exposición directa al sol. Como resultado de este análisis se obtuvo un descenso máximo, en el centro del tramo central del puente principal, del orden de 1.26 cm, valor que se encuentra dentro de las diferencias observadas en la comparación de las distintas nivelaciones.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Un análisis más detallado de la nivelación del tablero del puente principal se encuentra en el Anexo IV del presente informe.

3.7.2 Análisis de la batimetría del cauce del Río Uruguay

La finalidad de realizar la batimetría del Río Uruguay es evaluar la estabilidad del lecho del río frente al obstáculo que representa el PGA al flujo normal del río y determinar el efecto de un posible descenso del lecho del Río Uruguay sobre las fundaciones del PGA. Por este motivo se llevó a cabo una batimetría detallada, tal como se describe a continuación.

La batimetría del cauce del Río Uruguay se realizó en las inmediaciones de la zona de emplazamiento del PGA. Se recorrió transversalmente el Río Uruguay, tanto aguas arriba como aguas abajo del puente, y se rodearon las pilas que se encontraban dentro del cauce del río. Las mediciones se tomaron por medio de una Eco Sonda, montada en una lancha. De esta manera, recorriendo el río se tomaron 2600 puntos, con los cuales se construyeron las curvas de nivel del lecho del río en la zona de emplazamiento del PGA. A partir de estas curvas se realizaron cinco perfiles transversales, a 15 y 50 metros, aguas arriba y aguas abajo, del eje longitudinal del puente y uno sobre el eje longitudinal del puente. El Río Uruguay, al momento de realizarse la batimetría, presentaba un nivel igual a +1,06 m.s.n.m.

En la Tabla 9 se presenta un resumen con los valores de cotas relevadas actualmente, los valores de las cotas del lecho utilizadas para el proyecto del puente y los valores de cotas batimétricas obtenidas en el año 2000 (informe del Ing. Ponce). En la Figura 32 y Figura 33 se observa el perfil del lecho del Río Uruguay en las proximidades de las pilas.

Pila	Cotas Proyecto	Cotas Batimetría año 2000		Diferencia Cotas Proyecto – Batimetría año 2000		Cotas Batimetría Actual		Diferencia Cotas Proyecto – Batimetría Actual	
		Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
7	-1	--	--	--	--	-0.8	-0.92	+0.2	+0.08
8	-7	-11.75	-10.75	-4.75	-3.75	-6.98	-9.34	+0.02	-2.34
9	-10	-12.75	-12.75	-2.75	-2.75	-11.30	-11.25	-1.30	-1.25
10	-13	-15.25	-13.75	-2.25	-0.75	-12.46	-13.15	+0.54	-0.15
11	-10	-13.25	-12.75	-3.25	-2.75	-11.25	-11.25	-1.25	-1.25
12	-9	-13.25	-12.75	-4.25	-3.75	-11.84	-11.44	-2.84	-2.44



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Pila	Cotas Proyecto	Cotas Batimetría año 2000		Diferencia Cotas Proyecto – Batimetría año 2000		Cotas Batimetría Actual		Diferencia Cotas Proyecto – Batimetría Actual	
		Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
13	-9	-13.75	-12.75	-4.75	-3.75	-11.25	-11.25	-1.25	-1.25
14	-7	-12.75	-11.75	-5.75	-4.75	-10.16	-11.15	-3.16	-4.15
15	-7	-7.75	-8.75	-0.75	-1.75	-7.6	-8.21	-0.60	-1.21
16	-3	-6.25	-8.25	-3.25	-5.25	-5.7	-7.33	-2.70	-4.33
17	-1.5	--	--	--	--	-4.74	-5.32	-3.24	-3.82
18	-1	--	--	--	--	-3.36	-4.91	-2.36	-3.91
19	-0.6	--	--	--	--	-0.55	-1.39	+0.05	-0.79
20	+1.5	--	--	--	--	+0.70	+0.12	-0.80	-0.03

Tabla 9. Tabla resumen de batimetría, se observan la batimetría actual, la batimetría correspondiente al año 2000 y la batimetría de proyecto. Todos los valores se encuentran en metros.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

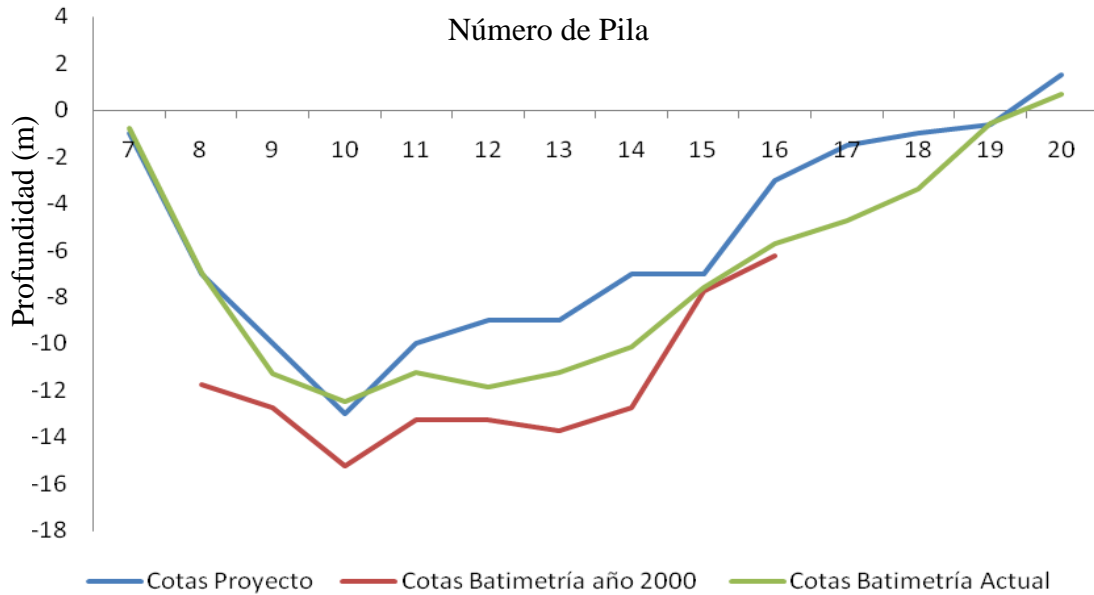


Figura 32. Gráfica de perfil del lecho del Río Uruguay aguas arriba. Se observan las cotas de proyecto del lecho, las cotas de la batimetría correspondiente al año 2000 y las cotas de la batimetría actual.

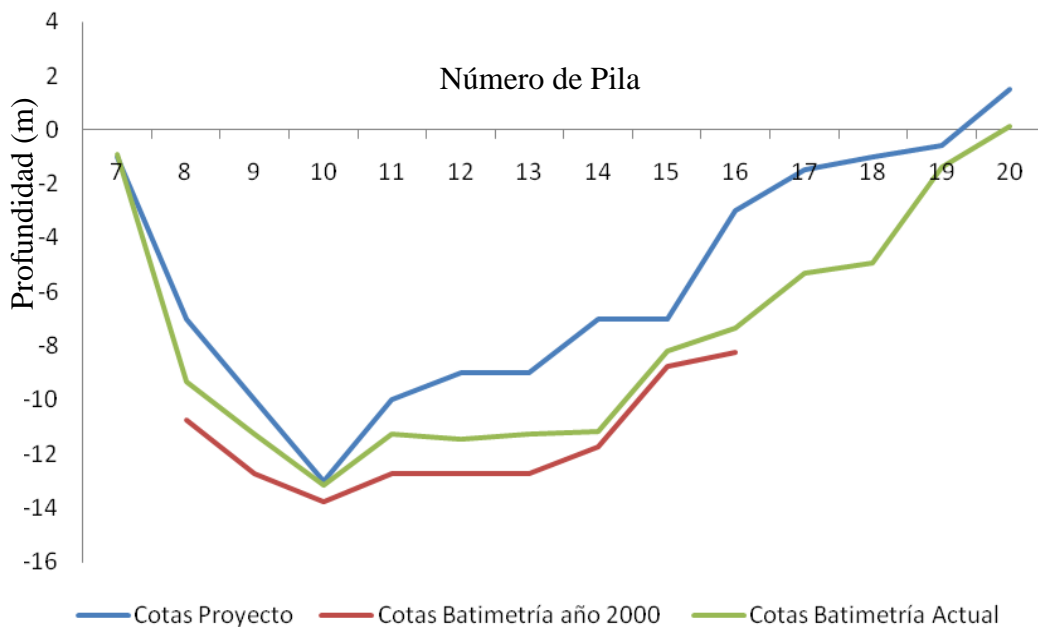


Figura 33. Gráfica de perfil del lecho del Río Uruguay aguas arriba. Se observan las cotas de proyecto del lecho, las cotas de la batimetría correspondiente al año 2000 y las cotas de la batimetría actual.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Como se observa en la Tabla 9 y en las gráficas de la Figura 32 y Figura 33, la forma del lecho del Río Uruguay no ha sufrido modificaciones significativas en el tiempo, aunque se observa un paulatino descenso del lecho en prácticamente toda la longitud del puente. Se observa un descenso máximo del lecho igual a 4.33 m en coincidencia con la Pila 16 (en relación a la cota usada en el proyecto del puente). Del lado uruguayo, el lecho del río se mantiene prácticamente inalterado en relación al perfil utilizado para el proyecto.

Comparando los valores de la batimetría actual con los valores de la batimetría realizada en el año 2000, se observa que el lecho del Río Uruguay se ha levantado, acercándose a las cotas de proyecto. Sin embargo, es de esperar que el lecho del río presente variaciones estacionales marcadas, como consecuencia las crecidas anuales que experimenta. La batimetría realizada para este proyecto se llevó a cabo durante la época de estiaje, por lo que los niveles obtenidos podrían estar asociados a una sedimentación del río para caudales reducidos. A pesar de esto, los resultados de esta batimetría junto con la del año 2000 permiten concluir que las fundaciones del puente no se encuentran afectadas por los descensos del lecho, ya que la profundidad de empotramiento de los pozos se encontraría entre los -15,00 y los -16,50 m, y que la punta se halla apoyada en una roca de buenas características resistentes.

También debe tenerse en cuenta que aguas arriba del PGA, aproximadamente a unos 133 km, se encuentra la Represa Hidroeléctrica Binacional (Argentina – Uruguay) Salto Grande, la misma puede tener influencia directa sobre la estabilidad del lecho del Río Uruguay, pudiendo generar retención de sedimentos que posibiliten la desestabilización del lecho, acentuando de esta manera el descenso del lecho en la zona de implantación del PGA.

Si bien el lecho del Río Uruguay en la zona de emplazamiento del PGA se presentaría estable, se recomienda realizar batimetrías periódica en la estructura a fin de poder estudiar con mayor exactitud los procesos erosivos (erosión – sedimentación) en la zona de emplazamiento del PGA.

3.8 Análisis de los resultados de medición de verticalidad de las pilas

Una de las tareas realizadas durante la Inspección de Detalle del PGA fue medir la verticalidad de las pilas del puente principal. Esta actividad se encuentra descrita en detalle en informe de relevamiento de este proyecto.

Debido a la ausencia de mediciones de verticalidad anteriores a la realizada en este proyecto no se cuenta con información que permitan estimar la evolución de este aspecto en el puente. Por este motivo, se han dejado insertos metálicos en las pilas principales que servirán como punto de comparación para futuras mediciones de verticalidad de las pilas. A partir de sucesivas mediciones se podrá analizar la existencia y evolución de eventuales faltas de plomo en las pilas principales.

A pesar de la ausencia de antecedentes sobre la verticalidad de las pilas, los resultados de la inspección realizada (tanto en las actividades de inspección ocular, ensayos no destructivos, batimetría, y nivelaciones), se puede concluir que el comportamiento de los



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

pilares del puente principal es bueno. No se observaron fisuras o evidencias de mal funcionamiento que pudieran ser atribuibles a una falta de verticalidad de las pilas.

4. Recomendaciones

En este apartado se presenta una serie de recomendaciones que surgen de los resultados obtenidos durante la evaluación del PGA y que se expusieron en las secciones precedentes de este informe. Los puntos que se describen a continuación consisten en diferentes tareas que mejorarán el estado de conservación actual del PGA y evitarán la propagación de los daños observados.

- El principal defecto observado en la infraestructura del puente es la presencia de fisuras verticales en las columnas de las pilas. Esto se observa en prácticamente todas las pilas del puente. Debido a que las mismas se atribuyen a reacciones físico-químicas del hormigón que ocurren en presencia de agua se recomienda recubrir las zonas afectadas con un revoque epoxídico impermeable, previo sellado de las fisuras observadas. Esto evitará el ingreso de humedad en la masa de hormigón, estabilizando los procesos reactivos descritos en este informe y protegerá las armaduras que pudieran oxidarse al quedar expuestas a la intemperie.
- En las zonas en donde se observa falta de recubrimiento (zona inferior de pilas), se recomienda restituir el recubrimiento de las armaduras con un mortero de reparación epoxídico, previa colocación de puente de adherencia, a fin de evitar la oxidación del acero de refuerzo o la profundización de la pérdida de recubrimiento y masa de hormigón en las columnas.
- Las fisuras observadas en las pilas de puente principal no revisten importancia estructural, dado que su profundidad solo alcanza el recubrimiento de las mismas. Sin embargo se recomienda el sellado de las mismas a fin de evitar el ingreso de humedad a la estructura y la consecuente corrosión de las armaduras de refuerzo.
- Se recomienda realizar un monitoreo del estado de los dispositivos de apoyo en el estribo argentino del puente para observar la evolución en el tiempo del dispositivo de apoyo dañado. En caso de observar el colapso del paquete de neopreno o de detectar deformaciones excesivas se recomienda reemplazar el dispositivo dañado.
- Los aparatos de apoyo de neopreno se encuentran en buenas condiciones de conservación, en términos generales. Sin embargo se recomienda la realización de inspecciones rutinarias (en intervalos de aproximadamente dos años) para observar la evolución del estado de los paquetes de neopreno que presentan fisuras en la goma de recubrimiento.
- Se recomienda eliminar la vegetación que crece en las juntas de losetas de estribo y sellarlas con un elemento elástico. Esto preservará la vida útil de las protecciones.
- Se recomienda ejecutar la demarcación horizontal del puente en toda su longitud, ya que se encuentra muy deteriorada.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

- Se recomienda readecuar la carpeta de rodamiento en todo el puente, ya que la misma ha perdido parte de la pasta asfáltica.
- Las luminarias dentro de la viga principal del tramo central del puente presenta numerosos focos quemados, por lo que se sugiere su reemplazo.
- En algunos sectores los perfiles metálicos que se encuentran en la junta de dilatación se encuentran algo oxidados. Por este motivo se recomienda su limpieza y pintado para preservar su integridad.
- Se recomienda realizar el recambio de las luminarias que se encuentran quemadas sobre el tablero del puente.
- Si bien el lecho del Río Uruguay en la zona de emplazamiento del PGA se presentaría estable, se recomienda realizar batimetrías periódicas a fin de dar seguimiento a los procesos erosivos (erosión – sedimentación) en la zona de emplazamiento del PGA.
- Como parte de este trabajo se establecieron puntos fijos para controlar, en futuras inspecciones, la evolución de la verticalidad de las pilas. Se recomienda controlar esta condición en las sucesivas evaluaciones especiales del puente, a pesar de que no se han observado, al presente, anomalías que pudieran estar relacionadas con este aspecto.
- Como parte de la nivelación del tablero realizada en este trabajo se colocaron tetones para señalar los puntos nivelados. Se recomienda realizar la nivelación de estos mismos puntos en futuras evaluaciones del puente, de modo tal que todas las nivelaciones sean referidas a los mismos puntos. Esto permitirá una comparación expeditiva de las distintas nivelaciones lo que ayudará a controlar las flechas del tablero. Se recomienda utilizar, en el futuro, nivelaciones de precisión similar a la realizada en este proyecto, para que las conclusiones que se extraigan de la comparación de nivelaciones no esté afectada de errores de medición habida cuanta la magnitud de las deformaciones que pueden esperarse en la estructura.
- De acuerdo a los análisis realizados en laboratorio, es necesario proteger las pilas del puente para evitar una profundización de las fisuras observadas. Por este motivo, y habiendo observado un buen comportamiento de la reparación efectuada en algunas pilas, se recomienda revestir las columnas en donde existen fisuras verticales con revoque de reparación epoxídico, de manera similar a las reparaciones existentes o bien el pintado de las mismas con algún material impermeabilizante.

5. Resumen y conclusiones

En este informe se presentaron las conclusiones extraídas del análisis detallado de la Inspección Principal realizada en el Puente General Artigas. Las conclusiones y recomendaciones que forman parte de este informe surgen de una serie de actividades de gabinete y campaña, que se resumen a continuación:



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

En campaña:

- Inspección ocular de la estructura.
- Realización de ensayos no destructivos (carbonatación, propagación de ondas en el hormigón, y pachómetro).
- Realización de ensayos dinámicos en la estructura.
- Trabajos topográficos para nivelación del tablero.
- Batimetría del cauce del río en la zona de implantación del puente.
- Medición de verticalidad de las pilas.
- Extracción y ensayos de testigos de hormigón.
- Medición de la profundidad de las fisuras verticales en las columnas circulares mediante propagación de ondas.

En gabinete:

- Análisis de antecedentes disponibles. Digitalización de los antecedentes más importantes.
- Elaboración de las planillas de inventario y relevamiento de la estructura
- Análisis de los testigos de hormigón extraídos.
- Elaboración de modelos numéricos de análisis y evaluación.
- Calibración y ajuste de los modelos numéricos de acuerdo a las mediciones de ensayos no destructivos.
- Estimación de las flechas diferidas en el tiempo para el puente.
- Estimación de la incidencia del cambio de temperatura en las nivelaciones de tablero.
- Comparación de la nivelación actual con nivelaciones previas (de proyecto y de inspección del año 2000).
- Verificación a resistencia y estabilidad de las columnas de viaducto frente a cargas extraordinarias.

Las actividades anteriores se encuentran relacionadas entre sí y responden al esquema típico de un sistema de gerenciamiento de puentes. Los resultados de las distintas tareas señaladas anteriormente, analizadas en conjunto, permiten extraer como conclusión general que el puente se encuentra en buen estado de conservación. No se observaron indicios ni señales de deficiencia o agotamiento estructural en los elementos principales del puente.

Uno de los resultados significativos de este trabajo es el análisis de laboratorio realizado en testigos extraídos de las pilas del viaducto del puente que presentan fisuras verticales



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

sistemáticas en todo su desarrollo cuyas dimensiones y orientación no son sistemáticas y que se interpreta no son debidas a los esfuerzos asociados a las cargas actuantes. Se considera que las fisuras se deben a procesos físico-químicos del hormigón, tal como se señalara en el apartado 3.2, y que su profundidad se encuentra en el orden del recubrimiento que presentan las columnas. Para limitar la futura evolución de las fisuras observadas se recomienda recubrir todas las columnas circulares con una pintura especial para lograr una protección similar a las reparaciones anteriores con mortero epoxídico que al presente no presentan signos de progreso desde su aplicación.

Los resultados de los ensayos dinámicos, junto con los ensayos no destructivos y los modelos numéricos elaborados permiten concluir que la estructura se comporta correctamente, de acuerdo a las características geométricas y mecánicas que surgen de los planos del puente, antecedentes disponibles y de los propios ensayos no destructivos realizados.

La comparación de la nivelación del tablero del puente realizada con las nivelaciones existentes pone en evidencia algunos errores que provienen de la construcción del puente. A partir de los modelos realizados se concluye que estos defectos no tienen incidencia en el comportamiento del puente. Además las flechas debido a fluencia lenta de las vigas principales de hormigón estimadas se hallan dentro de valores razonables, para una estructura de más de 30 años de servicio.

Como parte de este trabajo se establecieron puntos fijos para la nivelación del tablero del puente y para estudiar la verticalidad de las pilas que podrán ser utilizados en futuras inspecciones para sistematizar la información recolectada.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Anexo I

Análisis de Laboratorio de Testigos Extraídos al PGA





Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba

Número de Muestra:

PGAP23

Procedencia:

Puente Colón Pisandú

Colección:

Dr. Carlos Prato

Ref. Laboratorio:

8752-A

07/09/2010

Descripción de testigo hormigón:

Metodología:

Corte y pulido para observación en lupa binocular x100 y confección de sección delgada para observación microscópica en luz polarizada.

OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA: (se completa el análisis con las ilustraciones fotográficas)

1. Se cortó transversalmente el testigo y se procedió al pulido con esmeriles especiales.
2. Bajo lupa binocular se ubicaron los puntos a observar.
3. Se detectó discontinuidad rellena con gel solidificado
4. Se observó la composición del agregado

Como componentes litomineralógicos del agregado se observaron:

1. En el agregado grueso

- Basaltos
- Cuarzo criptocristalino
- Hematitas y magnetitas congloméradas
- Calcedonias radiales
- Calcedonias masivas
- Areniscas de grano fino



Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba

2. En el agregado fino

- Cuarzo criptocristalino
- Cuarzo normal
- Calcedonias

OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA (se completa el análisis con las ilustraciones fotográficas)

1. Se realizó sección delgado del hormigón del testigo provisto
2. Se realizó análisis petromineralográfico del corte delgado
3. Se detectaron discontinuidades rellenas con geles solidificados

- Presencia de discontinuidades (+)
- Presencia de minerales potencialmente reactivos (+)

Minerales potencialmente reactivos de mayor a menor grado

- a) Calcedonias radiales
- b) Calcedonias masivas
- c) Cuarzo criptocristalino

3. Se observaron componentes minerales y litológicos cuyas resistencias mecánicas son absolutamente diferentes. Por un lado hay abundancia de materiales muy ricos en silicatos duros (cuarzo, cuarzoes criptocristalinos, calcedonias, basaltos) contrastando con otros de propiedades mecánicas absolutamente menores tales como areniscas de grano fino con componentes limosos, basaltos alterados y óxidos de hierro (hematita + magnetita) conglomerádicos.
4. Las discontinuidades son perigranulares, no habiéndose observado grietas que rompan el agregado y lo atraviesen.
5. No se ha podido observar en ningún caso el comienzo de la reacción que genera el gel que luego se solidifica, pero a la luz del contenido de silicio inestable se habrían originado en la fracción fina de esa composición.



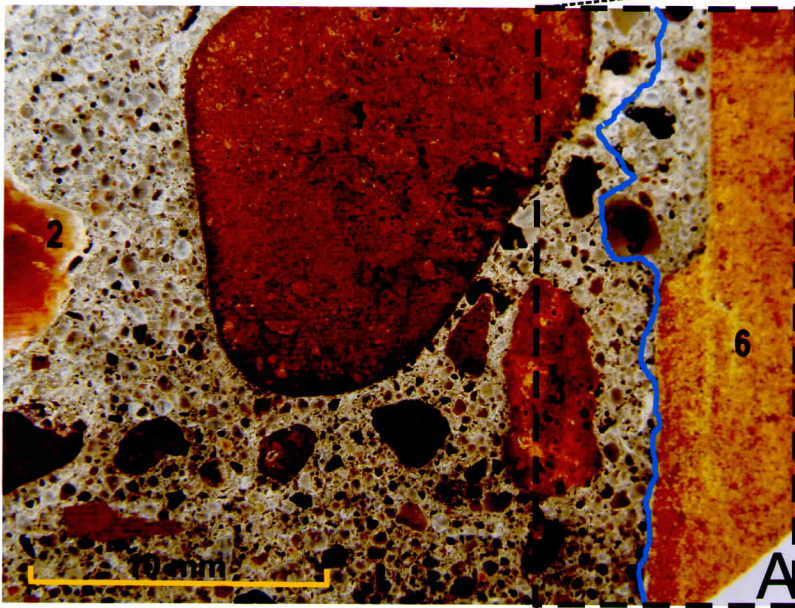
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba

6. Las discontinuidades medidas en su ancho oscilan entre #0,445 mm en su mayor desarrollo bajando a filetes de apenas #0,113mm.
7. Hay cuarzos criptocristalinos que solo alcanzan 12 micras en su dimensión mayor.

Una firma manuscrita en tinta negra, que parece ser 'A. Bonalumi', escrita con trazos fluidos y entrecruzados.

Dr. Aldo Antonio Bonalumi
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba

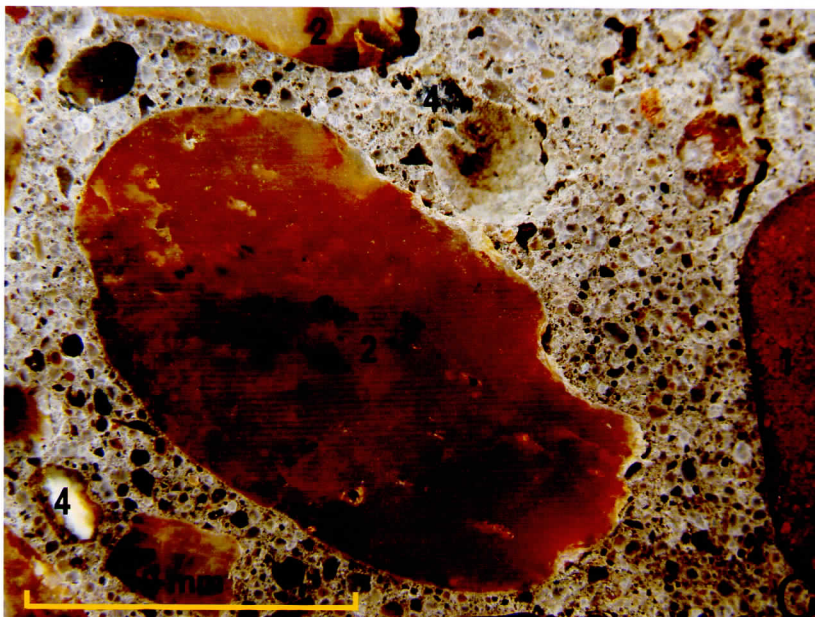
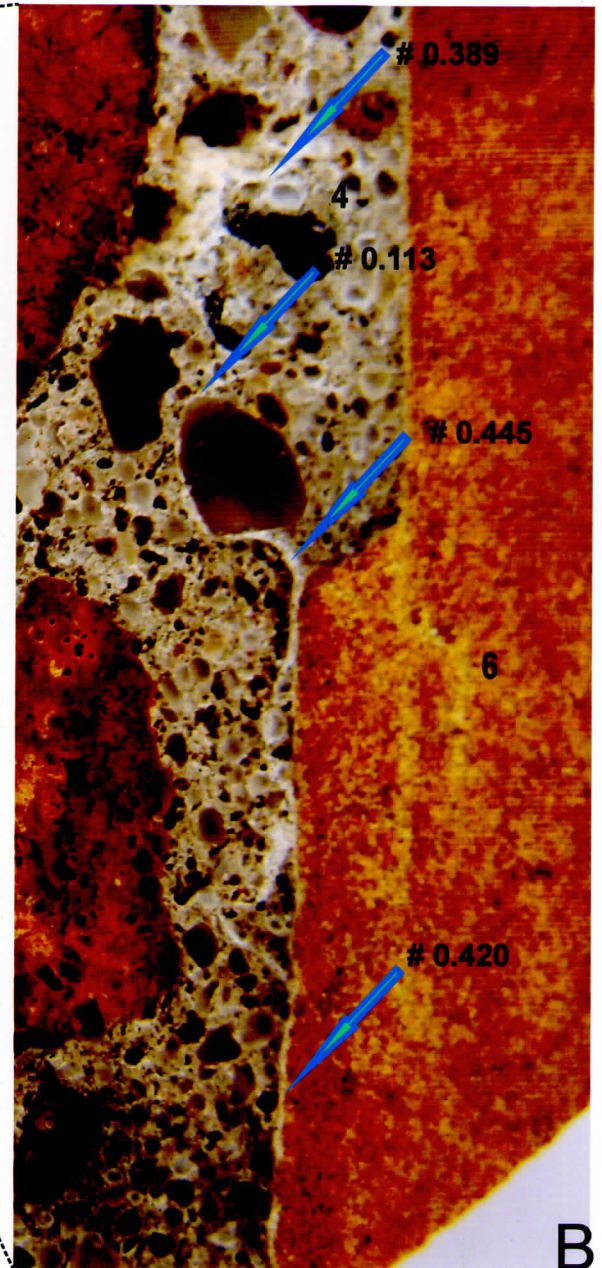
Discontinuidad observada en testigo provisto (hoja 1)



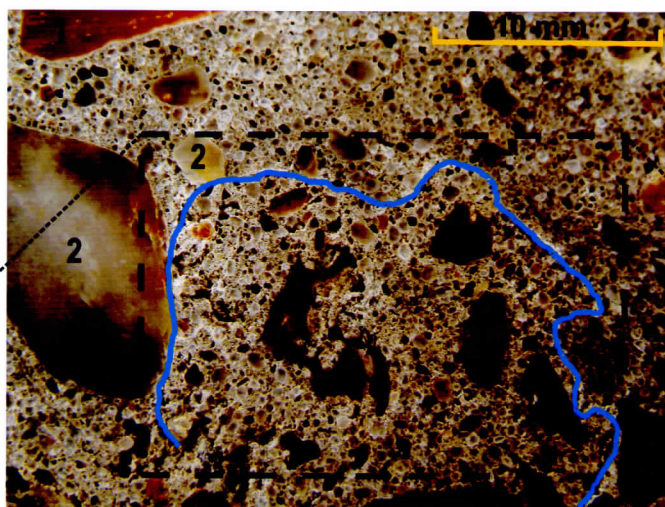
La línea azul de la fotografía (A), muestra una clara discontinuidad generada por un gel solidificado. La disposición textural de tipo *perigranular*, sugiere que estas discontinuidades podrían ser simultáneas al fraguado del hormigón cuando la interfase agregado - cemento está más dispuesta a receptor líquidos o geles, que posteriormente pudieran ganar volumen. La misma fractura aumentada, se la observa en la fotografía (B), donde la disposición textural se la ve aún más clara (sin línea azul). La fotografía (C), muestra un agregado de cuarzo criptocristalino, el cual es abundante en el testigo analizado. En la fotografía (B) se indican (ej: # 0,420 mm) la dimensión, en su ancho, de la discontinuidad analizada.

Composición del agregado:

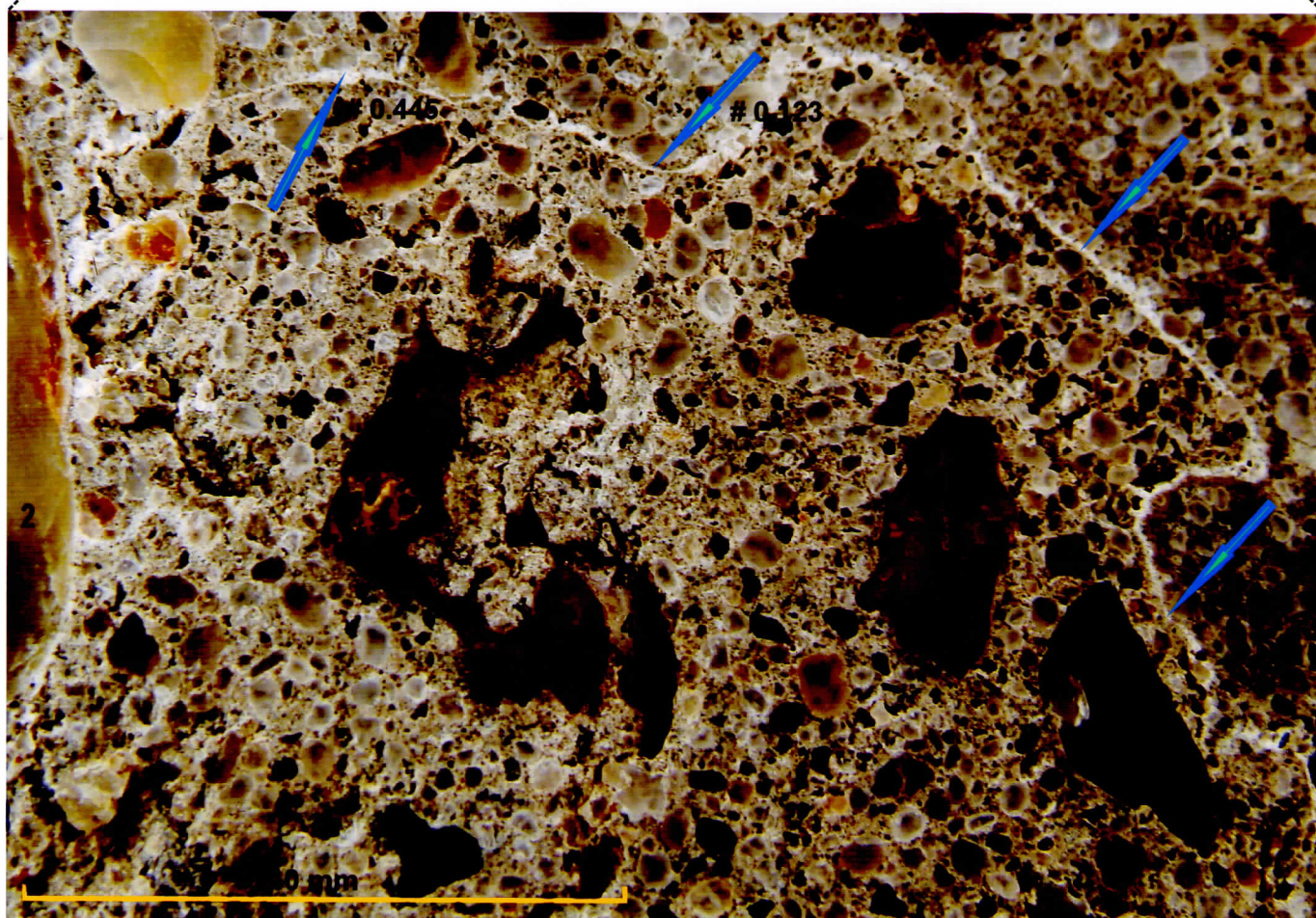
- 1- Basalto. *Con alto grado de oxidación férrica*
- 2- Cuarzo criptocristalino. *Potencialmente reactivo*
- 3- Hematitas y magnetitas. *Baja resistencia a la compresión*
- 4- Calcedonia radial. *Potencialmente reactiva*
- 5- Calcedonia masiva. *Potencialmente reactiva*
- 6- Arenisca de grano fino, *posee componentes limosos.*



Discontinuidad observada en testigo provisto (hoja 2)

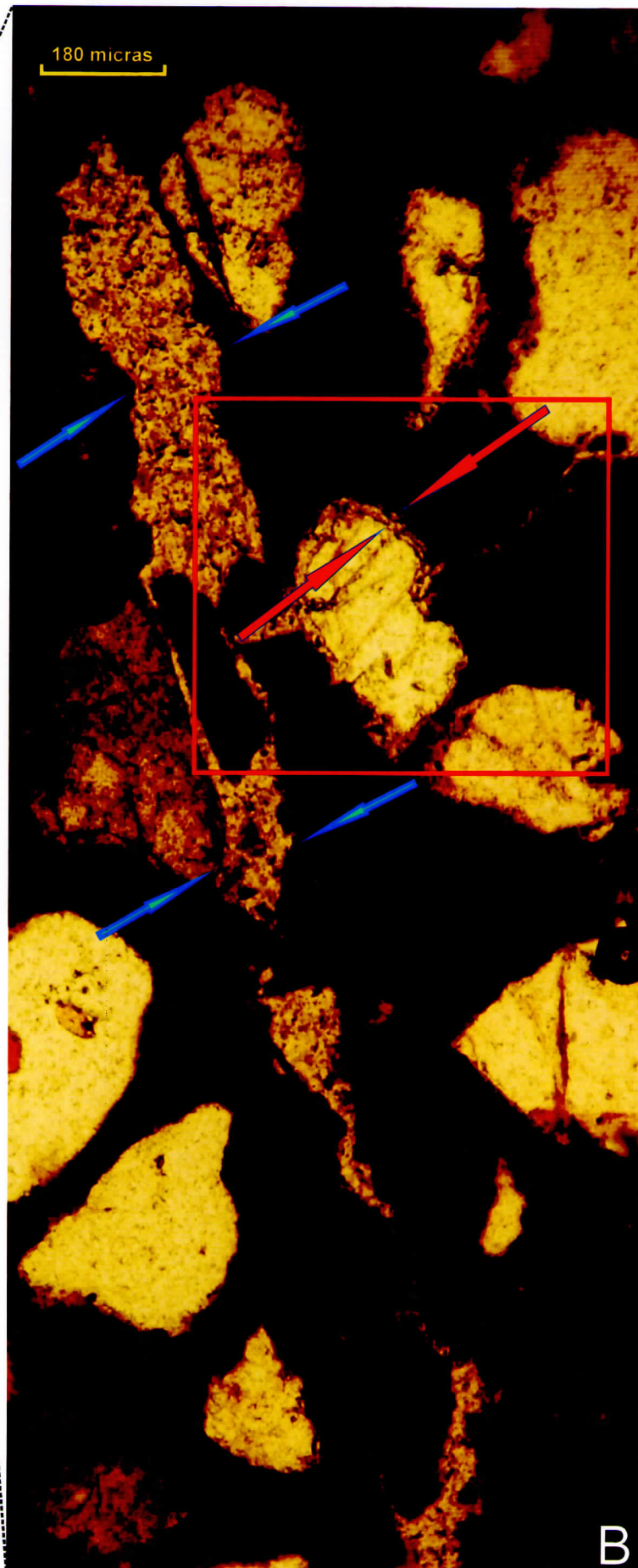
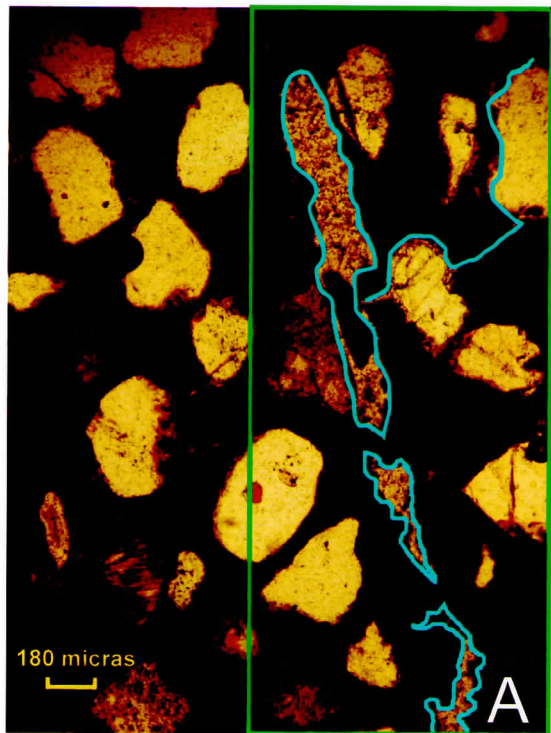


Los números corresponden a los referenciados de la hoja 1



OBSERVACIONES MICROSCOPICAS (hoja 1)

Discontinuidades

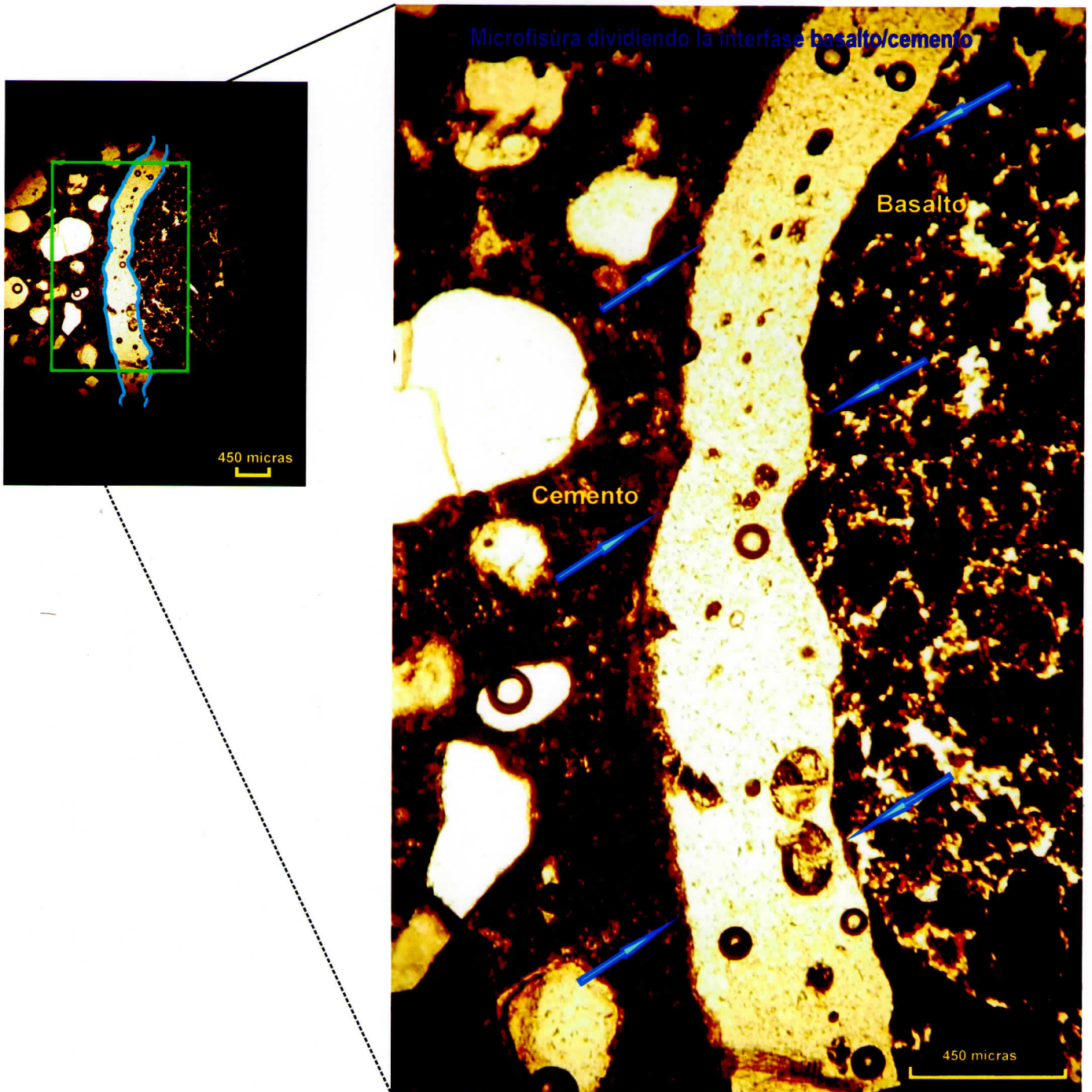


Fotomicrografías de las discontinuidades donde puede observarse claramente que las mismas son francamente posteriores al fraguado, ya que ocupan el perigrano y además se producen algunas ramificaciones como la señalada en el recuadro rojo de la imagen (B) donde el ancho de las discontinuidades en algunos casos como el indicado por las flechas rojas, escasamente llegan a medir 12 micras. La composición del relleno de las discontinuidades es en parte carbonático.



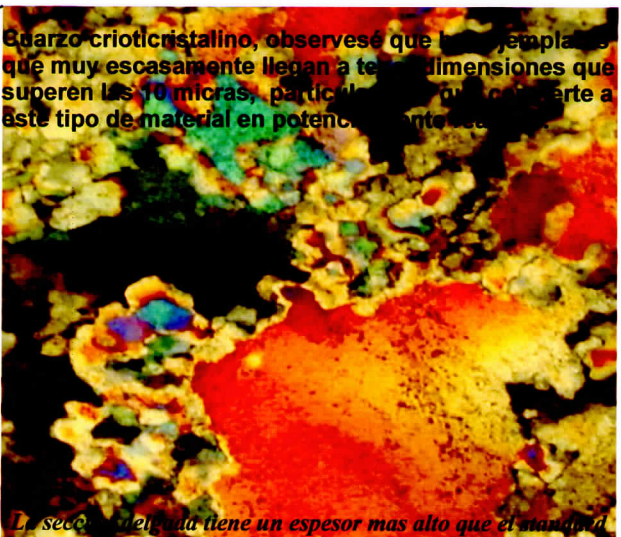
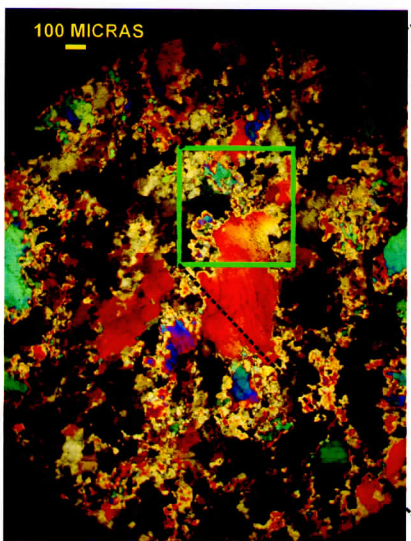
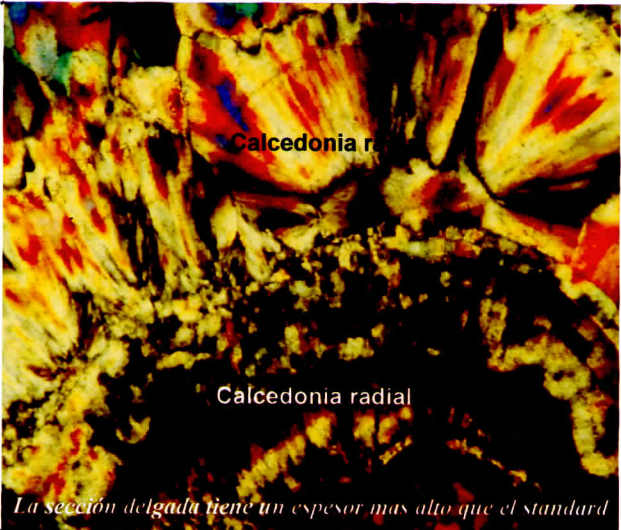
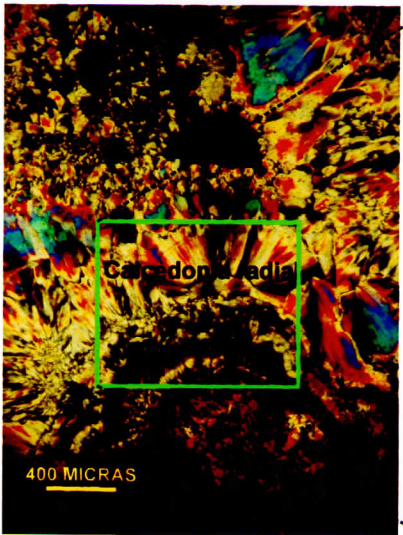
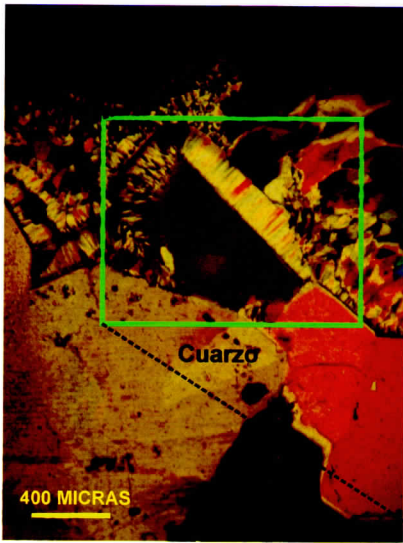
OBSERVACIONES MICROSCOPICAS (hoja 2)

Discontinuidades



OBSERVACIONES MICROSCOPICAS (hoja 3)

Minerales potencialmente reactivos



Cuarzo criotricristalino, observese que los ejemplares que muy escasamente llegan a tener dimensiones que superen los 10 micras, particularmente en cuanto a este tipo de material en potencia reactiva.





Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba

Número de Muestra: PGA 3
Procedencia:
Colección: Dr. Carlos Prato
Ref. Laboratorio: 8798-A
16/11/2010

Descripción de testigo hormigón:

Metodología:

Corte y pulido para observación en lupa binocular x100 y confección de sección delgada para observación microscópica en luz polarizada.

OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA: (se completa el análisis con las ilustraciones fotográficas)

1. Se cortó transversalmente el testigo y se procedió al pulido con esmeriles especiales.
2. Bajo lupa binocular se ubicaron los puntos a observar.
3. Se detectó discontinuidad rellena con gel solidificado
4. Se observó la composición del agregado

Como componentes litomineralógicos del agregado se observaron:

1. En el agregado grueso

- Basaltos
- Cuarzo criptocristalino
- Hematitas y magnetitas conglomerádicas
- Calcedonias radiales
- Calcedonias masivas
- Areniscas de grano fino



Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba

2. En el agregado fino

- Cuarzo criptocristalino
- Cuarzo normal
- Calcedonias

OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA

1. Se realizó sección delgado del hormigón del testigo provisto
 2. Se realizó análisis petromineralográfico del corte delgado
 3. Se detectaron escasas discontinuidades rellenas con geles solidificados, solamente en los perigranos del agregado grueso y no en todos
- Presencia de discontinuidades (+)
 - Presencia de minerales potencialmente reactivos (+)

Minerales potencialmente reactivos de mayor a menor grado

- a) Calcedonias radiales
 - b) Calcedonias masivas
 - c) Cuarzo criptocristalino
3. Se observaron componentes minerales y litológicos cuyas resistencias mecánicas son absolutamente diferentes. Por un lado hay abundancia de materiales muy ricos en silicatos duros (cuarzo, cuarzoes criptocristalinos, calcedonias, basaltos) contrastando con otros de propiedades mecánicas absolutamente menores tales como areniscas de grano fino con componentes limosos, basaltos alterados y óxidos de hierro (hematita + magnetita) conglomerádicos.
 4. Las discontinuidades son perigranulares, no habiéndose observado grietas que rompan el agregado y lo atraviesen.



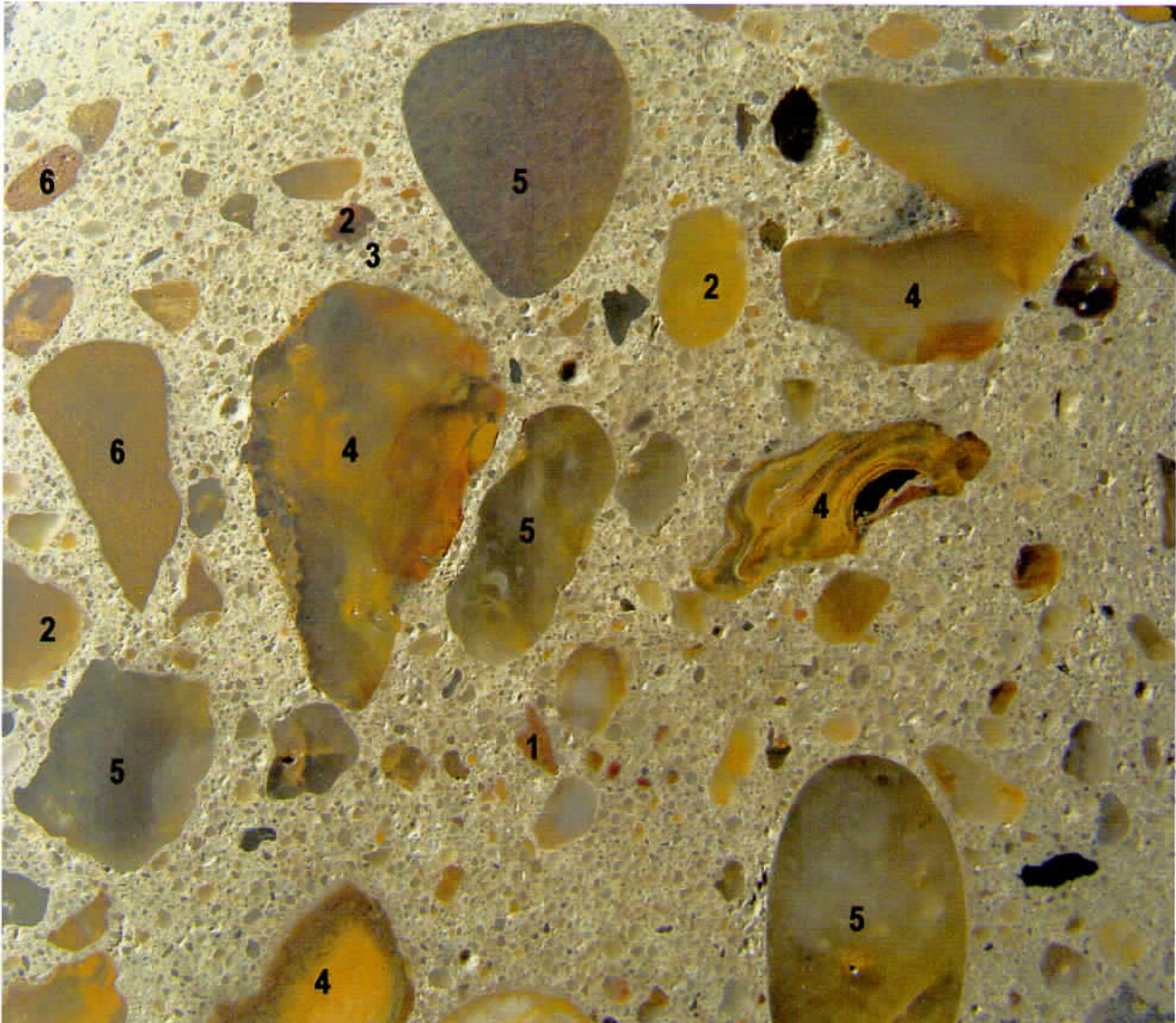
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba

5. No se ha podido observar en ningún caso el comienzo de la reacción que genera el gel que luego se solidifica, pero a la luz del contenido de silicio inestable se habrían originado en la fracción fina de esa composición.
6. Hay cuarzos criptocristalinos que solo alcanzan 21 micras en su dimensión mayor.

Dr. Aldo Antonio Bonalumi
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la del Dr. Aldo Antonio Bonalumi, escrita sobre el texto de su nombre e institución.

Indice litomineralógico del testigo PGA 3

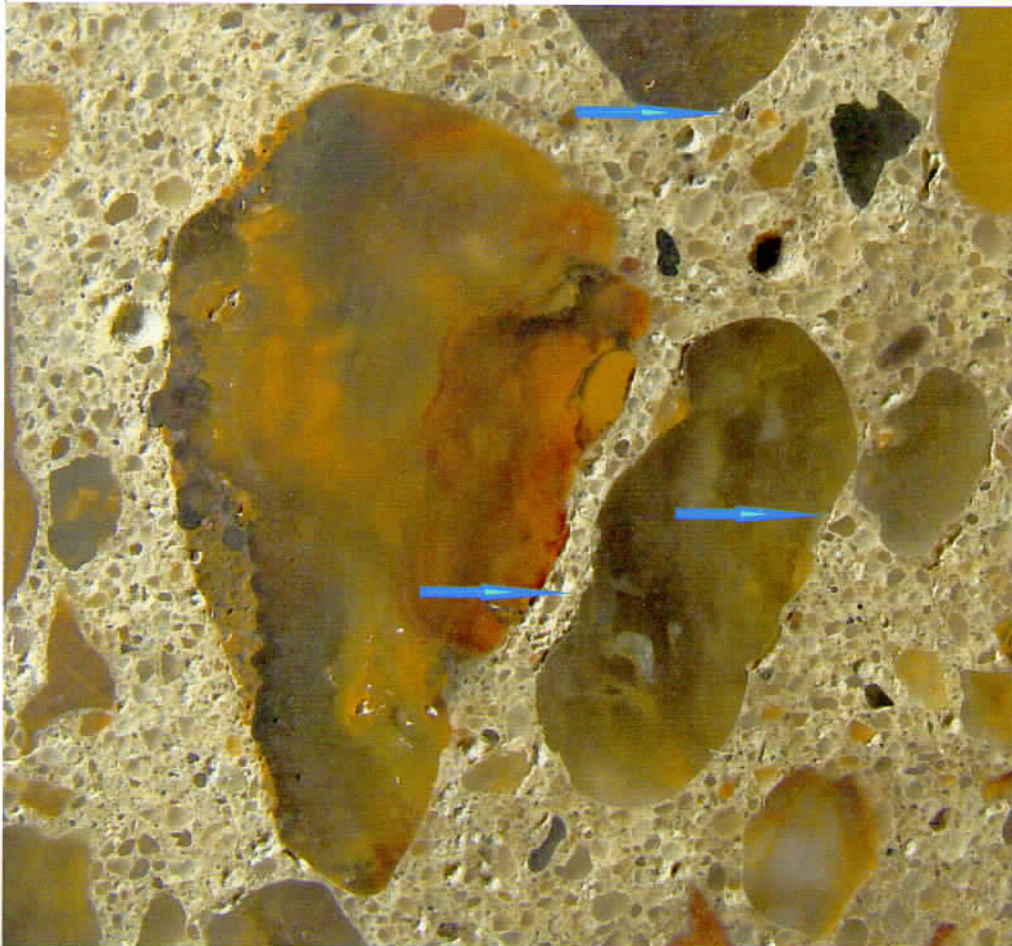
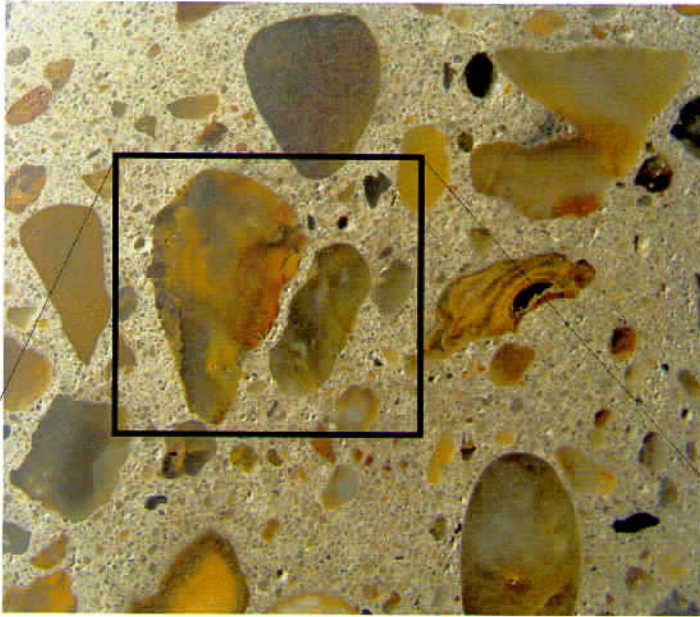


Composición del agregado:

- 1- Basalto. *Con alto grado de oxidación férrica*
- 2- Cuarzo criptocristalino. *Potencialmente reactivo-RAS*
- 3- Hematitas y magnetitas. *Baja resistencia a la compresión*
- 4- Calcedonia radial. *Potencialmente reactiva-RAS*
- 5- Calcedonia masiva. *Potencialmente reactiva-RAS*
- 6- Arenisca de grano fino, *posee componentes limosos.*



Incipientes reacciones perigranulares *PGA 3*

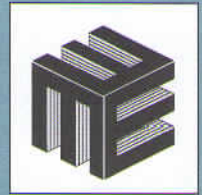


El testigo analizado no presenta microfisuraciones visible, por el contrario se observan incipientes reactividades perigranulares en casi todos los individuos silíceos, tales como 2 - 4 y 5. Las flechas azules indican tal fenómeno. Esto se observó en análisis anteriores.





LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Ciudad Universitaria - Casilla de Correo 916 - C.P. 5000 - Córdoba - República Argentina
Tel.: (0351) 433 4145 - Fax: (0351) 433 4144
E-mail: labestruct@com.uncor.edu
<http://www.efn.uncor.edu/dep/estruct/lab/LABO.HTM>

INFORME DE LABORATORIO

SOLICITANTE:

ENDEIC S.R.L

CÓRDOBA, 26 11 10

INFORME N°: 693 10

OBRA:

Puentes sobre el Río Uruguay -CARU

HOJA 1 DE 3

ENSAYO:

PREPARACIÓN Y ENSAYO DE
TESTIGOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO
NORMA IRAM 1551
NORMA IRAM 1683-90

MATERIALES:

07 (SIETE) TESTIGOS DE HORMIGÓN

RESPONSABLE POR LABORATORIO:

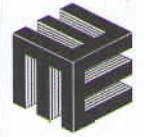
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS
U.N.C.


ING. PATRICIA A. IRICO
DIRECTOR A CARGO

Salvo aclaración explícita en contrario, los resultados consignados refieren exclusivamente a muestra recibida.
No cabe a este laboratorio responsabilidad alguna por el uso indebido o incorrecto que se hiciera de este informe.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
INFORME DE LABORATORIO



INFORME N° 93 10

FECHA: 26 11 10

HOJA: 2 de 3

ENSAYO A COMPRESION DE TESTIGOS DE HORMIGON
NORMA IRAM 1551

IDENTIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS

Identificación de testigos		Fecha extracción	ϕ	Altura Muestra	Altura Testigo H	Relación	Coef. K	Secc. cm ²
S/LABO	S/SOLIC.	S/SOLIC:	(mm)	(mm)	(mm)	H / ϕ	K	
8269-1	PSMP36	S/D	64	72	60	0,938	0,847	32,2
8269-2	PSMP11	S/D	64	66	59	0,922	0,841	32,2
8269-3	PSMP20	S/D	64	63	58	0,906	0,834	32,2
8269-4	PGAP21	S/D	64	93	89	1,391	0,949	32,2
8269-5	PGAVTU	S/D	64	82	82	1,281	0,935	32,2
8269-6	PGSMP4	S/D	64	133	117	1,828	0,986	32,2
8269-7	PGAP22	S/D	64	115	100	1,563	0,965	32,2

Alt. Muestra: Corresponde al promedio de tres mediciones de la altura de la muestra entregada para ensayo.

Alt. Testigo H : Corresponde a la medición de la altura del testigo aserrado y encabezado para ensayo.

Identificación de testigos		Fecha de ensayo	CARGA DE ROTURA		TENSION DE ROTURA		TENSION CORREGIDA	
S/LABO	S/SOLIC.		KN	Tn	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²
8269-1	PSMP36	24/11/2010	132	13,5	41	419	35	355
8269-2	PSMP11	24/11/2010	150	15,3	47	475	40	399
8269-3	PSMP20	24/11/2010	148	15,1	46	470	38	392
8269-4	PGAP21	24/11/2010	186	19,0	58	590	55	560
8269-5	PGAVTU	24/11/2010	88	8,9	27	277	25	259
8269-6	PGSMP4	24/11/2010	121	12,4	38	385	37	380
8269-7	PGAP22	24/11/2010	157	16,0	49	498	47	481

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS
U.N.C.

Trico
ING. PATRICIA A. TRICO
 DIRECTOR A CARGO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
INFORME DE LABORATORIO



INFORME 893 10

FECHA: 26 11 10

HOJA: 3 de 3

METODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSOS
ULTRASONICOS
NORMA IRAM 1683

RESULTADOS DE ENSAYO:

Identificación de testigos		Altura Testigo H' (mm)	Tiempo (μ s)	Velocidad (m/s)
S/LABO	S/SOLIC.			
8269-1	PSMP36	54	12,0	4500
8269-2	PSMP11	56	13,8	4058
8269-3	PSMP20	55	12,7	4331
8269-4	PGAP21	84	21,2	3962
8269-5	PGAVTU	76	19,0	4000
8269-6	PGSMP4	111	24,7	4494
8269-7	PGAP22	93	24,6	3780

Alt. Testigo H' : Corresponde a la altura del testigo aserrado.

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS
U.N.C.


ING. PATRICIA A. IRICO
DIRECTOR A CARGO



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Anexo II

Resumen de Ensayos No Destructivos Realizados al PGA





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Resumen de ensayos no destructivos realizados al PGA

En este anexo se presentan los resultados de los ensayos no destructivos realizados a la estructura del PGA. Los mismos se encuentran ilustrados mediante tablas y graficas donde se indica los valores medidos, promedios, desviaciones y coeficientes de variación, estos parámetros son indicadores de la homogeneidad de los valores medidos.

1. Medición del Recubrimiento (Pachometría)

1.1. Infraestructura

Recubrimiento Medido - Infraestructura PGA			
Punto	Recubrimiento Medido	Punto	Recubrimiento Medido
1	3.5	14	3.3
2	3.3	15	2.5
3	4.0	16	3.4
4	3.0	17	3.2
5	4.0	18	3.0
6	3.0	19	3.0
7	3.0	20	3.4
8	3.5	21	3.5
9	1.5	22	3.5
10	3.5	23	3.5
11	2.0	24	3.7
12	1.5	25	3.5
13	3.5	26	3.0
Promedio	3.1		
S	0.62		
Coefficiente de Variación	0.20		

Tabla 1. Tabla resumen de recubrimientos medidos en la infraestructura del PGA. Los valores resaltados corresponden a los máximos y mínimos.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

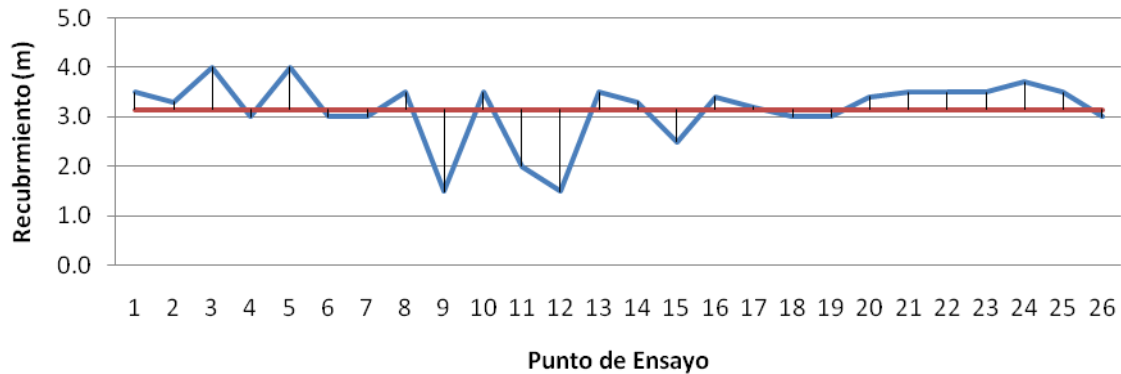


Ilustración 1. Grafica de los valores de recubrimiento medidos en la infraestructura del PGA, correspondiente a los valores de la Tabla 1. La línea roja de la grafica indica el promedio de la muestra.

1.2. Superestructura

Recubrimiento Medido - Superestructura PGA	
Punto	Recubrimiento Medido
1	2.5
2	1.0
3	1.0
4	1.0
5	1.0
6	2.5
7	2.0
8	2.0
9	2.5
10	1.0
11	2.0
12	2.5
13	2.0
Promedio	1.8
S	0.68
Coefficiente de Variación	0.38

Tabla 2. Tabla resumen de recubrimientos medidos en la superestructura del PGA. Los valores resaltados corresponden a los máximos y mínimos.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

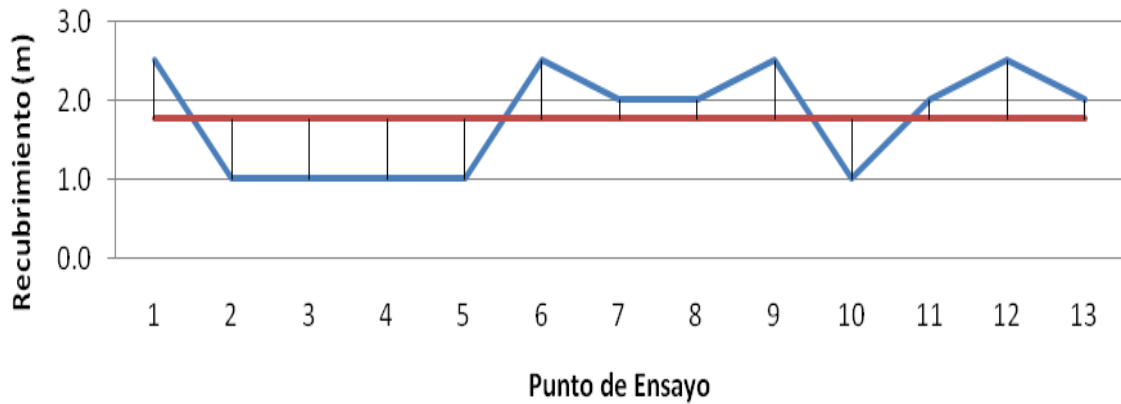


Ilustración 2. Grafica de los valores de recubrimiento medidos en la infraestructura del PGA, correspondiente a los valores de la Tabla 2. La línea roja de la grafica indica el promedio de la muestra.

2. Velocidad de Propagación de Onda (Pulso-Eco)

2.1. Infraestructura

Velocidades Medidas Infraestructura PGA - Viaducto Uruguayo	
Punto	Velocidad Medida
1	4380
2	4399
3	4548
4	4376
5	4543
6	4550
7	4296
Promedio	4442
S	104
Coefficiente de Variación	0,02

Tabla 3. Tabla resumen de velocidades de propagación de onda medidas en la infraestructura del PGA – Viaducto Uruguayo. Los valores resaltados corresponden a los máximos y mínimos.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

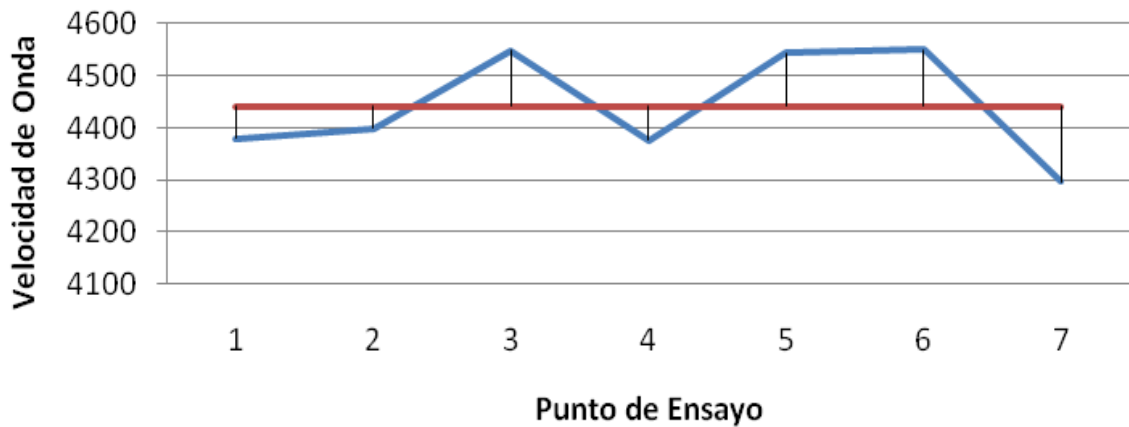


Ilustración 3. Grafica de los valores de propagación de onda medias en la infraestructura del PGA – Viaducto Uruguayo, correspondiente a los valores de la Tabla 3. La línea roja de la grafica indica el promedio de la muestra.

Velocidades Medidas Infraestructura PGA - Puente Principal	
Punto	Velocidad Medida
8	4079,0
9	4233
10	4060
11	4262
12	4270
13	4270
14	4480
15	4503
16	4301
17	4376
Promedio	4283
S	146
Coefficiente de Variación	0,03

Tabla 4. Tabla resumen de velocidades de propagación de onda medidas en la infraestructura del PGA – Puente Principal. Los valores resaltados corresponden a los máximos y mínimos.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

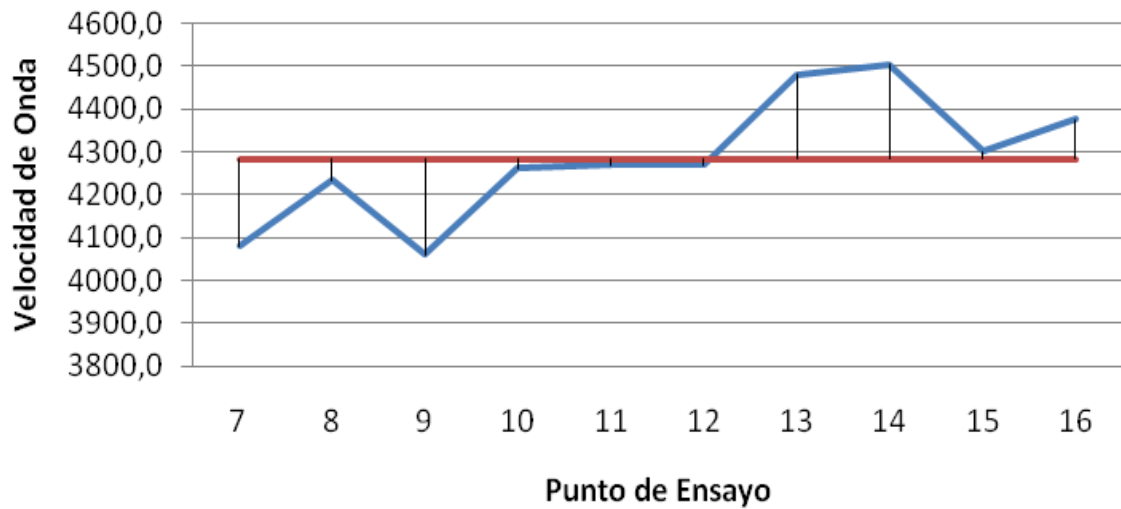


Ilustración 4. Grafica de los valores de propagación de onda medias en la infraestructura del PGA – Puente Principal, correspondiente a los valores de la Tabla 4. La línea roja de la grafica indica el promedio de la muestra.

Velocidades Medidas Infraestructura PGA – Viaducto Argentino	
Punto	Velocidad Medida
18	4667
19	4928
20	5114
21	4702
22	4748
23	4748
24	4712
25	4784
26	4854
27	5040
28	5296
29	5350
30	5087
31	5289
32	5353
Promedio	4978
S	247
Coefficiente de Variación	0,05

Tabla 5. Tabla resumen de velocidades de propagación de onda medidas en la infraestructura del PGA – Viaducto Argentino. Los valores resaltados corresponden a los máximos y mínimos.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

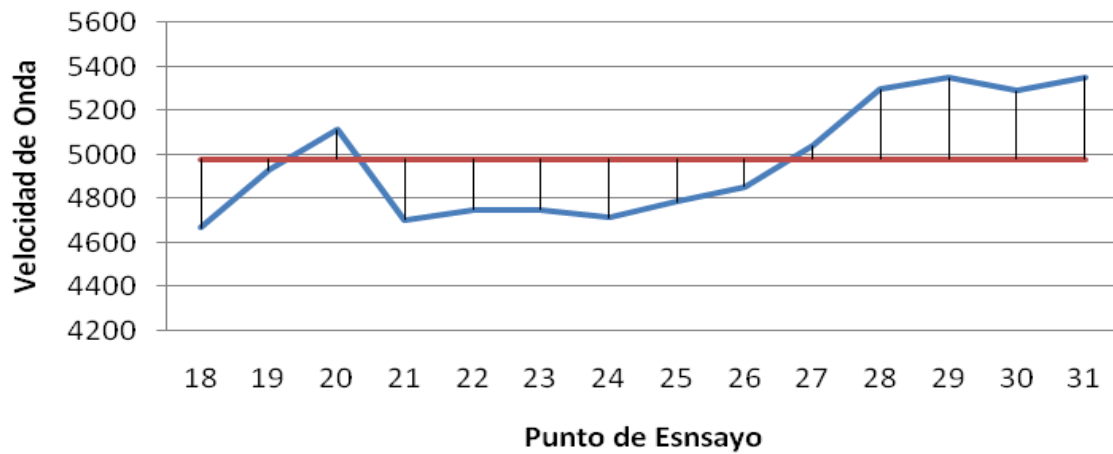


Ilustración 5. Grafica de los valores de propagación de onda medias en la infraestructura del PGA – Viaducto Argentino, correspondiente a los valores de la Tabla 5. La línea roja de la grafica indica el promedio de la muestra.

2.2. Superestructura

Velocidades Medidas Superestructura PGA - Viaducto Uruguayo	
Punto	Velocidad Medida
1	4067
2	4067
3	4227
4	4226
5	4226
7	4176
8	4176
9	4165
10	3946
11	3946
12	4116
Promedio	4122
S	104
Coefficiente de Variación	0,03

Tabla 6. Tabla resumen de velocidades de propagación de onda medidas en la superestructura del PGA – Viaducto Uruguayo. Los valores resaltados corresponden a los máximos y mínimos.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

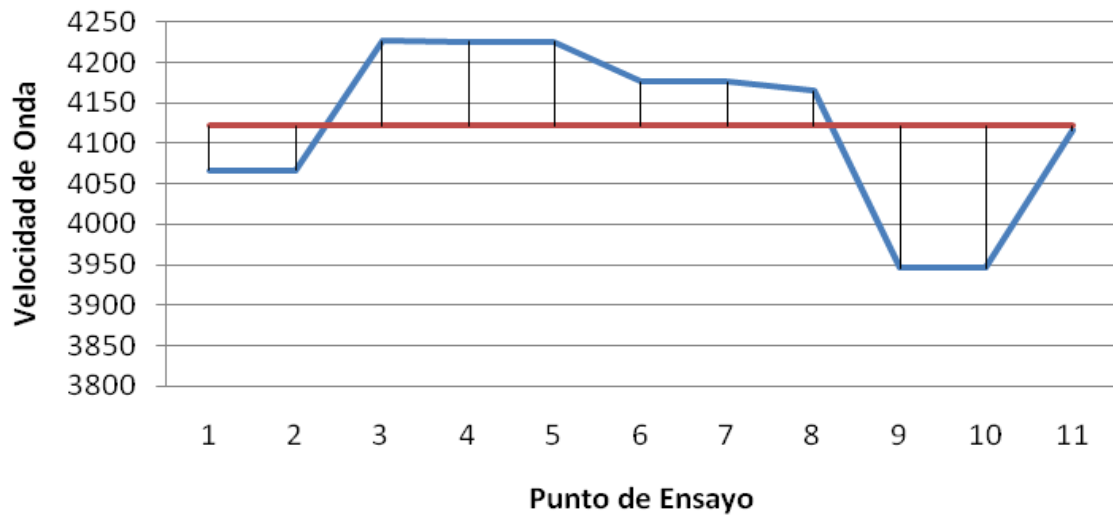


Ilustración 6. Grafica de los valores de propagación de onda medias en la superestructura del PGA – Viaducto Uruguayo, correspondiente a los valores de la Tabla 6. La línea roja de la grafica indica el promedio de la muestra.

Velocidades Medidas - Superestructura PGA Puente Principal	
Punto	Velocidad Medida
13	3644
14	3671
15	3282
17	3476
18	3760
19	3449
20	3271
21	3605
22	3272
23	3760
24	3449
25	3115
26	3404
Promedio	3474
S	205
Coefficiente de Variación	0,06

Tabla 7. Tabla resumen de velocidades de propagación de onda medidas en la superestructura del PGA – Puente Principal. Los valores resaltados corresponden a los máximos y mínimos.





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

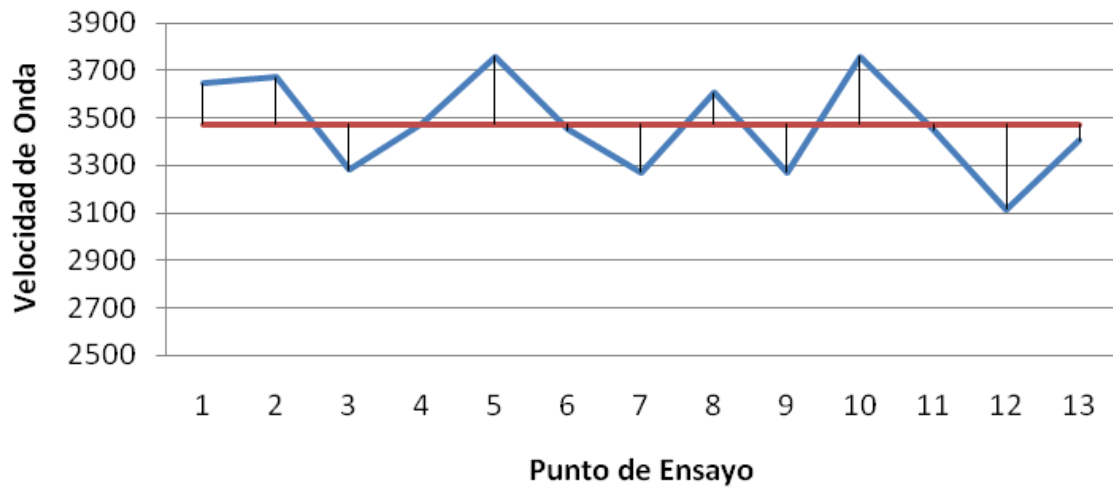


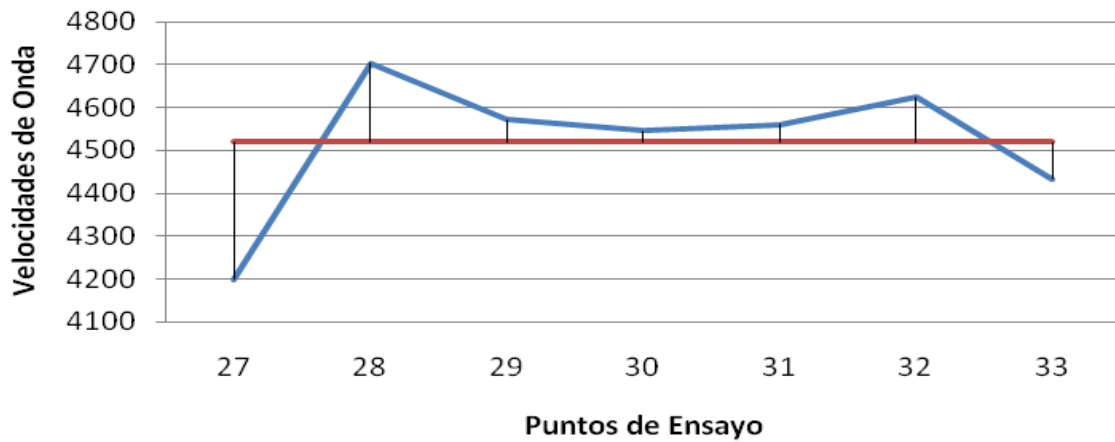
Ilustración 5. Grafica de los valores de propagación de onda medias en la superestructura del PGA – Puente Principal, correspondiente a los valores de la Tabla 7. La línea roja de la grafica indica el promedio de la muestra.

Velocidades Medidas - Superestructura PGA Viaducto Argentino	
Punto	Velocidad Medida
27	4199
28	4704
29	4571
30	4545
31	4560
32	4624
33	4433
Promedio	4519
S	151
Coefficiente de Variación	0.03

Tabla 8. Tabla resumen de velocidades de propagación de onda medidas en la superestructura del PGA – Viaducto Argentino. Los valores resaltados corresponden a los máximos y mínimos.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”



. Ilustración 8. Grafica de los valores de propagación de onda medias en la superestructura del PGA – Viaducto Argentino, correspondiente a los valores de la Tabla 8. La línea roja de la grafica indica el promedio de la muestra.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Anexo III

Análisis Detallado de Nivelación de Tablero del Puente Principal – PGA





Comisión Administradora del Río Uruguay

CARU

**Análisis Detallado de Nivelación de Tablero del
Puente Principal – Puente General Artigas
Conexión internacional entre las ciudades de
Colón (Argentina) y Paysandú (Uruguay)**

Elaborado por:



INvestigación, **D**esarrollos en **I**ngeniería y **G**estión de **O**bras



Universidad Nacional de Córdoba – Argentina



Universidad de la República – Uruguay

Noviembre de 2010



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Tabla de Contenidos

TABLA DE CONTENIDOS	2
1. ALCANCES Y OBJETIVO	3
2. INTRODUCCIÓN	3
3. NIVELACIÓN DEL TABLERO DEL PUENTE PRINCIPAL DEL PGA	3
4. ESTIMACIÓN DE DEFORMACIONES DIFERIDAS EN EL TIEMPO DEBIDO A <i>CREEP</i> O FLUENCIA LENTA DEL HORMIGÓN	5
5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	7
6. RESUMEN Y CONCLUSIONES	8

Apéndice I: Perfiles Longitudinales de Nivelación.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

1. Alcances y Objetivo

El objetivo de este documento es presentar el análisis detallado de la nivelación realizada al tablero del puente principal, del Puente General Artigas (PGA).

Este informe se ha elaborado a la finalización de las tareas de campaña de nivelación señaladas en la Propuesta Técnica de este trabajo y en las cuales se colocaron puntos fijos sobre el tablero del puente principal y se determinó la cota vertical de cada uno de esos puntos. Esto permitió obtener un perfil del puente que se utilizó para el análisis del comportamiento de la estructura a lo largo del tiempo, a través de comparaciones realizadas con la nivelación teórica de proyectos y una nivelación disponible que data del año 2000.

El alcance de este informe es el de evaluar la evolución de los niveles de los puntos de monitoreo seleccionados (ejes de pilas y centros de tramos) a lo largo del tiempo. Los resultados de este trabajo, junto con la inspección realizada y los modelos numéricos elaborados permiten sacar conclusiones sobre el estado de conservación del puente en su conjunto, tal como se describe por separado en el Informe de Evaluación del puente.

2. Introducción

Las estructuras de hormigón armado, convencional o pretesado, pueden experimentar un aumento de las deformaciones debido a las cargas permanentes a lo largo de su vida útil como consecuencia del fenómeno de fluencia lenta o *creep* del hormigón. Las deformaciones (flechas) asociadas a este comportamiento no indican, en general, deficiencia estructural o agotamiento seccional de los elementos portantes. Sin embargo, pueden acarrear inconvenientes en el uso de las estructuras, si los valores de deformaciones crecen significativamente.

Debido a este efecto, en general, las estructuras de cierto porte suelen construirse con alguna contraflecha, de modo tal que con el paso del tiempo los descensos por fluencia lenta no modifiquen el perfil de la estructura diseñada.

En este informe se presenta un análisis realizado mediante la modelación numérica del PGA para determinar el orden de magnitud de las flechas esperadas por *creep* en la estructura, a tiempo infinito. Esto permitirá monitorear las deformaciones del puente, mediante nivelaciones de tablero, rápidamente y determinar si las flechas medidas se encuentran dentro de límites tolerables o su existencia debe investigarse en mayor profundidad.

3. Nivelación del tablero del puente principal del PGA

Para la nivelación del tablero del puente principal del PGA se dispusieron puntos fijos sobre los cordones de vereda, tal como se observa en la Figura 1. Dichos puntos servirán para que las futuras nivelaciones que se realicen se hagan sobre los mismos puntos, lo que facilita y agiliza la comparación de los resultados.





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

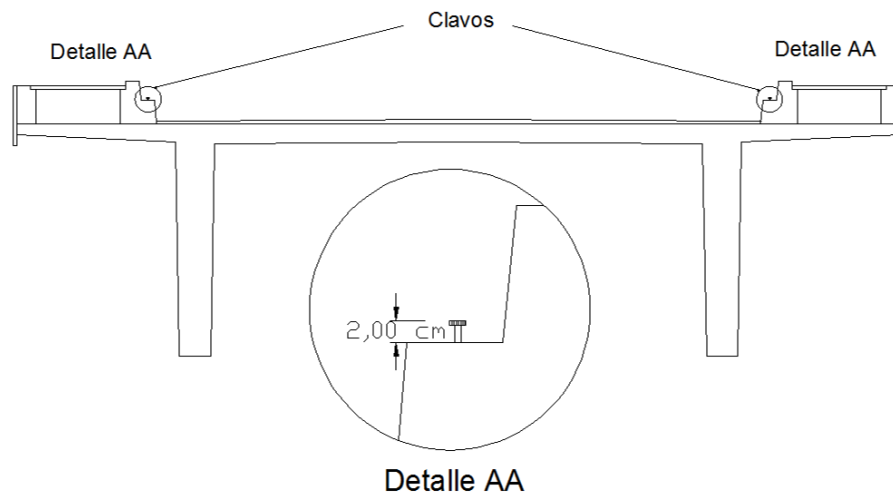


Figura 1. Esquema de la ubicación de los puntos fijos colocados sobre el tablero del PGA.

Sobre el puente principal se relevaron los niveles de las progresivas coincidentes con los ejes de las pilas principales (Pila 11 y Pila 12), los niveles de cuatro progresivas intermedias a las juntas extremas del puente principal y el eje de pilas principales, y los niveles de seis progresivas intermedias a los ejes de cada pila principal. De esta manera, se nivelaron 36 puntos sobre el puente principal del PGA. El sentido de avance de la nivelación fue desde el Estribo Uruguayo hacia el Estribo Argentino. En la Figura 2 se observa un esquema de los puntos relevados sobre el puente principal.

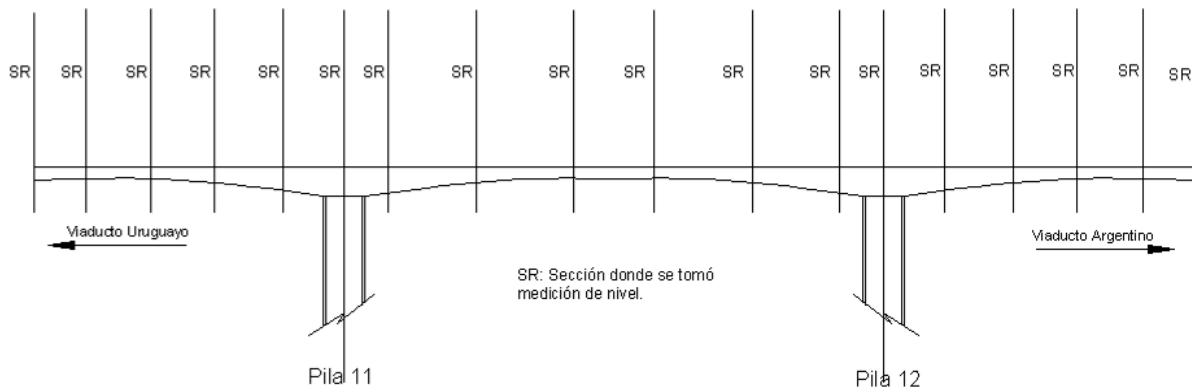


Figura 2. Esquema Puente Principal, se encuentran indicadas las secciones donde se tomaron mediciones de nivel.

En la Tabla 1 se presenta la nivelación realizada a la estructura del puente principal del PGA, realizada en Agosto de 2010. Todas las cotas se refieren a la rasante del puente, a fin de que los valores resulten comparables con las Cotas de Proyecto y con las mediciones anteriores realizadas a la estructura. En el Apéndice I del presente informe se encuentra una gráfica del perfil longitudinal del tablero del puente principal.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Punto	Progresiva	Cota de Rasante	Observaciones
310	6330.810	36.284	Junta Extrema
311	6330.810	36.298	Junta Extrema
320	6349.907	36.822	
321	6349.907	36.839	
330	6369.704	37.364	
331	6369.704	37.344	
340	6389.501	37.860	
341	6389.501	37.875	
350	6409.298	38.299	
351	6409.298	38.277	
360	6427.610	38.598	Pila 11
361	6427.610	38.586	Pila 11
370	6447.610	38.801	
371	6447.610	38.794	
380	6467.484	38.921	
381	6467.484	38.902	
390	6487.421	38.925	
391	6487.421	38.939	Eje de PP
400	6507.358	38.911	
401	6507.358	38.899	
410	6527.295	38.883	
411	6527.295	38.882	
420	6547.610	38.775	
421	6547.610	38.773	
430	6567.610	38.568	Pila 12
431	6567.610	38.567	Pila 12
440	6587.106	38.239	
441	6587.106	38.230	
450	6607.043	37.835	
451	6607.043	37.820	
460	6626.980	37.310	
461	6626.980	37.301	
470	6646.918	36.781	
471	6646.918	36.782	
480	6664.709	36.233	Junta Extrema
481	6664.709	36.237	Junta Extrema

Tabla 1. Nivelación actual del tablero del puente principal – PGA. Por cada progresiva se presentan dos valores de cotas medios, uno a la izquierda y otro a la derecha.

4. Estimación de deformaciones diferidas en el tiempo debido a Creep o fluencia lenta del hormigón

Para el estudio del comportamiento de la estructura del puente principal del PGA se desarrolló para este proyecto un modelo numérico de elementos finitos utilizando el programa SAP2000 v10. En el modelo se representaron las características geométricas de la





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

estructura que figuran en los planos del proyecto del puente y se utilizaron las propiedades mecánicas de los materiales que se relevaron como parte de este trabajo (esto se informa por separado en el Informe de Evaluación del PGA). Además, se tuvieron en cuenta las acciones debido al pretensado, ya que el mismo contribuye a reducir las flechas ocasionadas por las cargas permanentes. Para una buena representación geométrica de la estructura se discretizó el modelo en 34 tramos. En la Figura 3 se observa una imagen del modelo numérico desarrollado.

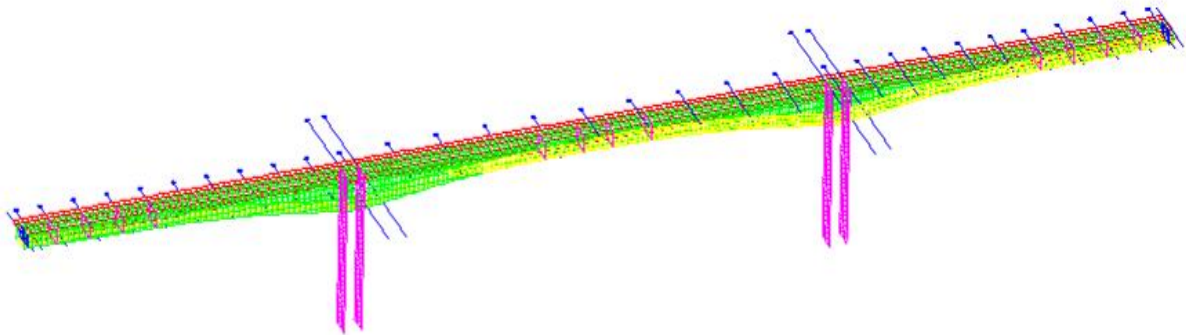


Figura 3. Modelo numérico desarrollado para el puente principal del PGA. Las líneas azules que se observan en el modelo representan las 35 secciones tomadas.

Las características de los cables de postesado se obtuvieron de los planos del puente. Estos elementos son torones de 7 mm de diámetro y se estimó la tensión de tesado inicial en 10000 kg/cm^2 (asumiendo que el tesado inicial se realiza a una tensión máxima que se encuentra entre un 60% a 70% del límite de fluencia del cable). Se asumió una pérdida de la tensión de tesado del orden de 25%, a tiempo infinito, lo que se considera un valor conservador para este tipo de elementos. En el modelo numérico se respetó la distribución de los cables de postesado que figura en los planos de proyecto.

Para la determinación de la flecha a tiempo infinito del puente principal se consideró un coeficiente de Creep o fluencia lenta, igual a 5, valor que se adoptó teniendo en cuenta el elevado módulo de elasticidad instantáneo que presenta la estructura (4500000 tn/m^2 , valor obtenido en mediciones ultrasónicas, tal como se describe en el Informe de Evaluación del PGA).

Los resultados de la modelación numérica indican que podría esperarse una contraflecha en el tablero del puente principal respecto al perfil de la rasante del proyecto a tiempo infinito de aproximadamente 17 cm. Esto se debe a que los efectos del creep se aplican tanto a las flechas negativas (cargas permanentes) como a las positivas (pretensado). Este comportamiento puede comprobarse si se comparan las nivelaciones realizadas en el puente, tal como se describe a continuación. Se destaca sin embargo que se trata de valores orientativos, y que la contraflecha estimada está basada en una tensión inicial de tiro de los tendones postesados estimada, cuya variación puede modificar significativamente la flecha resultante del efecto combinado del peso propio y del postesado.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

5. Análisis de los resultados

Para el análisis de la nivelación del tablero del puente principal del PGA se utilizó la nivelación de proyecto del PGA (según planos) y una nivelación realizada en el año 2000 por el Ingeniero Ponce correspondiente a una inspección y evaluación del PGA.

A continuación se presenta una gráfica donde se observa el perfil longitudinal correspondiente a la geometría de proyecto, el perfil longitudinal correspondiente a la nivelación realizada actualmente, el perfil longitudinal teórico que debería presentar el puente si al final de la construcción hubiera sido exactamente el perfil de proyecto, y el perfil longitudinal del puente principal correspondiente a la nivelación realizada en el año 2000. Dado que la nivelación del año 2000 se realizó únicamente sobre las pilas del puente principal y sobre el centro del mismo, sólo se cuenta con tres puntos comparables (Pila 11, Centro del Puente Principal y Pila 12) entre las nivelaciones disponibles. En el gráfico se encuentran indicadas las diferencias de cota registradas entre las distintas nivelaciones.

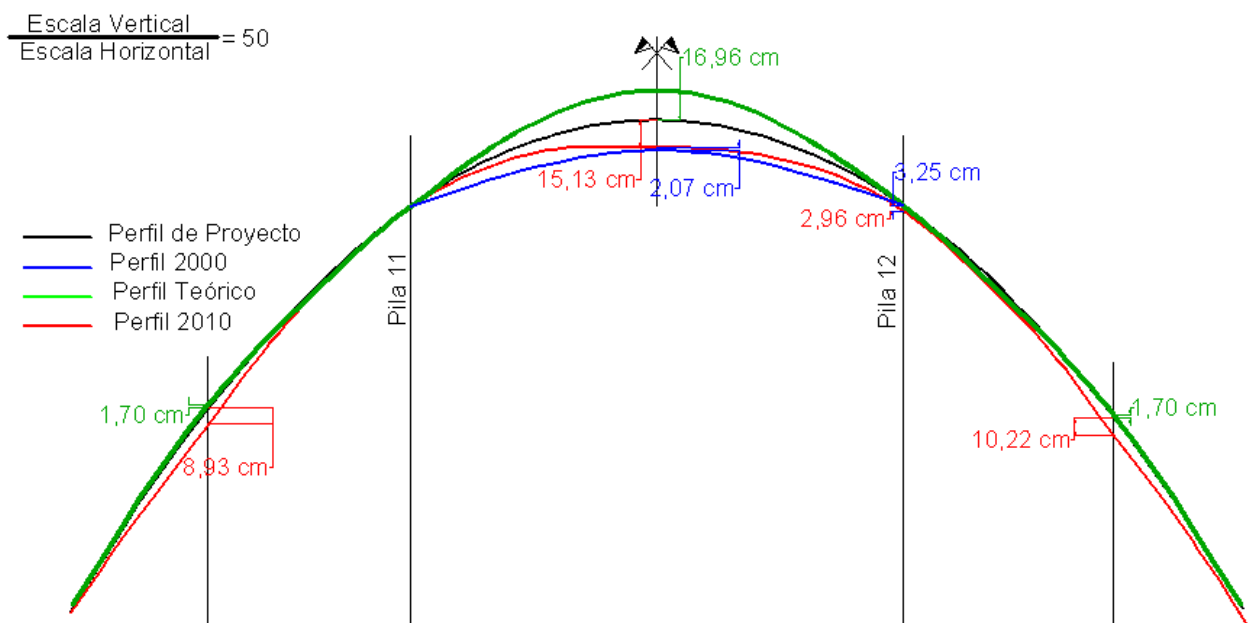


Figura 4. Superposición de Perfiles longitudinales.

Para realizar la comparación de los diferentes perfiles se tomó como punto fijo la Pila 11, independizando de este modo al tablero de las posibles deformaciones que podrían presentarse en las pilas.

El análisis de la comparación de los distintos perfiles longitudinales permite establecer los siguientes comentarios:

- Si se compara el perfil longitudinal del año 2000 y el perfil longitudinal de proyecto, se observa que el centro del tramo principal tenía una diferencia de 17,20 cm (el perfil relevado se encuentra por debajo del de proyecto). El significado de esta diferencia se intenta describir con los puntos que se presentan a continuación.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

- Si se compara el perfil longitudinal actual y el perfil longitudinal correspondiente a la nivelación del año 2000, se observa una “elevación” del punto central del puente de 2.07 cm. Este fenómeno habría ocurrido en el lapso de 10 años. Este comportamiento es consistente con el comportamiento global predicho con el modelo numérico.
- Se observa que actualmente el puente se encuentra por debajo de las cotas de proyecto, aproximadamente 15 cm en el centro del tramo principal, y unos 9 cm a 10 cm en los tramos laterales.
- Los puntos señalados anteriormente, junto con los resultados del modelo numérico parecerían indicar que durante la construcción del puente se podría haber incurrido en un error de nivelación de la clave del puente de unos 20 cm (este valor se considera dentro de los límites admisibles, habida cuenta la longitud del vano principal). A partir de este problema de nivelación, el puente estaría comportándose de acuerdo a lo observado con el modelo, de acuerdo con la elevación del punto central del puente que surge de la comparación de las dos nivelaciones recientes. La falta de datos sobre una nivelación “conforme a obra” hace difícil la confirmación de estos supuestos. El monitoreo futuro del tramo principal utilizando los puntos fijos establecidos podría arrojar mayor información para confirmar o rechazar estas hipótesis.

En el Apéndice I del presente informe se encuentran imágenes ampliadas de cada uno de los perfiles longitudinales, así como también la imagen de la Figura 4.

6. Resumen y conclusiones

En este documento se llevó a cabo una descripción del análisis de la nivelación del tablero del puente principal del PGA, a la luz de la estimación de las deformaciones de fluencia lenta (*creep*) y del análisis de los antecedentes disponibles. A partir de lo señalado anteriormente, se pueden resumir las siguientes conclusiones:

- La diferencia de cotas que se observan entre la nivelación de proyecto y la nivelación actual podría atribuirse a defectos en el proceso constructivo del puente principal, que se encuentran dentro de límites razonables en relación a la envergadura de la estructura.
- La disminución de la flecha en el centro del tramo central del puente principal que se computa comparando las últimas dos nivelaciones (año 2000 vs. Año 2010), concuerdan con el comportamiento global a tiempo infinito estimado con el modelo numérico elaborado.
- Se estima que no deberían producirse movimientos verticales significativos debido a fluencia lenta en el puente principal de la estructura, ya que los mismos deberían haberse desarrollado por completo luego de más de 30 años de servicio del puente.
- Cabe destacar que no se observaron, en los distintos elementos que conforman el puente principal del PGA, fisuras, grietas o indicios de la ocurrencia de flechas significativas en el tablero, lo que concuerda con las estimaciones realizadas.





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

- La comparación de nivelaciones muestra que no habría descensos significativos en las pilas principales del puente.
- Los descensos del tablero debido a cambios térmicos estimados con los modelos numéricos están dentro de las discrepancias observadas entre las nivelaciones disponibles, reforzando las conclusiones que se exponen en este documento.
- Por último se recomienda realizar nivelaciones periódicas al tablero principal del PGA a fin de poder estudiar en detalle el comportamiento del mismo y corroborar las hipótesis formuladas. A estos efectos se recomienda utilizar los puntos fijos establecidos en este trabajo, lo que facilitará y estructurará las comparaciones de las nivelaciones.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Apéndice I

Perfiles Longitudinales de Nivelación

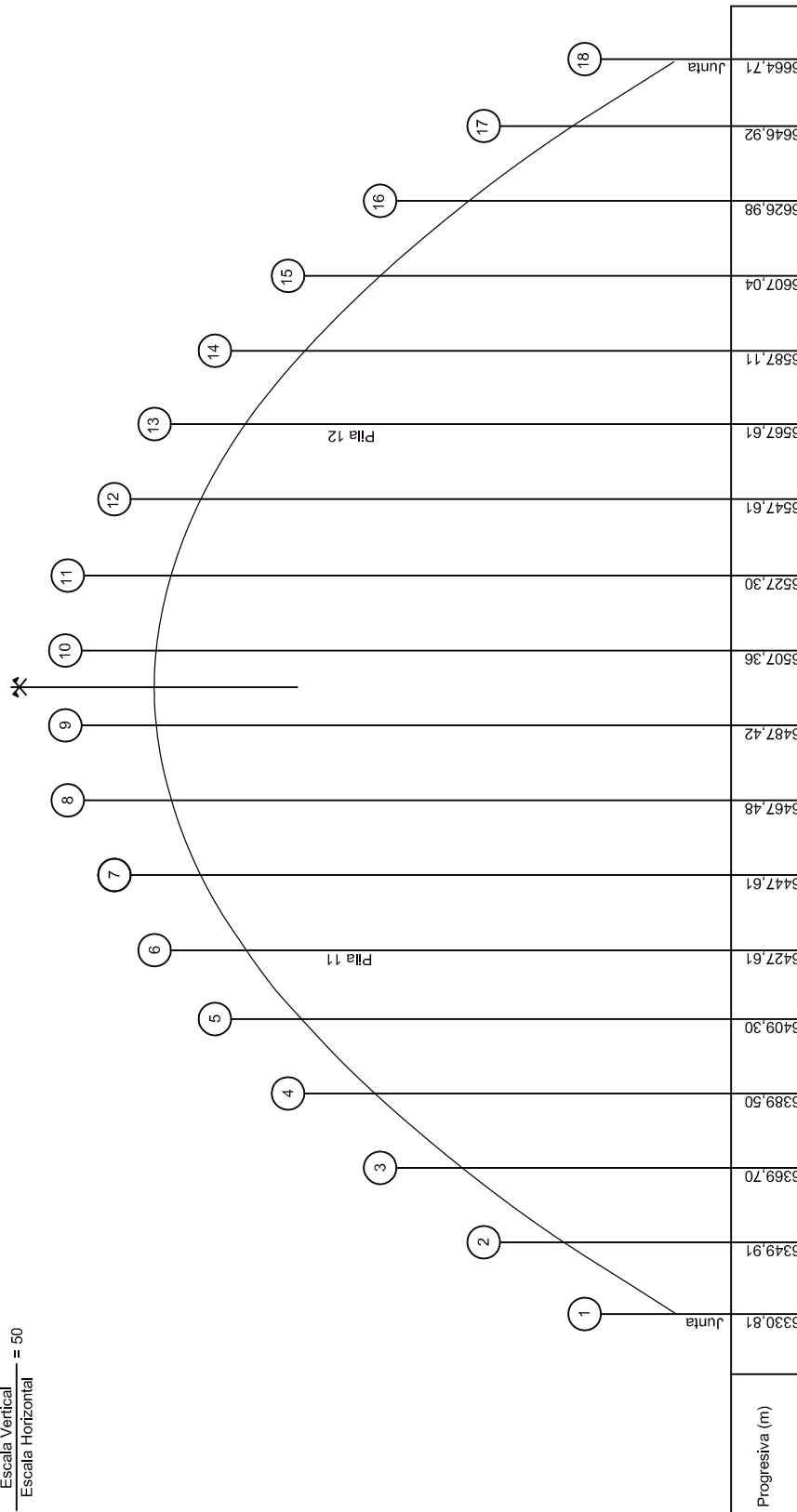




Obra: "Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay"

Perfil Longitudinal de Proyecto - Puente Principal, PGA

Escala Vertical = 50
Escala Horizontal

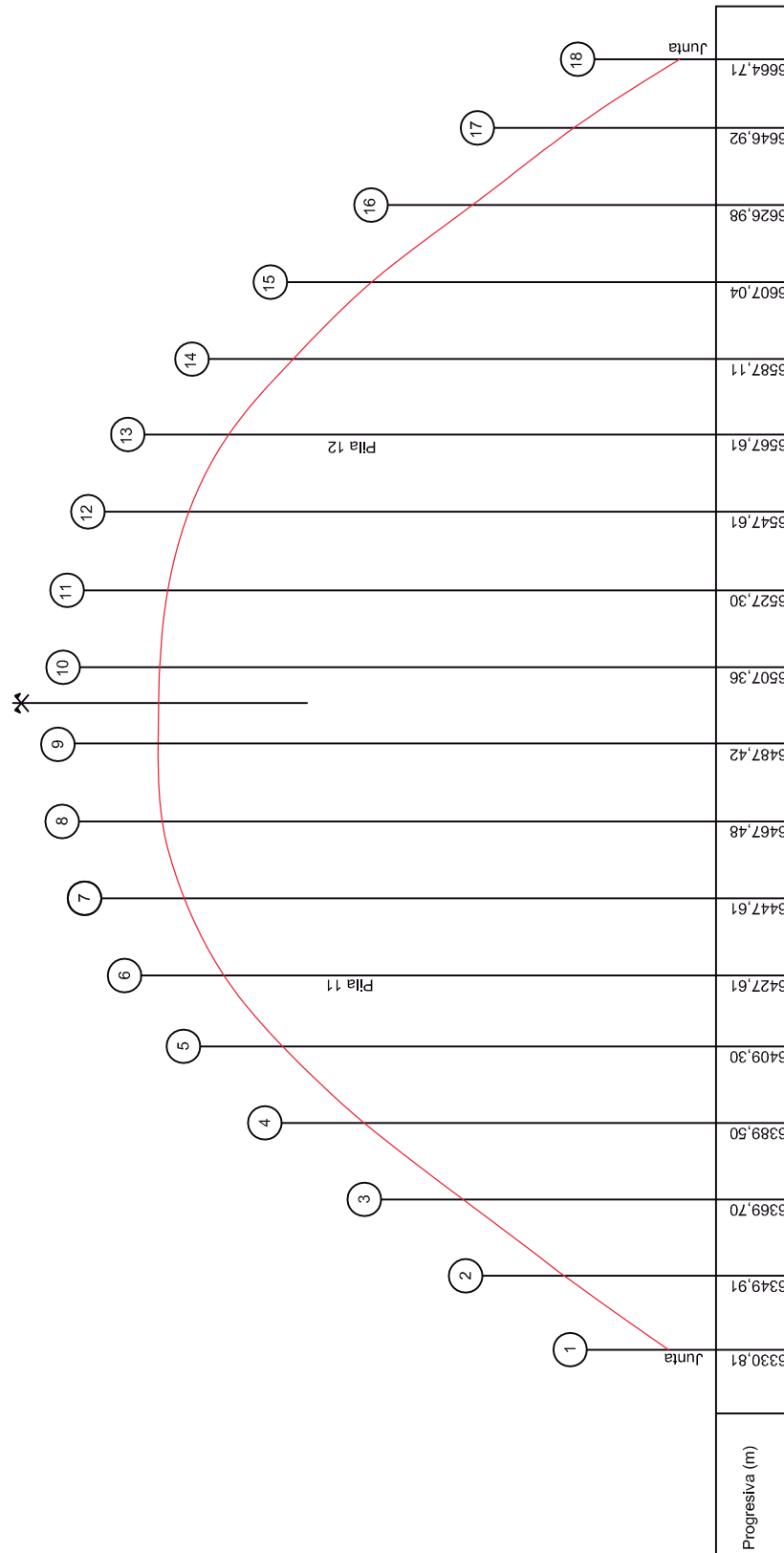




Obra: "Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay"

Perfil Longitudinal de Nivelación 2010 - Puente Principal, PGA

— Escala Vertical = 50
— Escala Horizontal

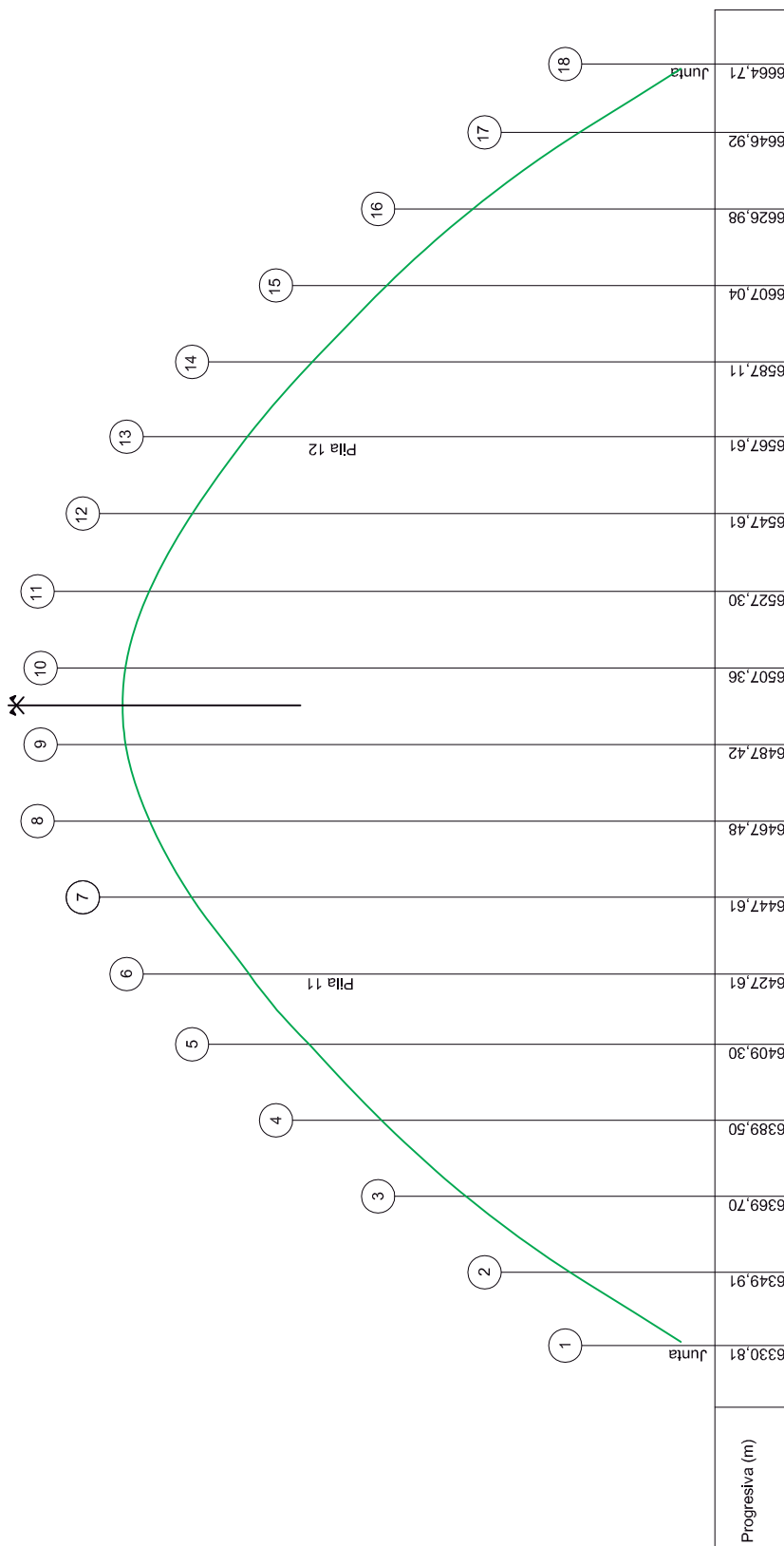




Obra: "Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay"

Perfil Longitudinal Teórico - Puente Principal, PGA

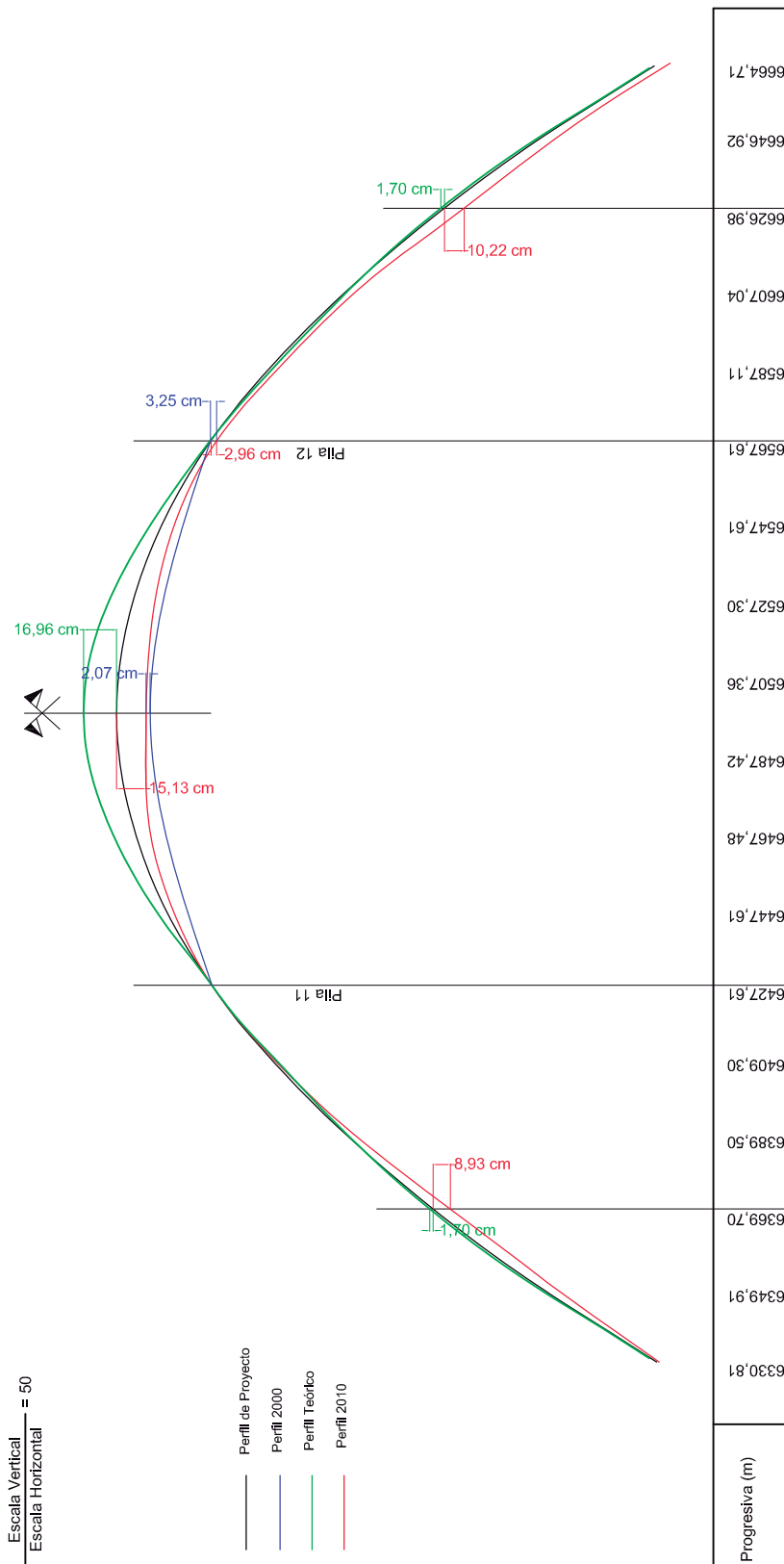
Escala Vertical = 50
Escala Horizontal





Obra: "Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay"

Superposición de Perfiles Longitudinales - Puente Principal, PGA





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Anexo IV

Registros de Ensayos Dinámicos Realizados al PGA





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

1. Acelerogramas y espectros de aceleración de los registros obtenidos en el tablero del PGA

1.1. Puente Principal

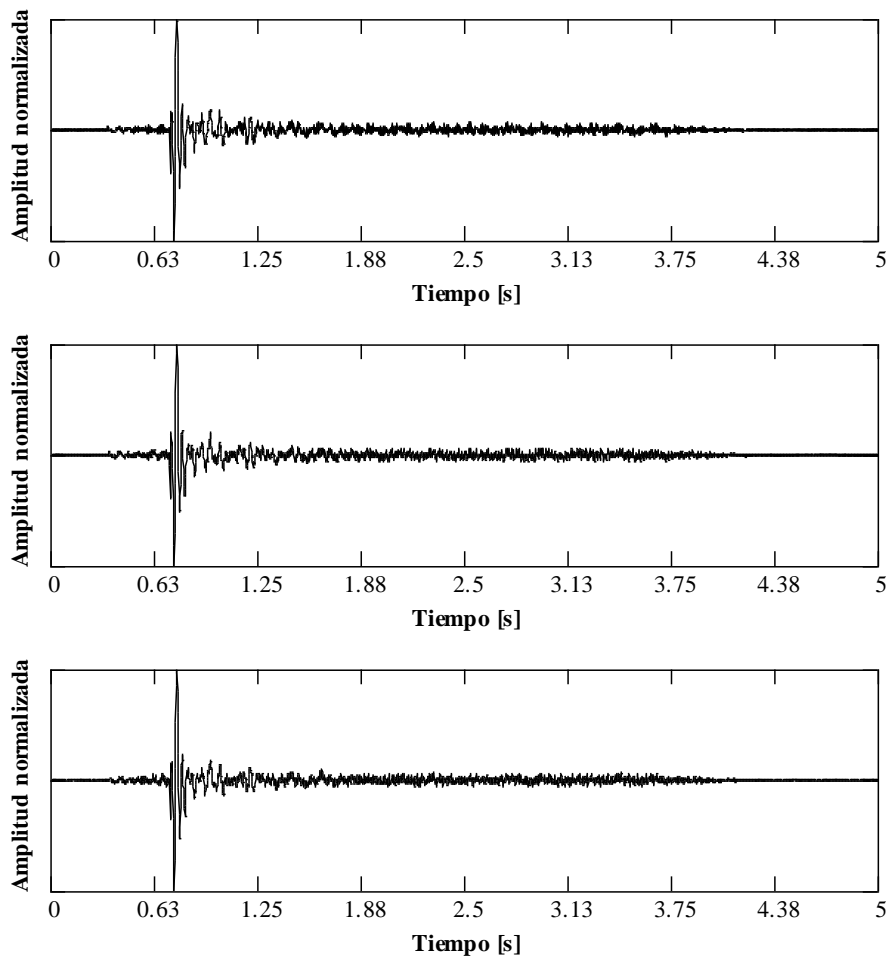


Figura 1. Acelerogramas registrados en la sección central del puente principal, sobre el eje longitudinal del tablero, con impulsos centrados sobre el tablero



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

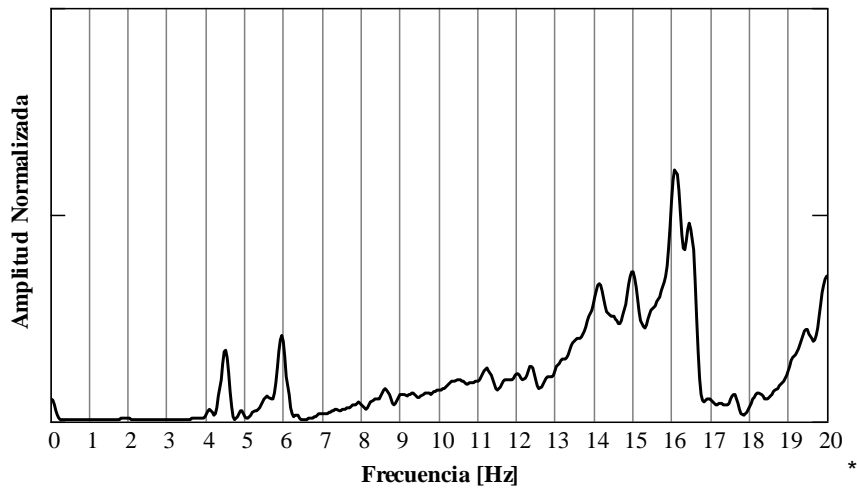


Figura 2. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 1

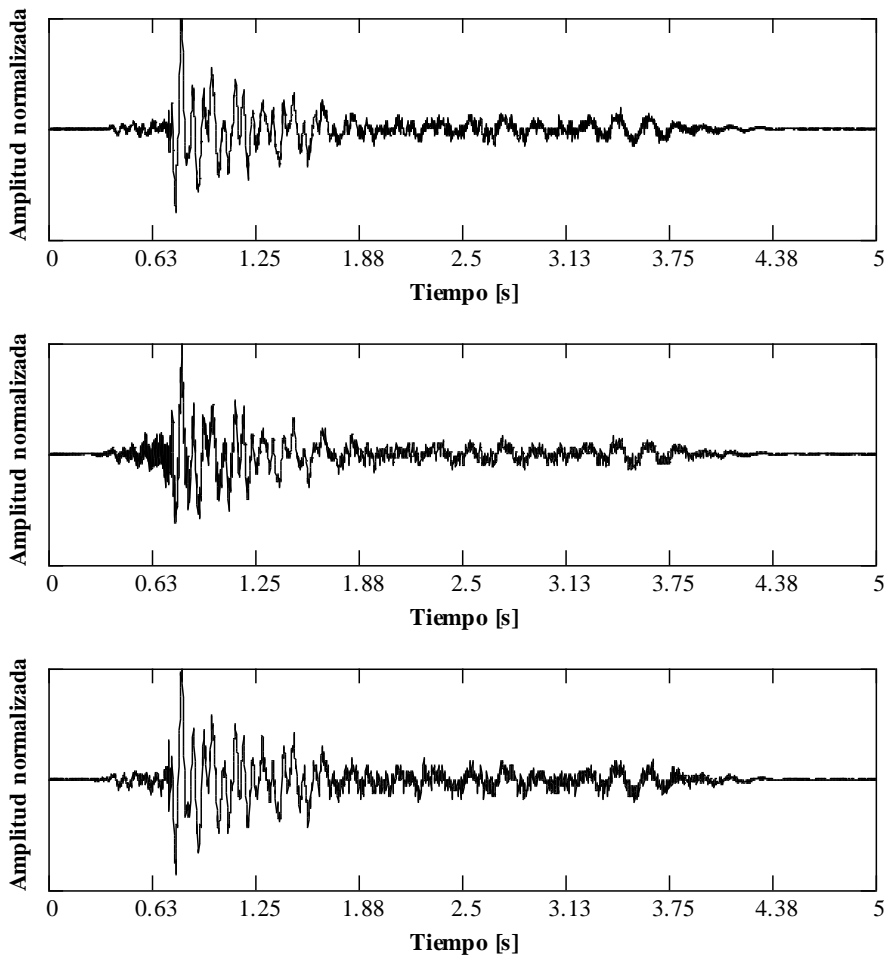


Figura 3. Acelerogramas registrados en la sección central del puente principal, sobre el lateral de la viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

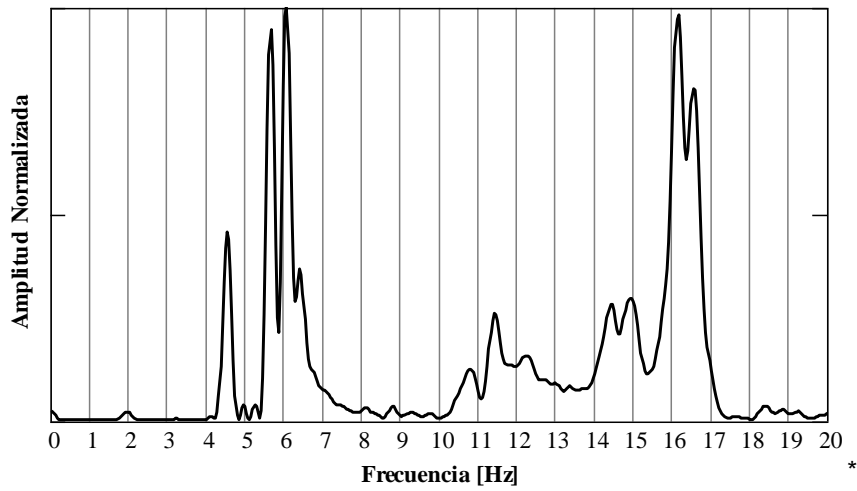


Figura 4. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 3

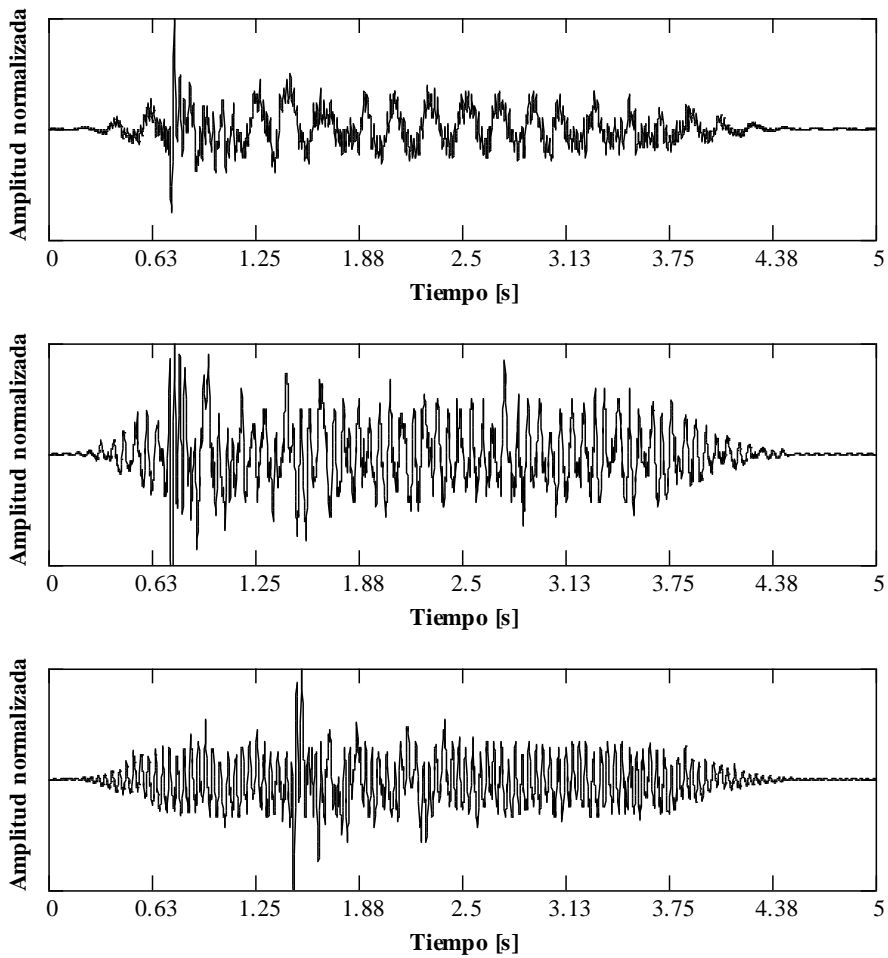


Figura 5. Acelerogramas registrados en la sección central del puente principal, sobre el eje longitudinal del tablero, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

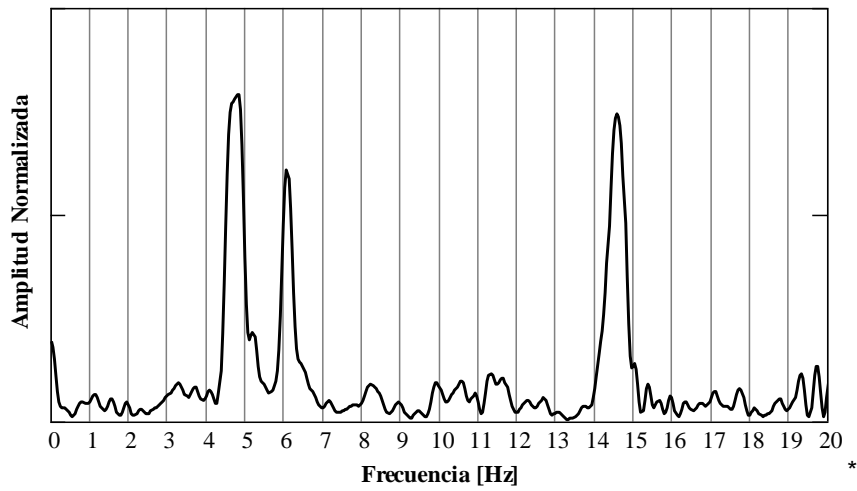


Figura 6. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 5

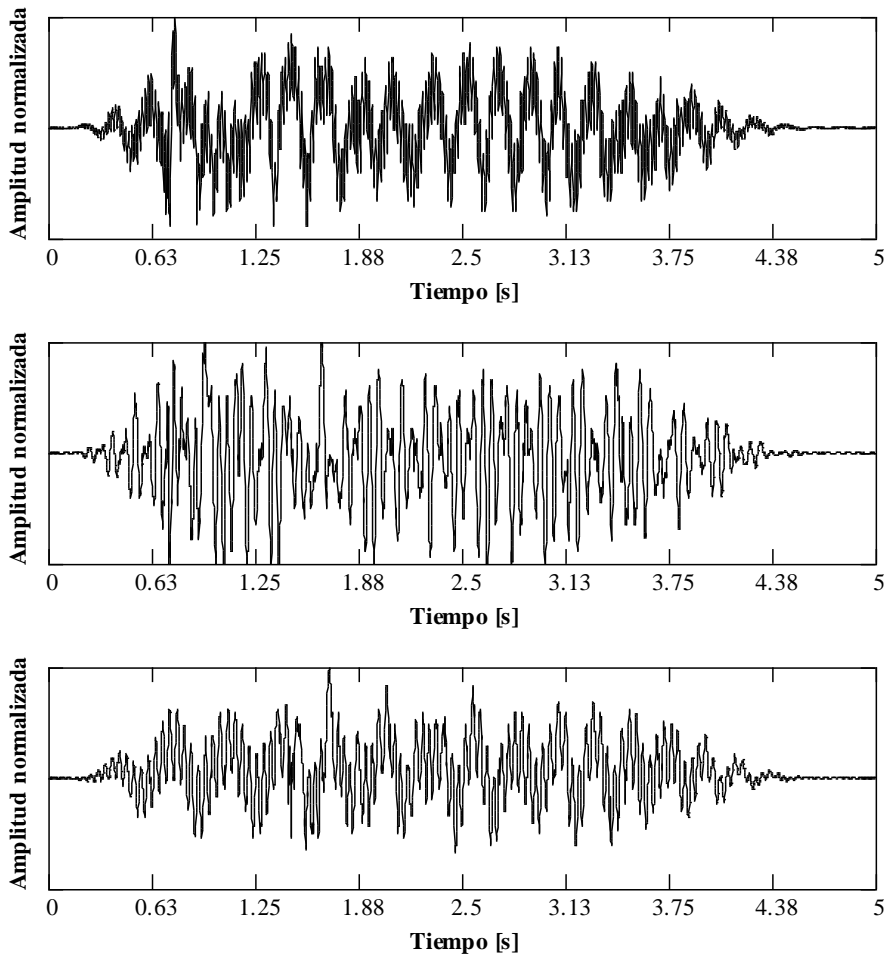


Figura 7. Acelerogramas registrados en la sección central del puente principal, sobre el lateral de la viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

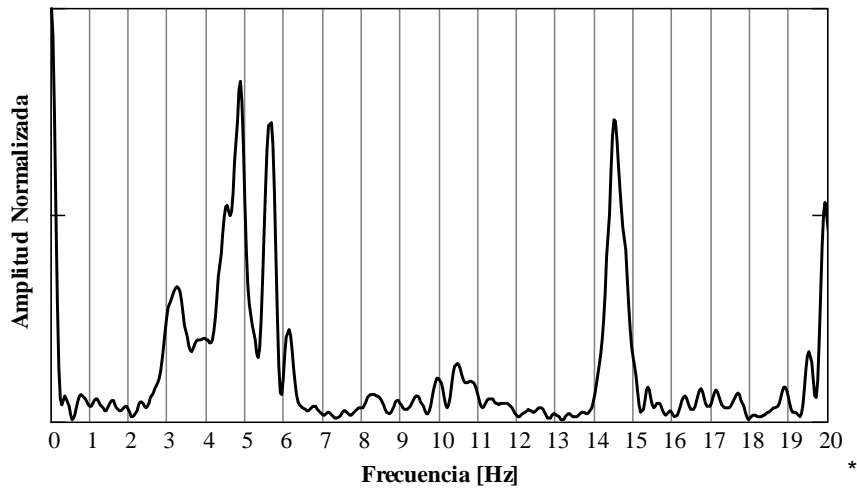


Figura 8. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 7

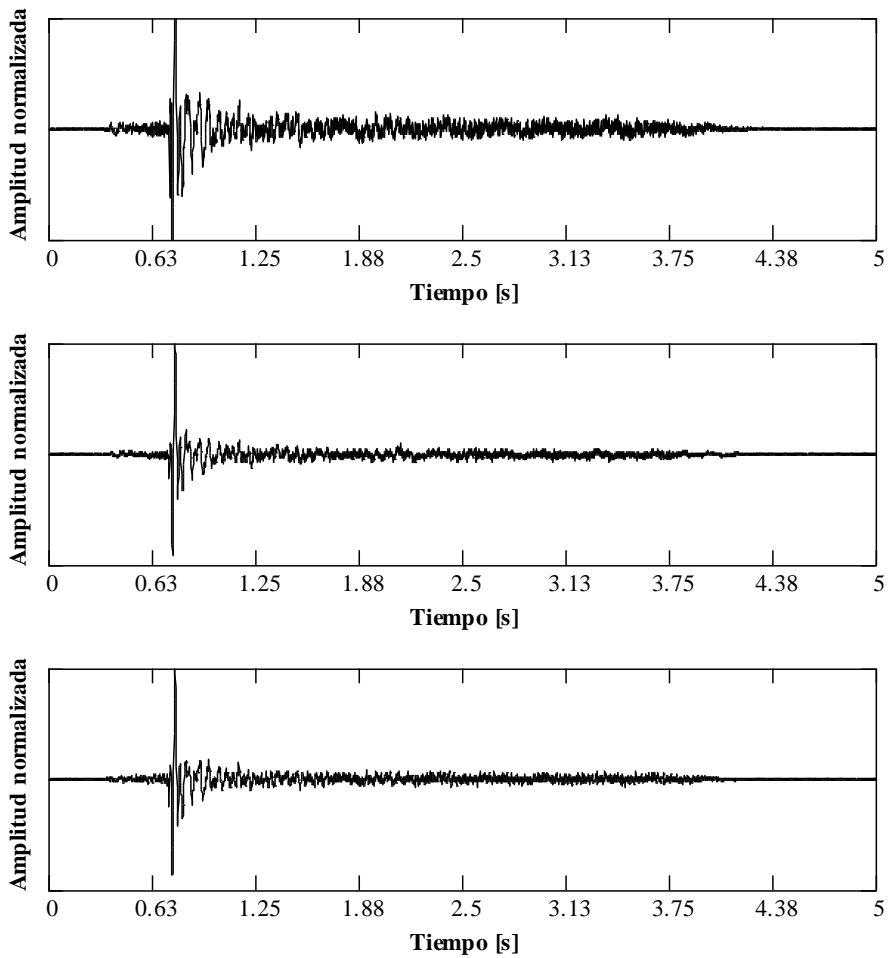


Figura 9. Acelerogramas registrados en la sección 1 del puente principal principal, sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

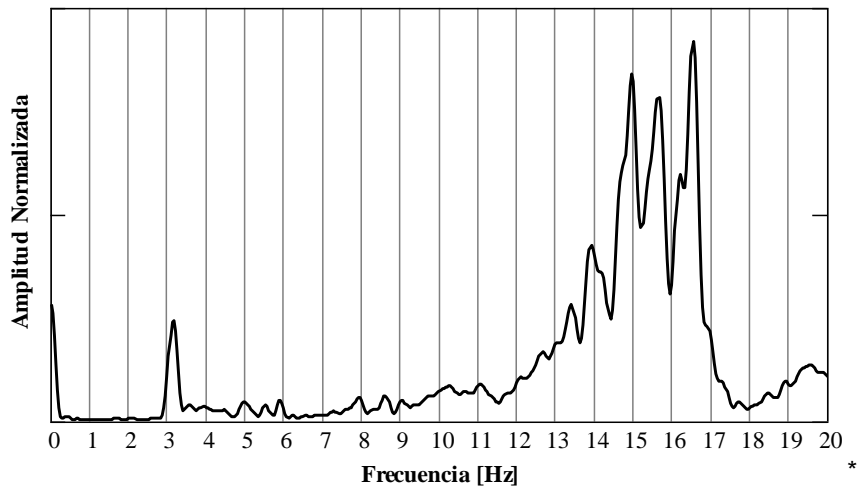


Figura 10. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 9

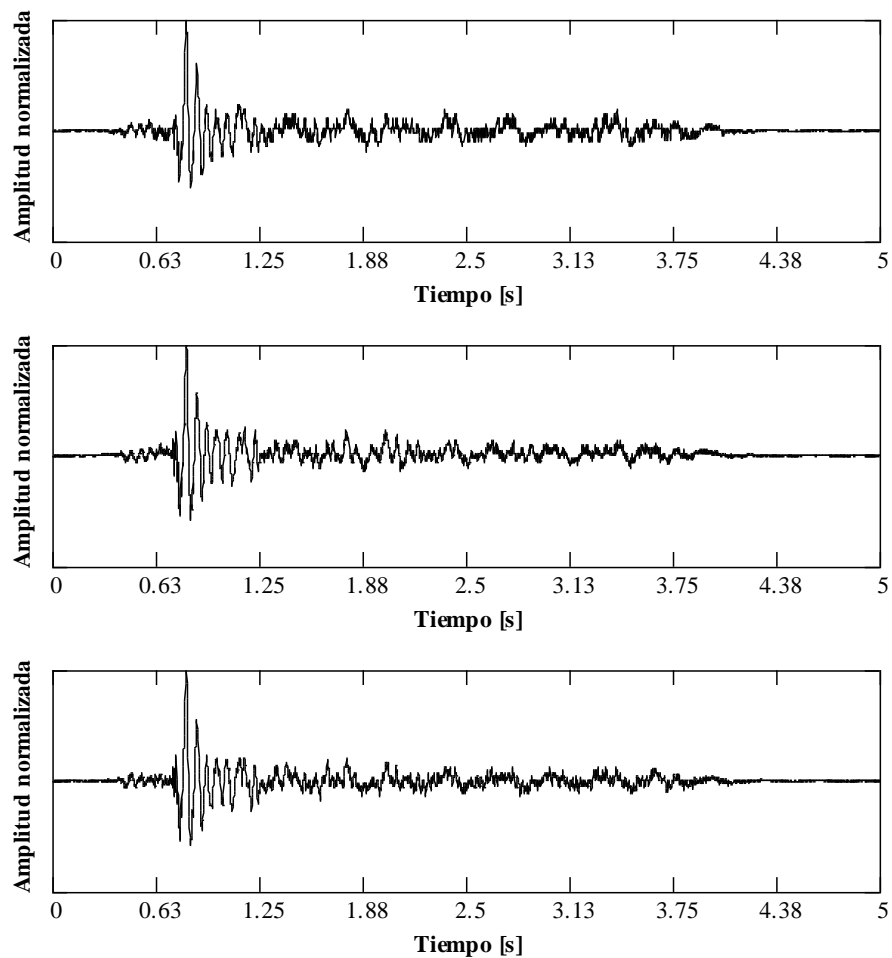


Figura 11. Acelerogramas registrados en la sección 1 del puente principal principal, sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

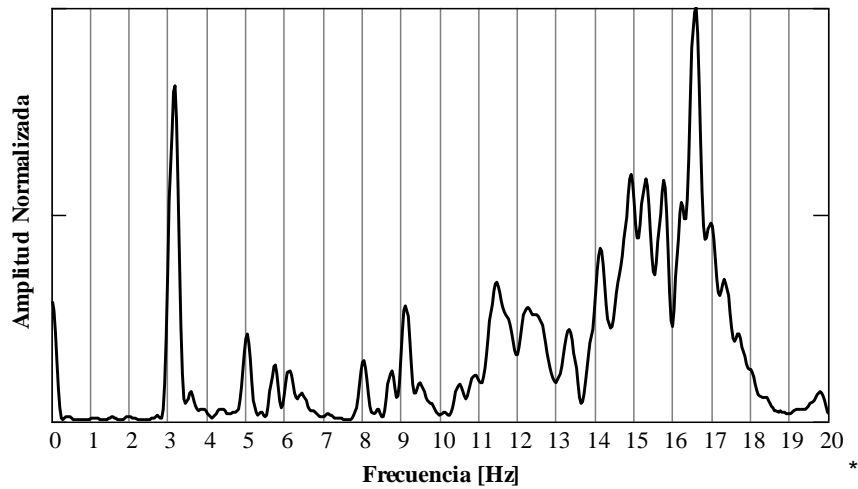


Figura 12. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 11

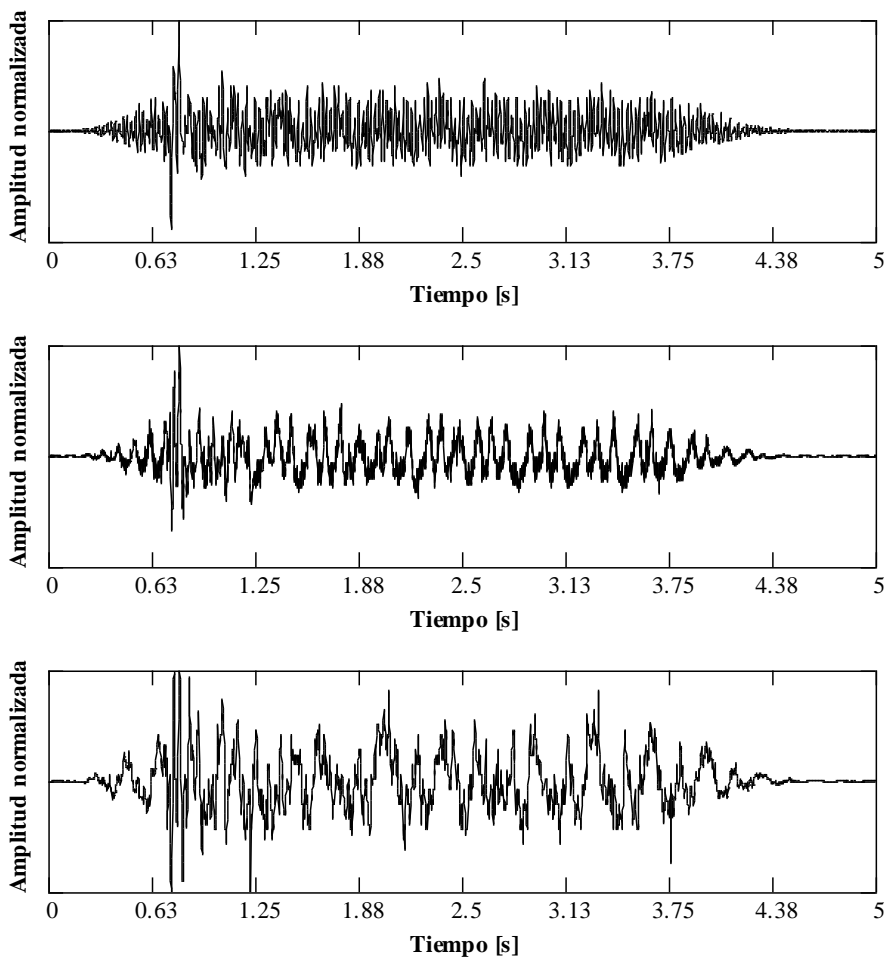


Figura 13. Acelerogramas registrados en la sección 1 del puente principal, sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

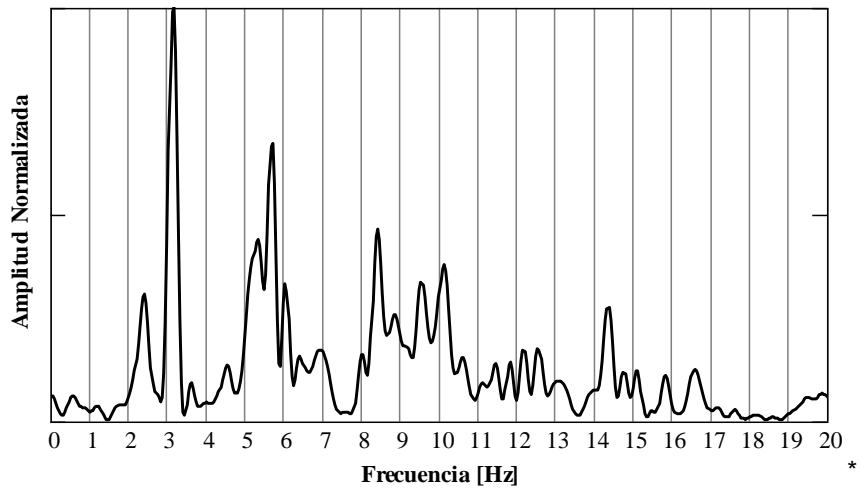


Figura 14. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 13

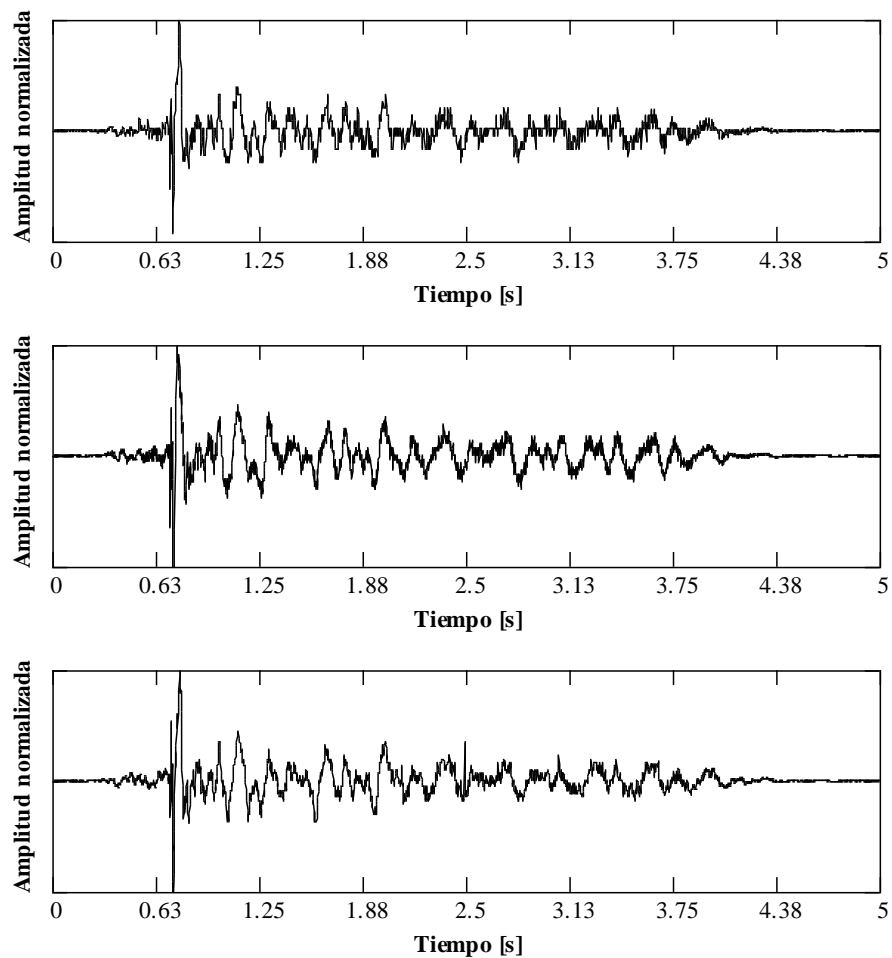


Figura 15. Acelerogramas registrados en la sección 1 del puente principal, sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

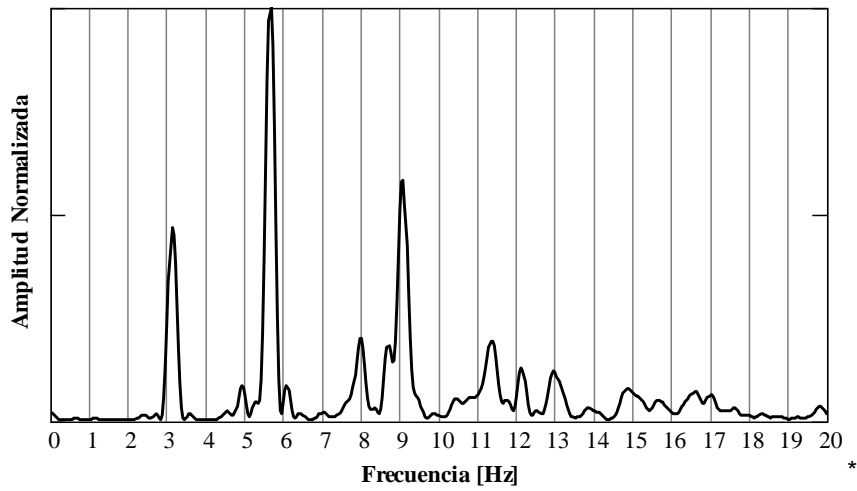


Figura 16. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 15

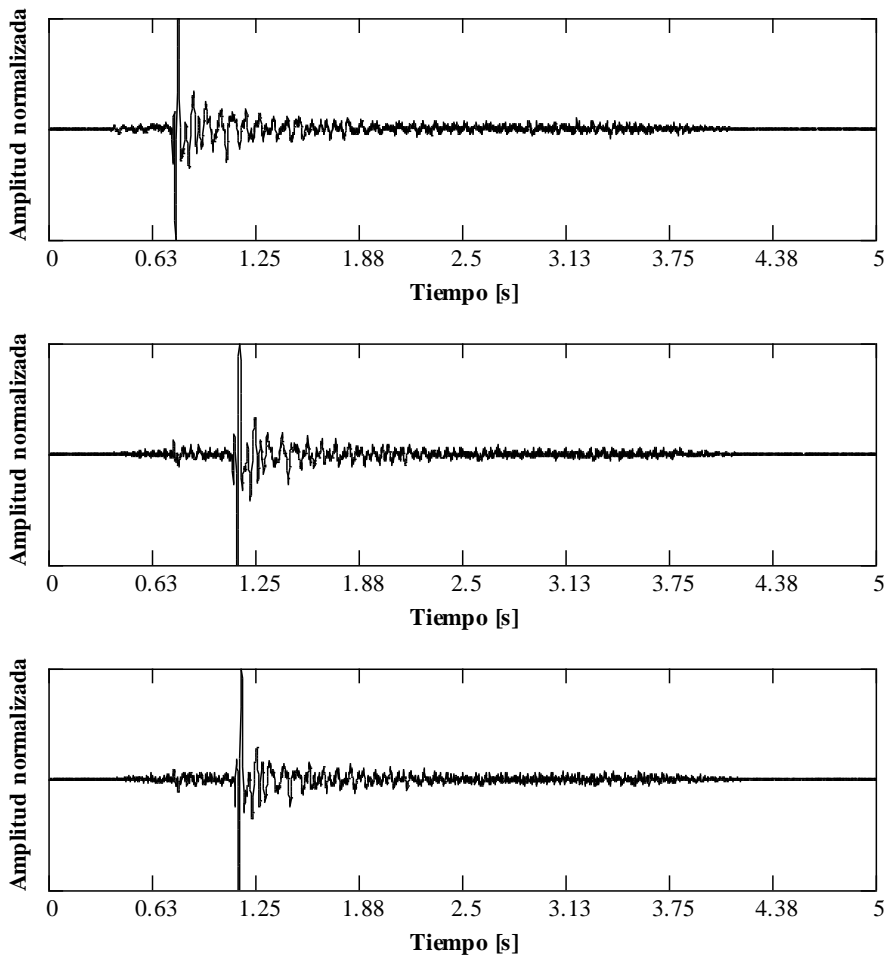


Figura 17. Acelerogramas registrados en la sección 2 del puente principal, sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

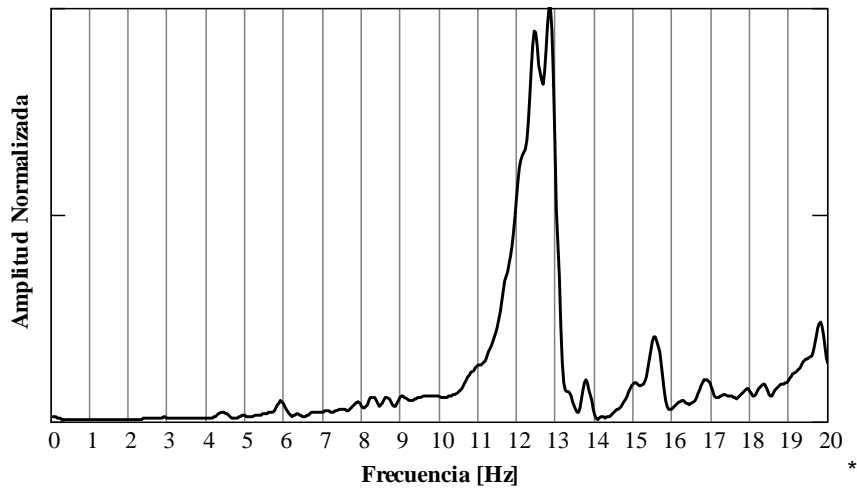


Figura 18. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 17

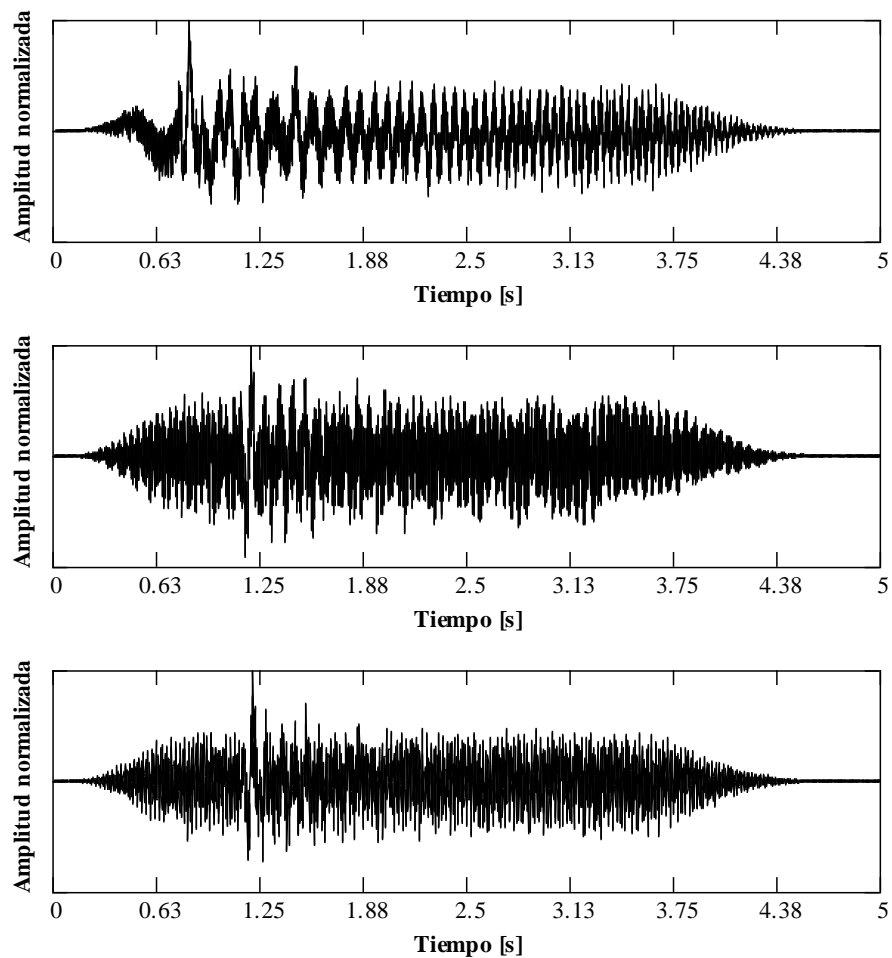


Figura 19. Acelerogramas registrados en la sección 2 del puente principal, sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

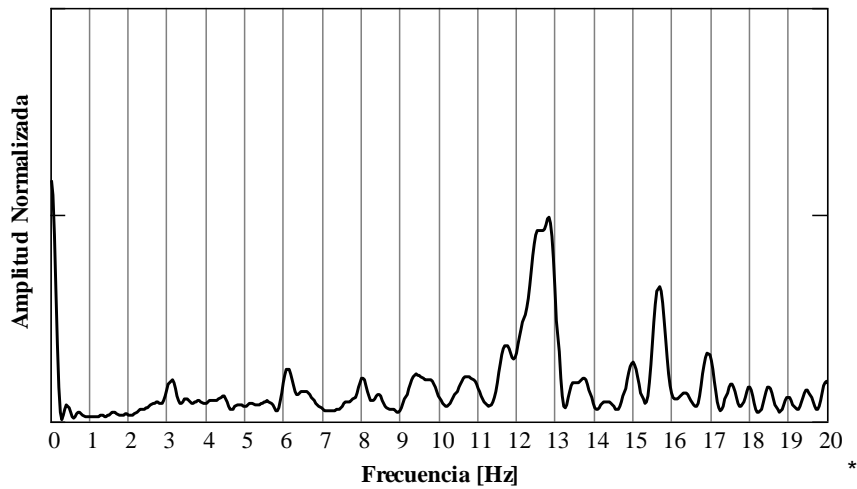


Figura 20. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 19

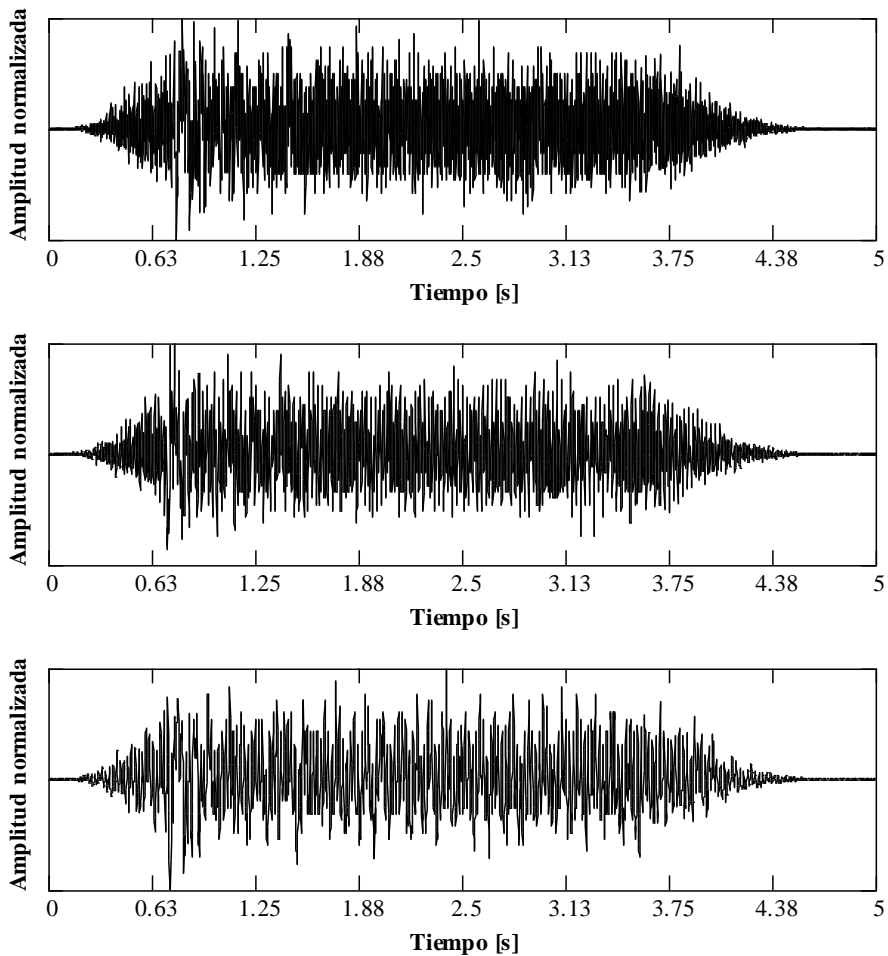


Figura 21. Acelerogramas registrados en la sección 2 del puente principal, sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

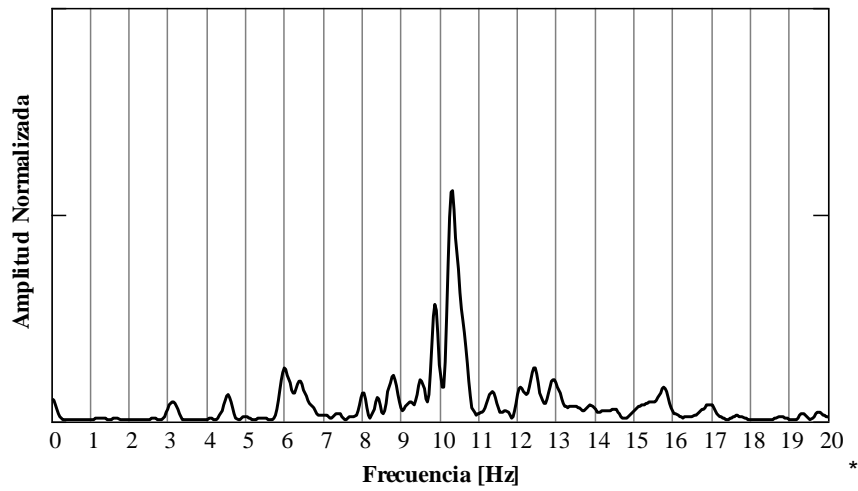


Figura 22. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 21

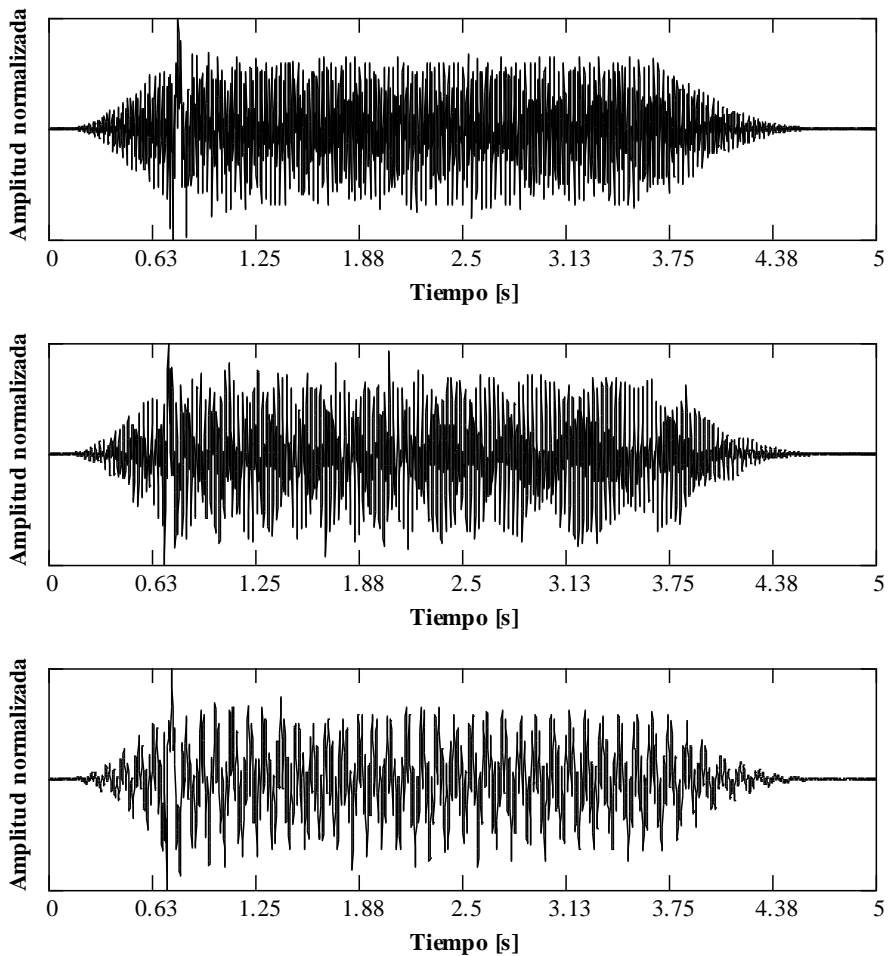


Figura 23. Acelerogramas registrados en la sección 2 del puente principal, sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

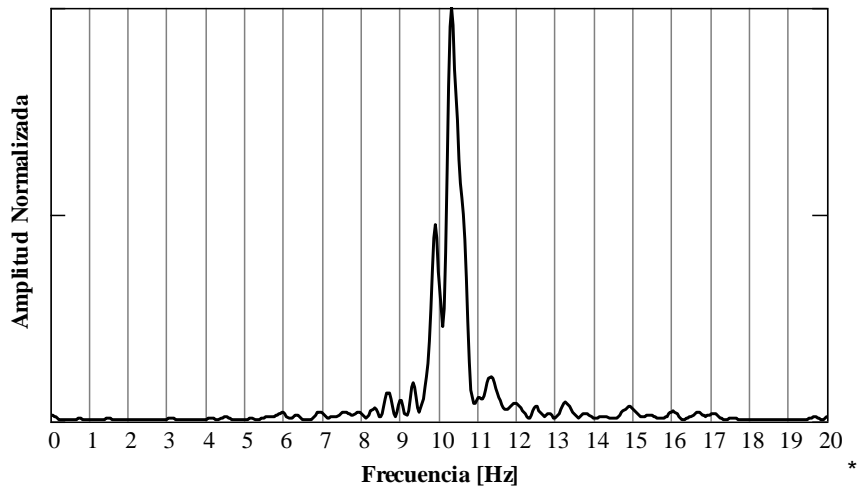


Figura 24. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 23

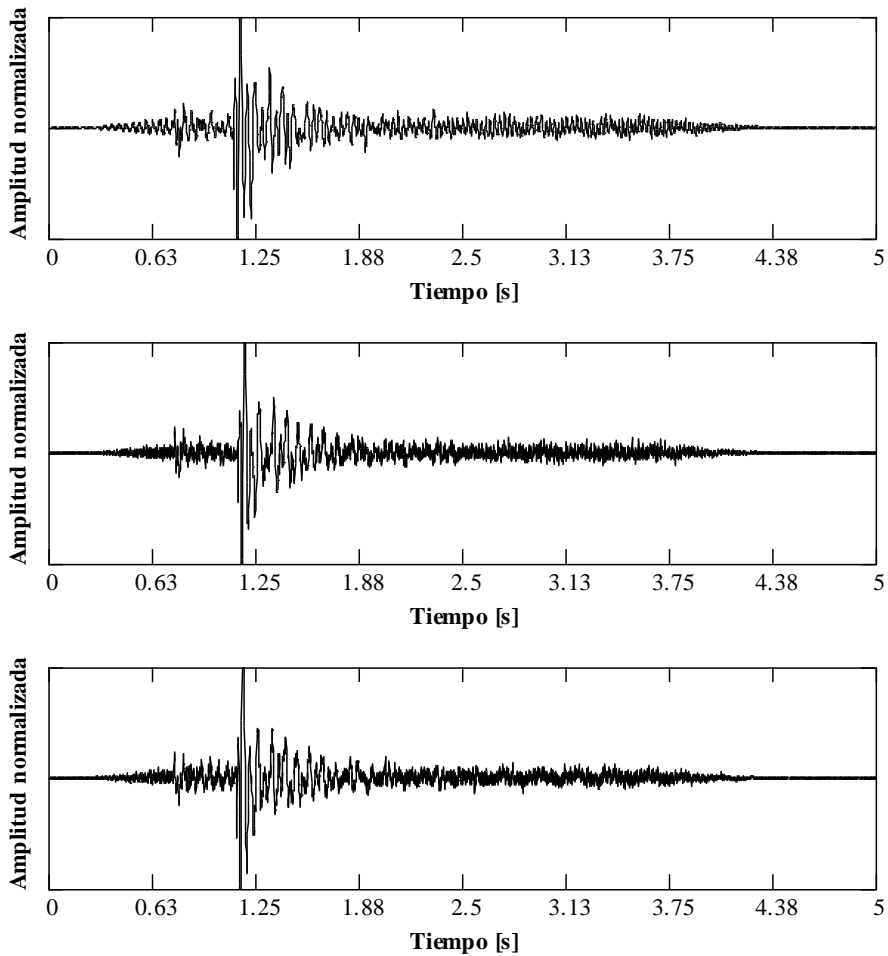


Figura 25. Acelerogramas registrados en la sección 3 del puente principal, sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

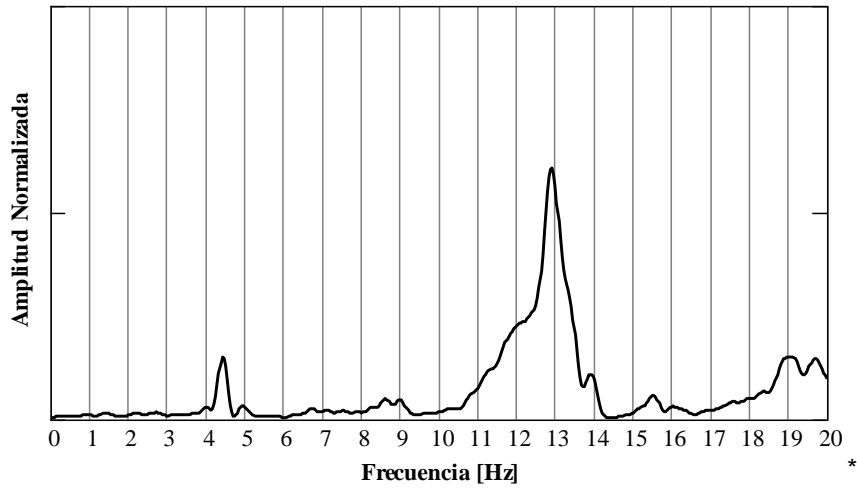


Figura 26. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 25

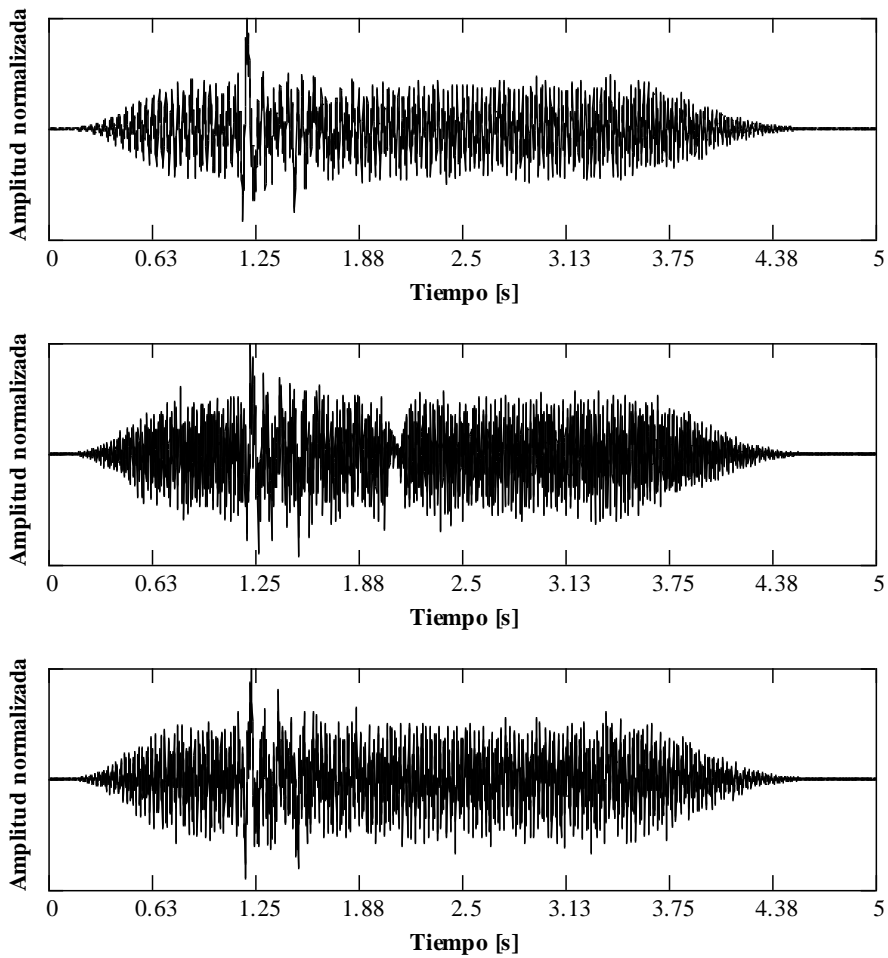


Figura 27. Acelerogramas registrados en la sección 3 del puente principal, sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

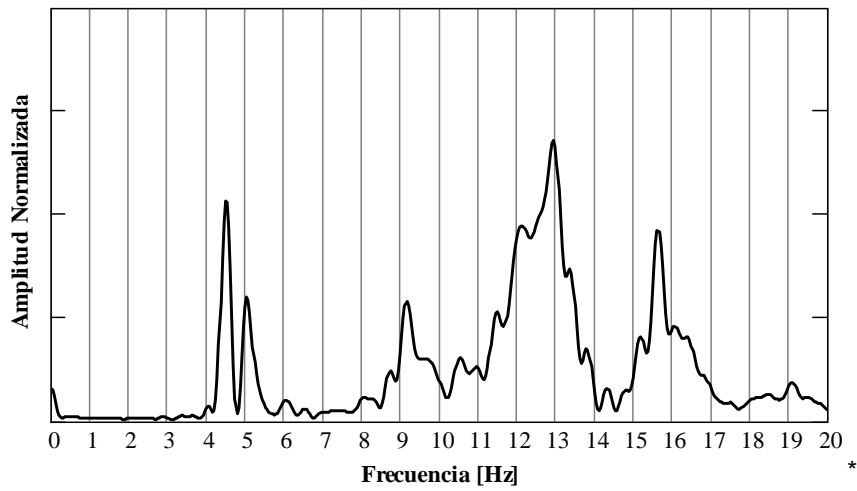


Figura 28. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 27

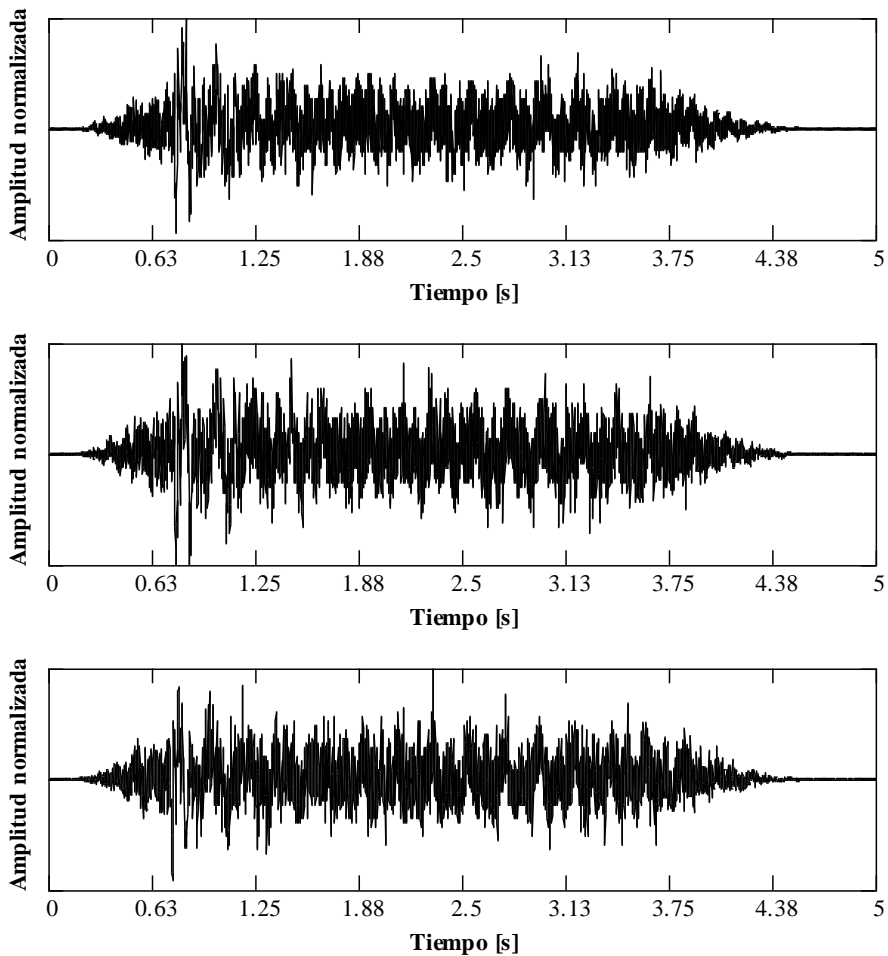


Figura 29. Acelerogramas registrados en la sección 3 del puente principal, sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

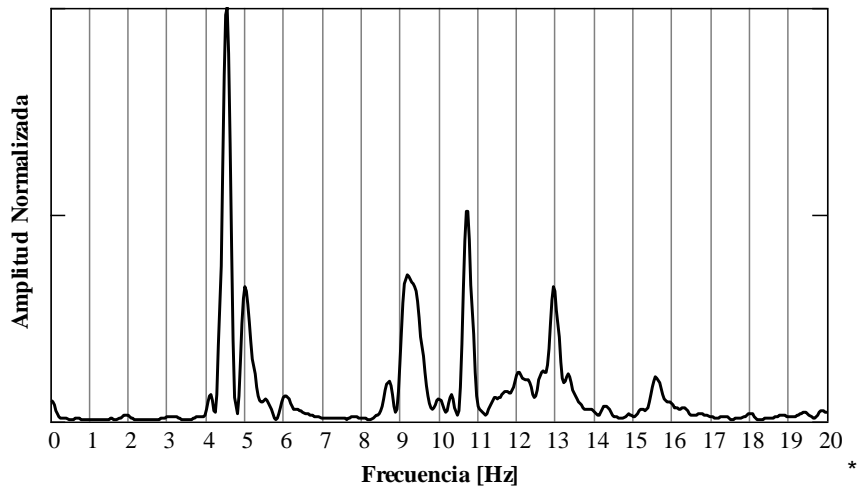


Figura 30. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 29

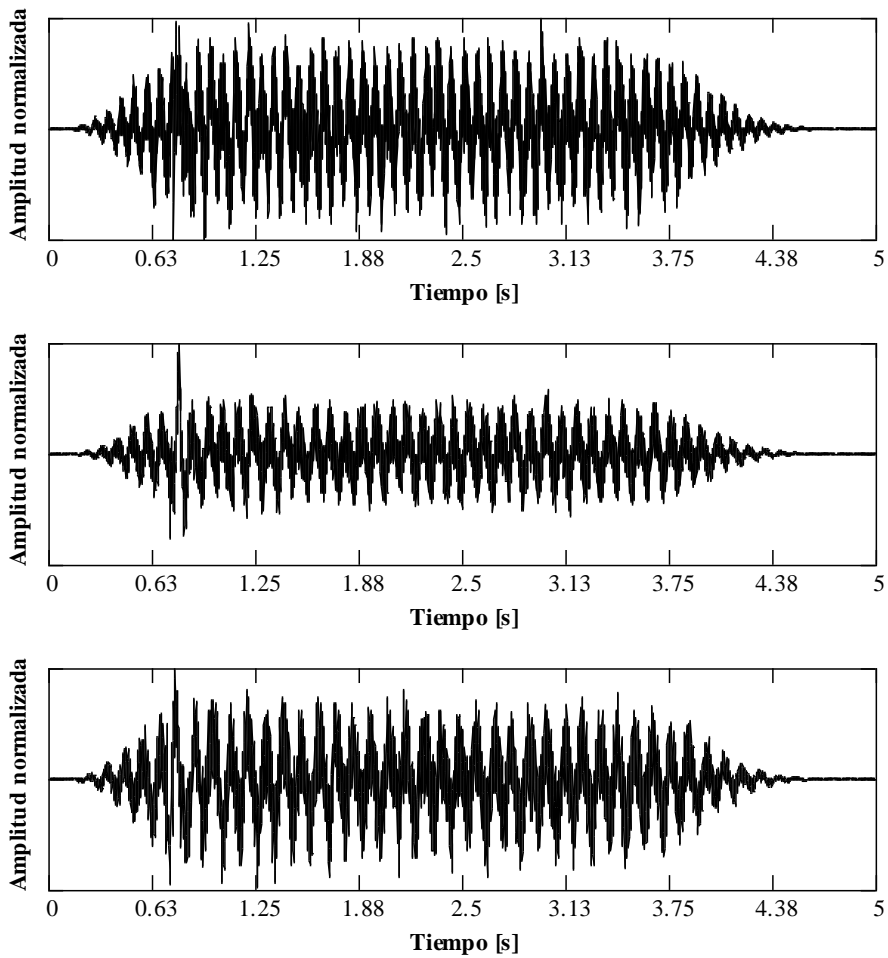


Figura 31. Acelerogramas registrados en la sección 3 del puente principal, sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

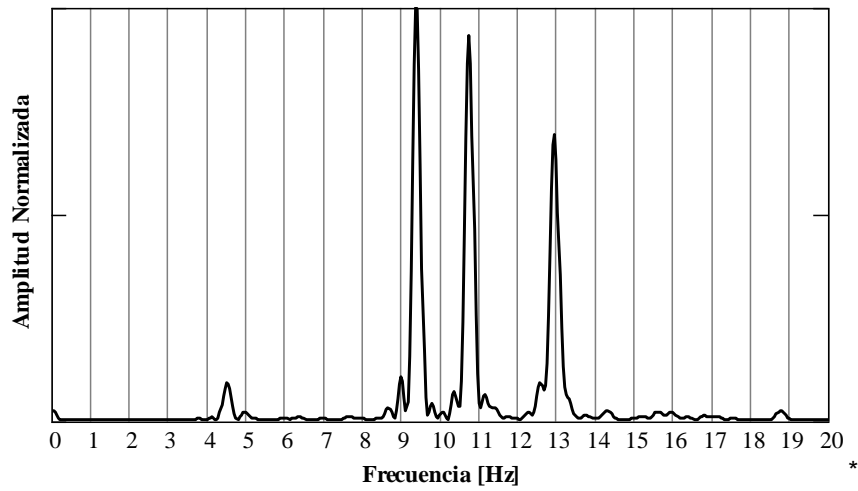


Figura 32. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 31

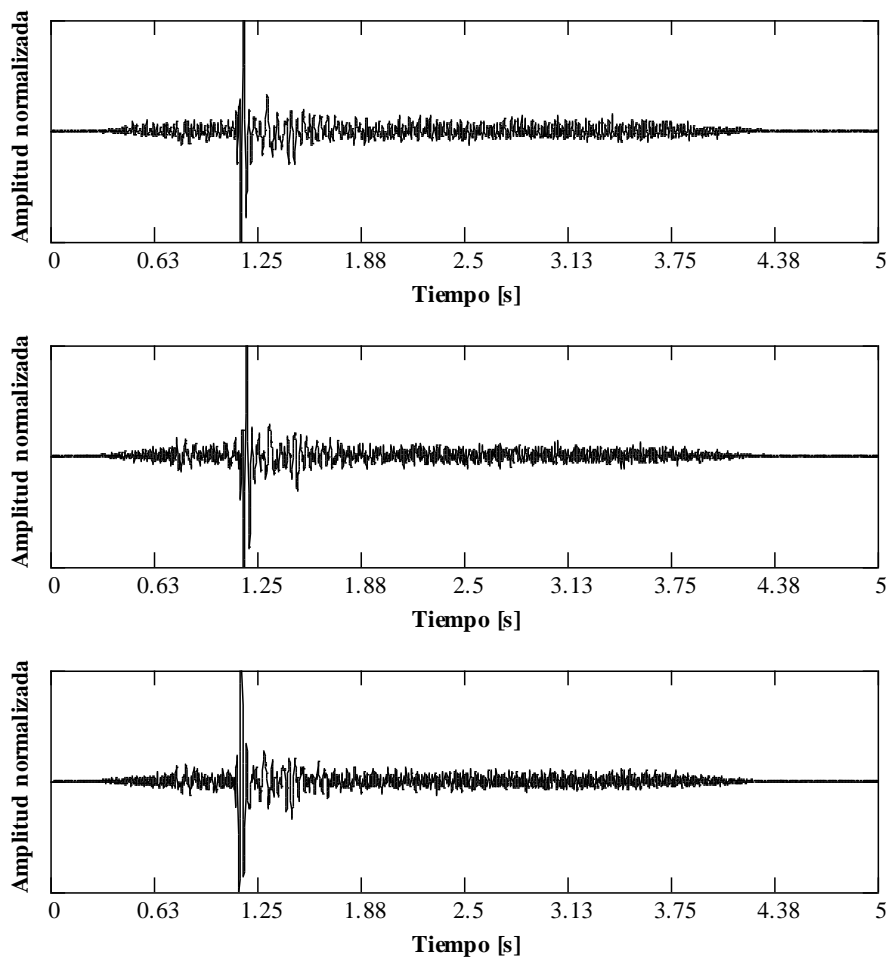


Figura 33. Acelerogramas registrados en la sección 4 del puente principal, sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

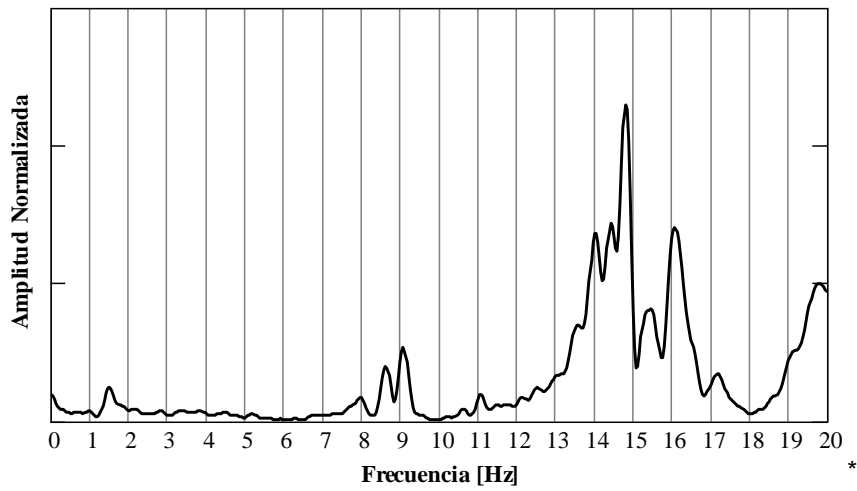


Figura 34. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 33

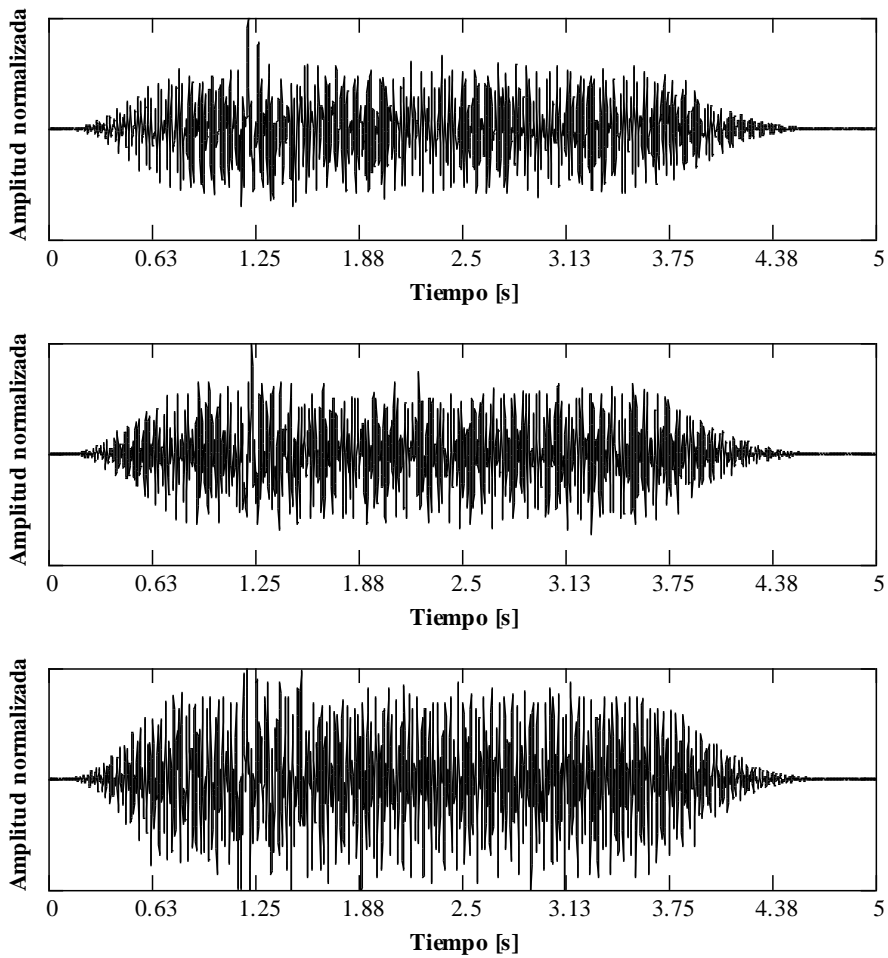


Figura 35. Acelerogramas registrados en la sección 4 del puente principal, sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

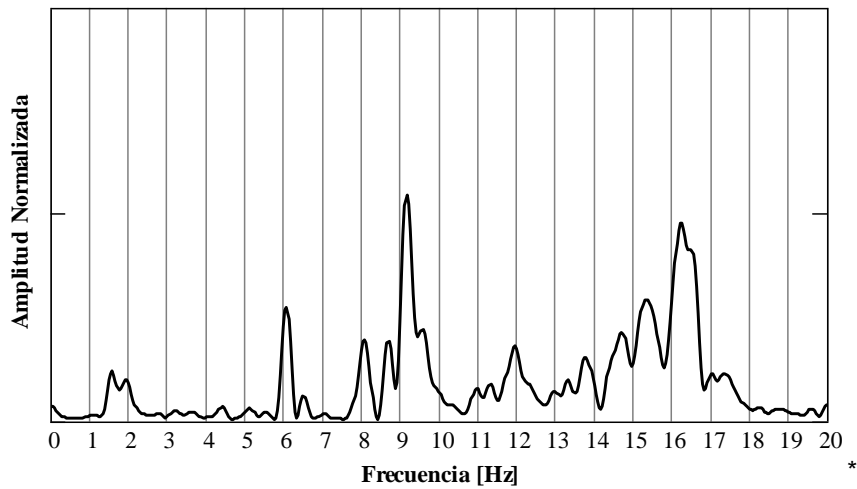


Figura 36. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 35

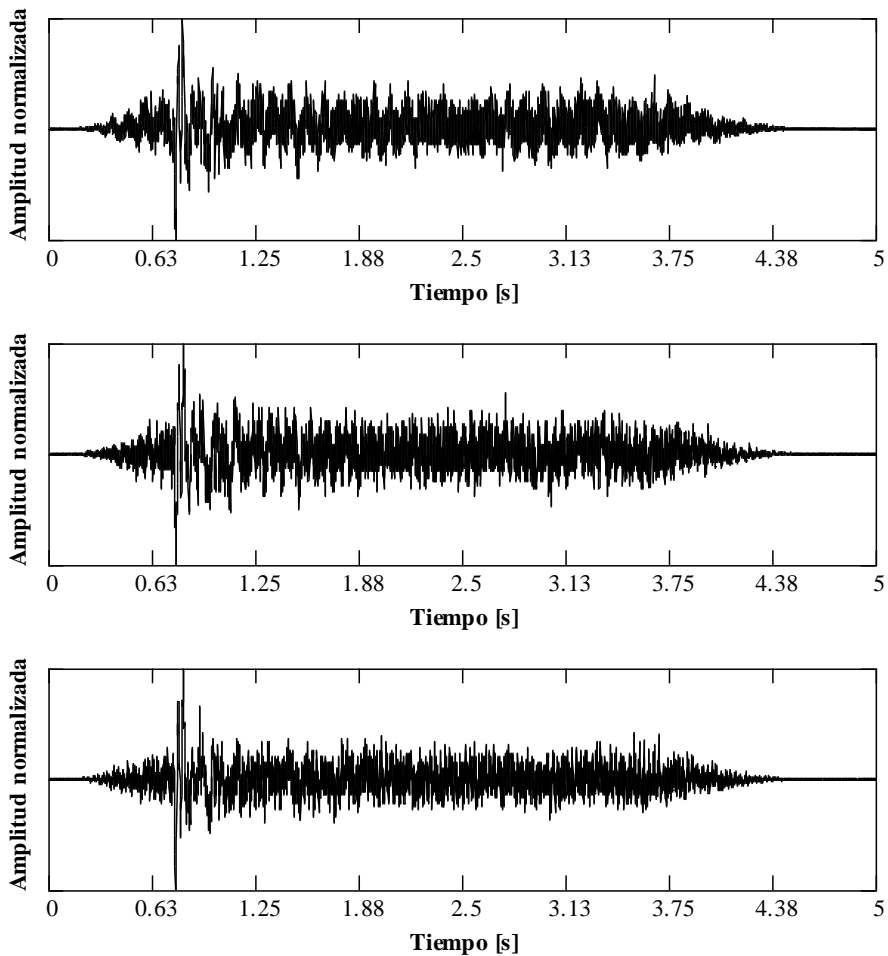


Figura 37. Acelerogramas registrados en la sección 4 del puente principal, sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

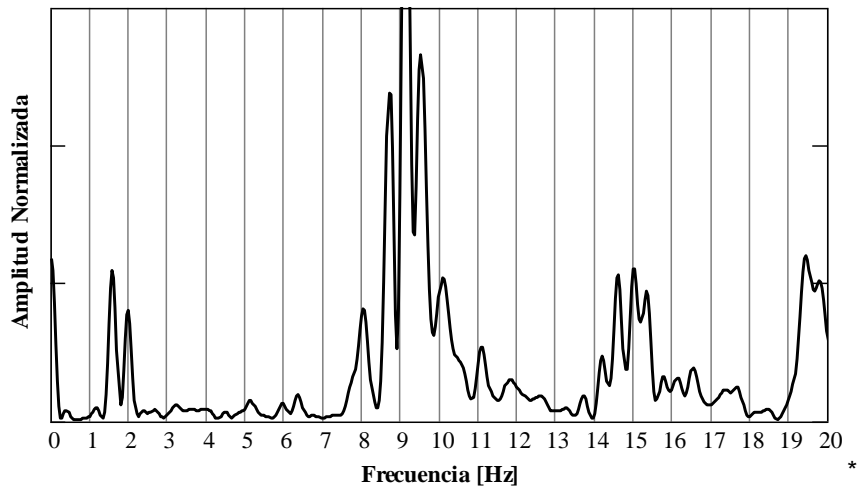


Figura 38. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 37

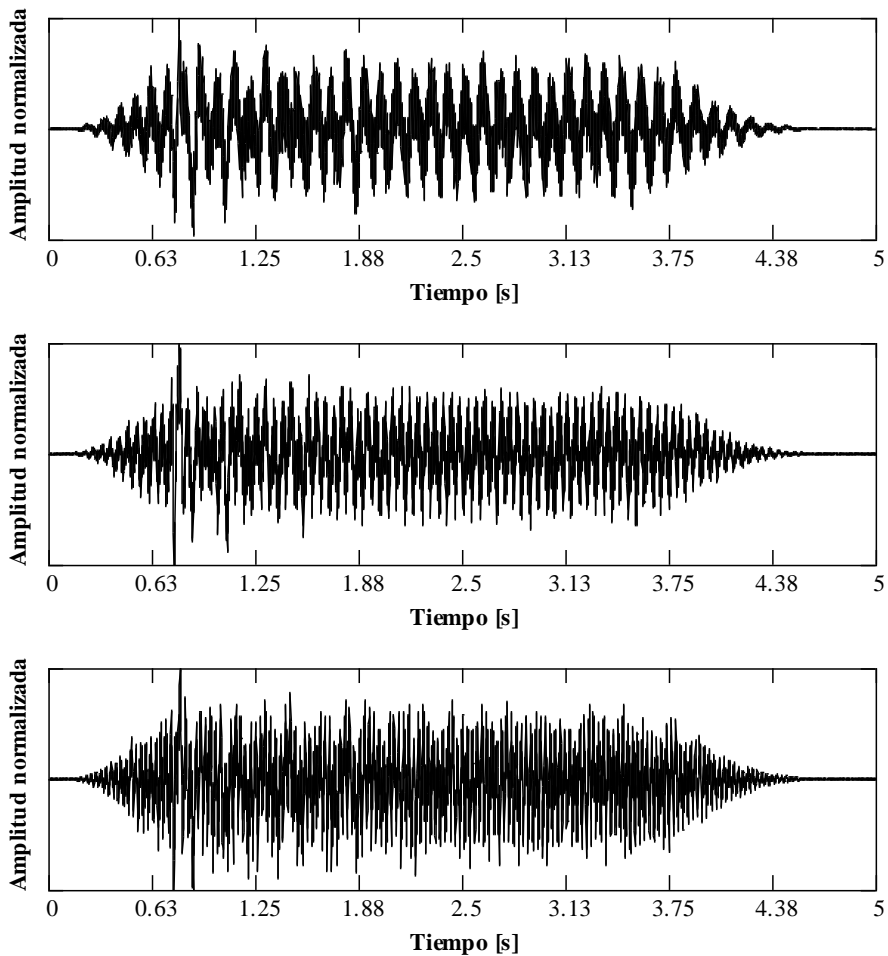


Figura 39. Acelerogramas registrados en la sección 4 del puente principal, sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

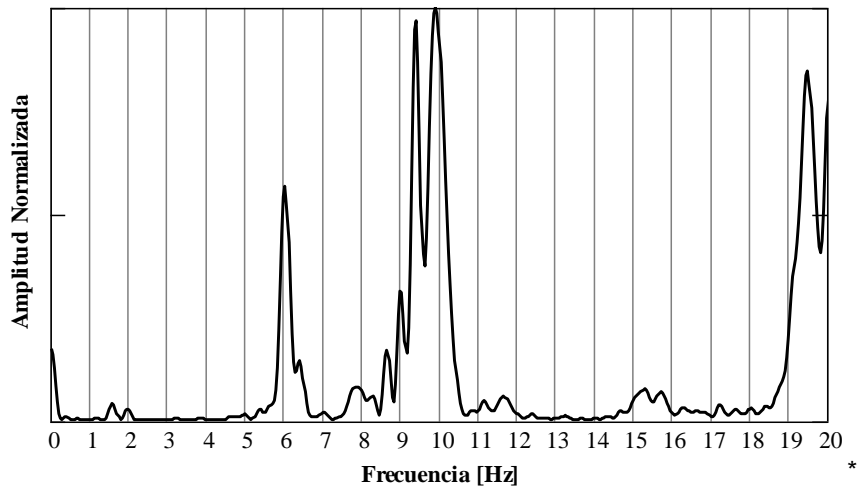


Figura 40. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 39

1.2. Viaducto Uruguayo

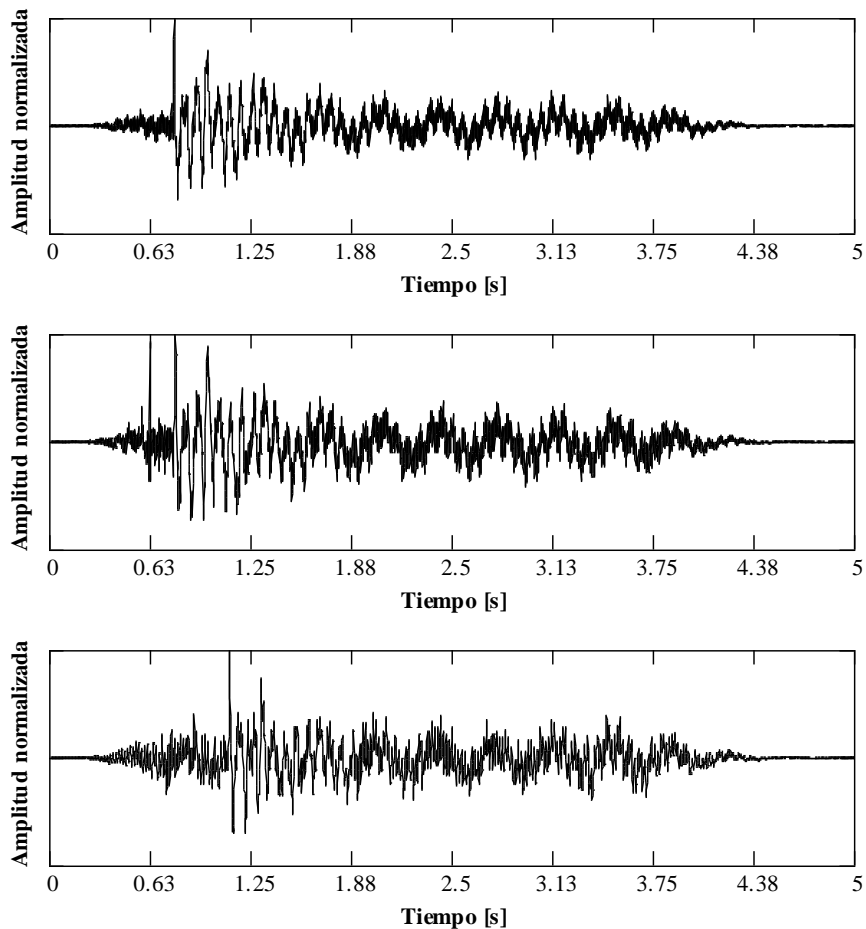


Figura 41. Acelerogramas registrados en el tramo 2 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

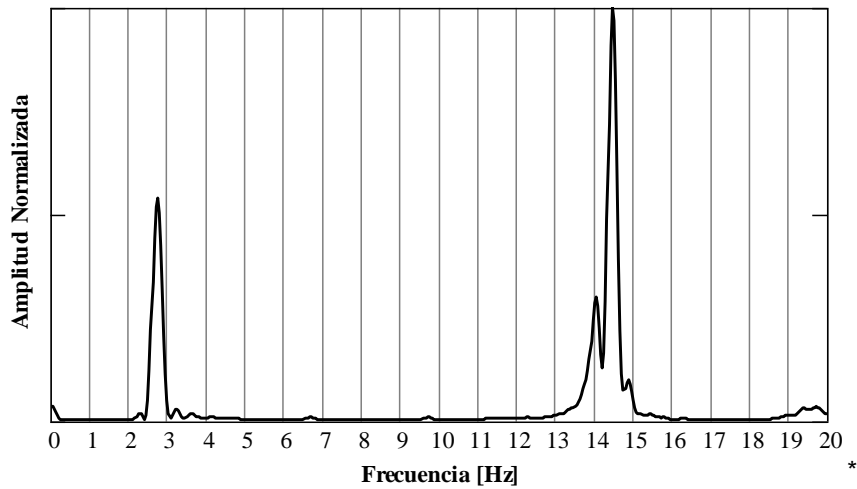


Figura 42. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 41

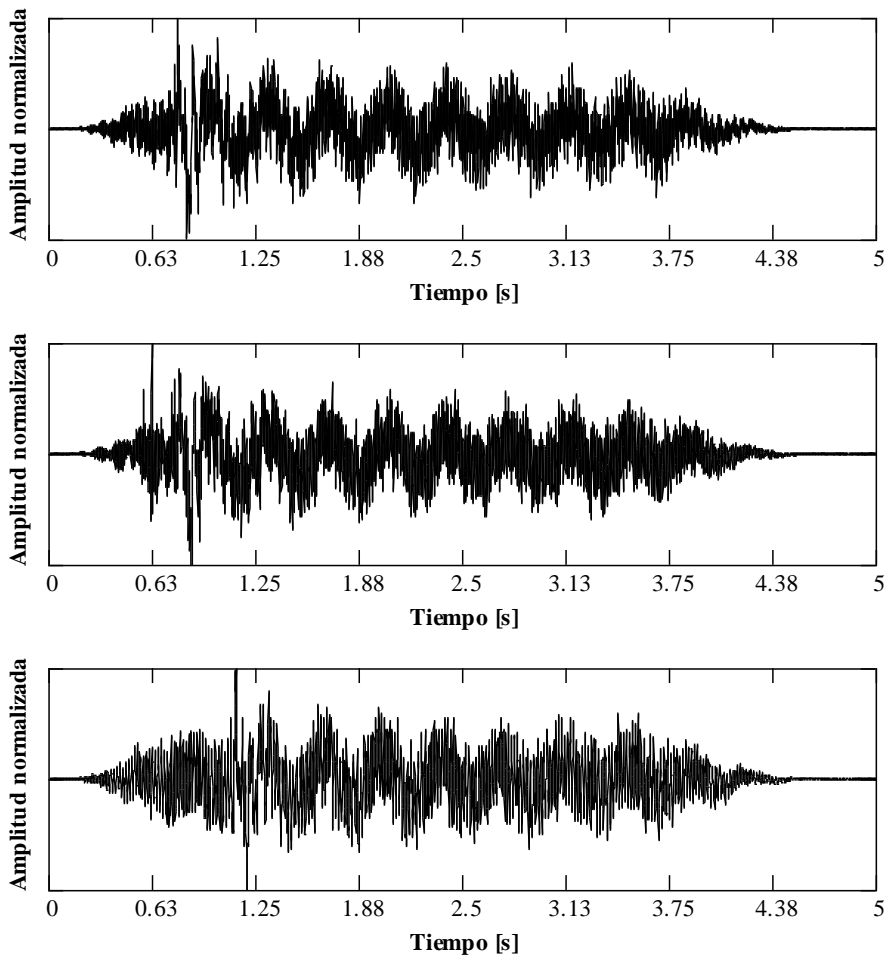


Figura 43. Acelerogramas registrados en el tramo 2 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

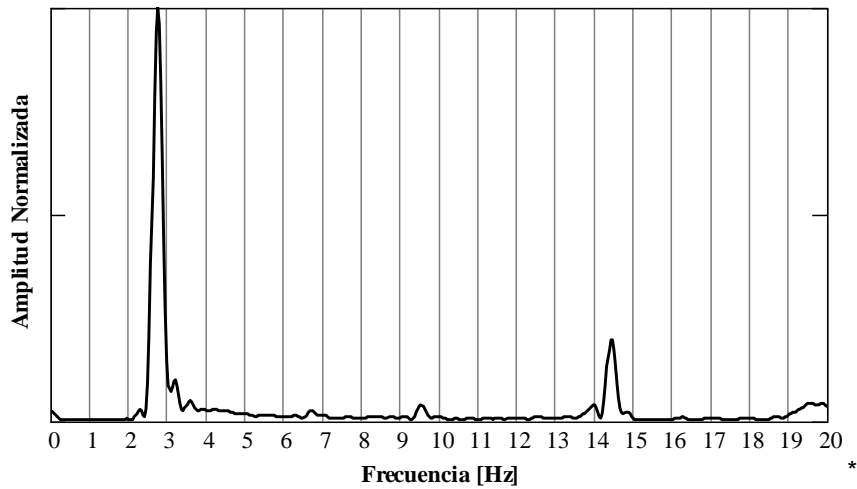


Figura 44. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 43

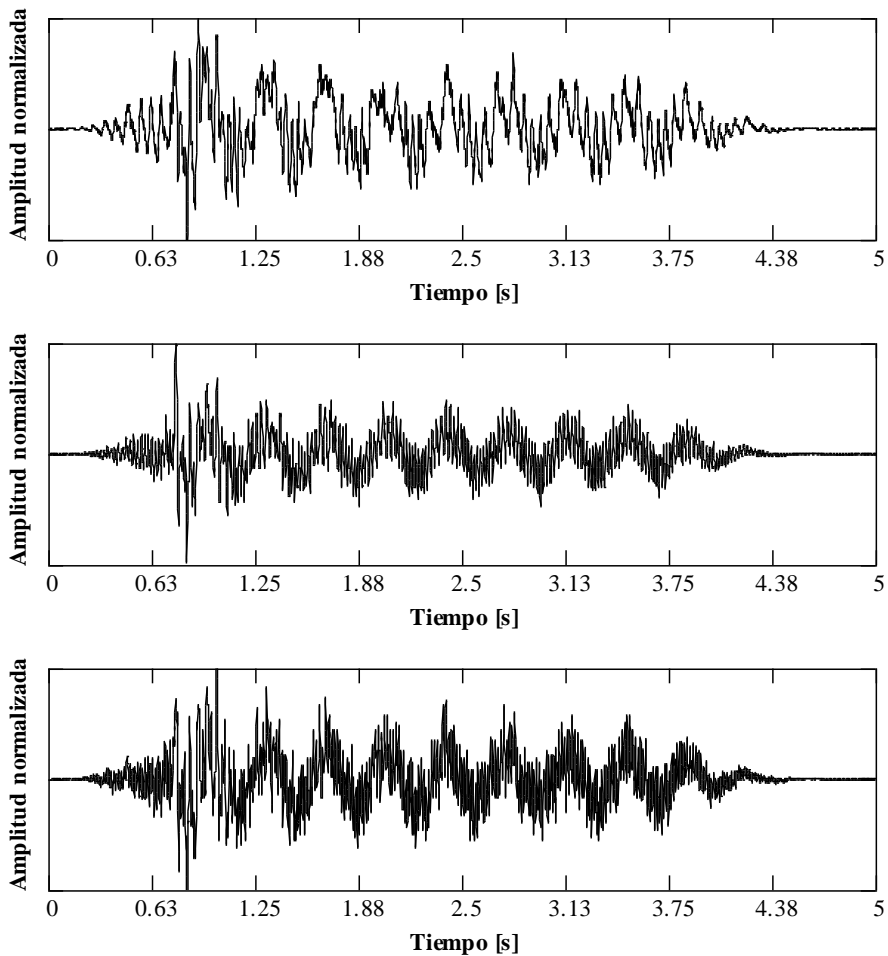


Figura 45. Acelerogramas registrados en el tramo 2 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

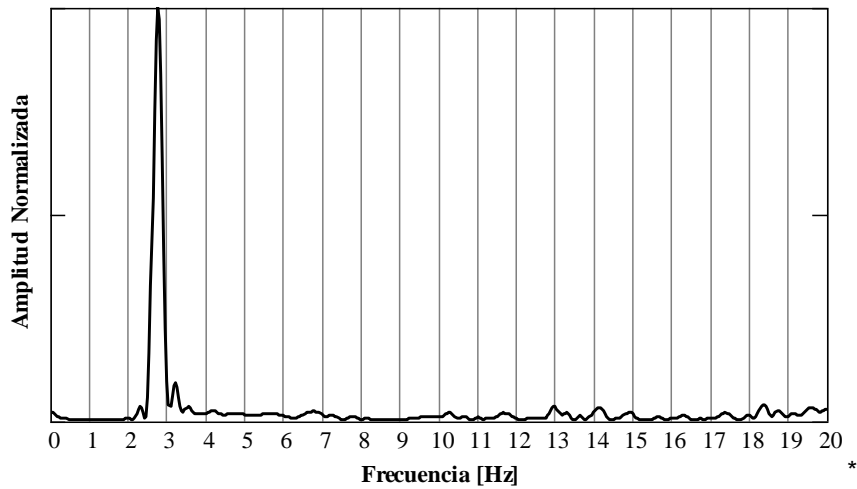


Figura 46. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 45

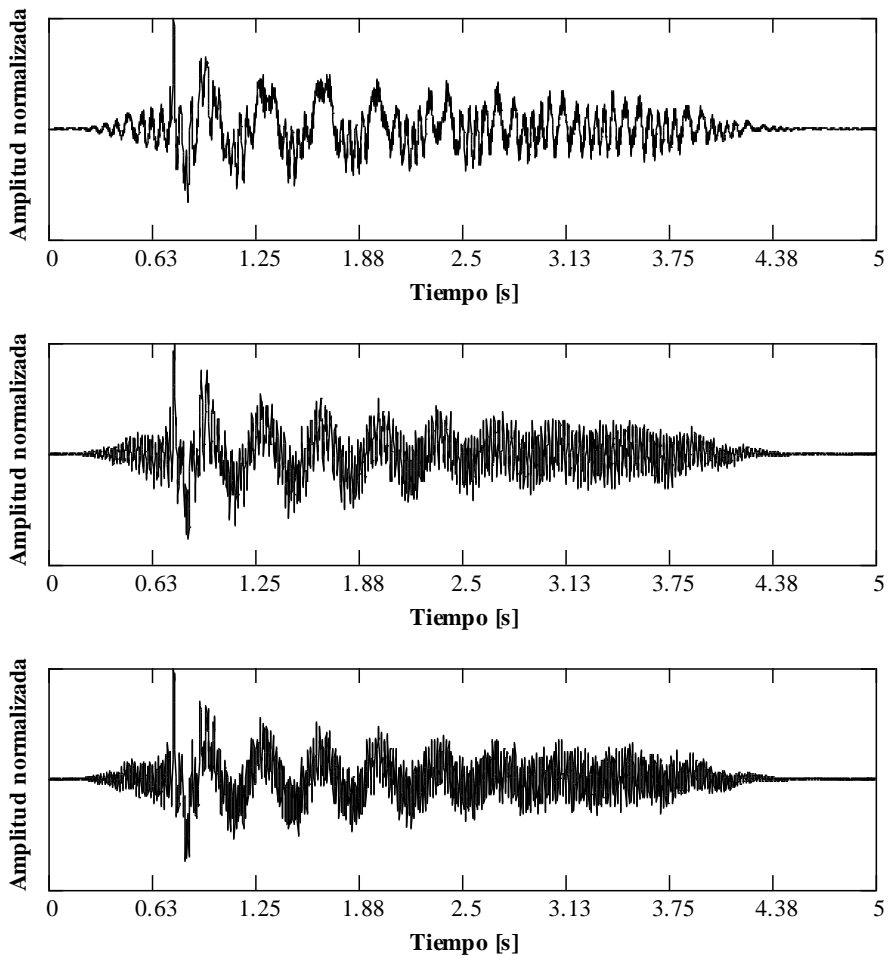


Figura 47. Acelerogramas registrados en el tramo 2 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

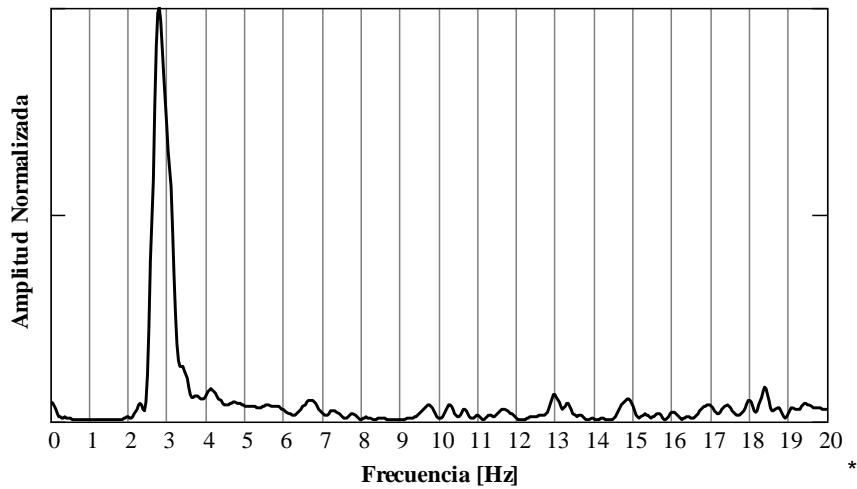


Figura 48. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 47

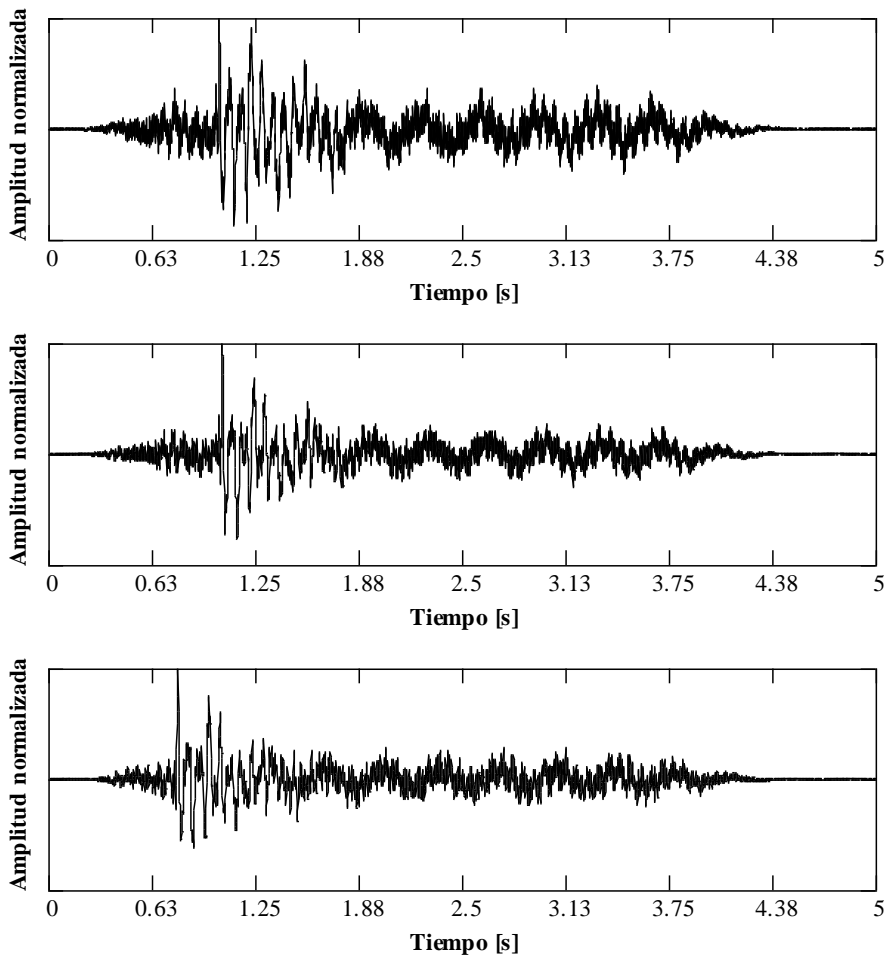


Figura 49. Acelerogramas registrados en el tramo 5 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

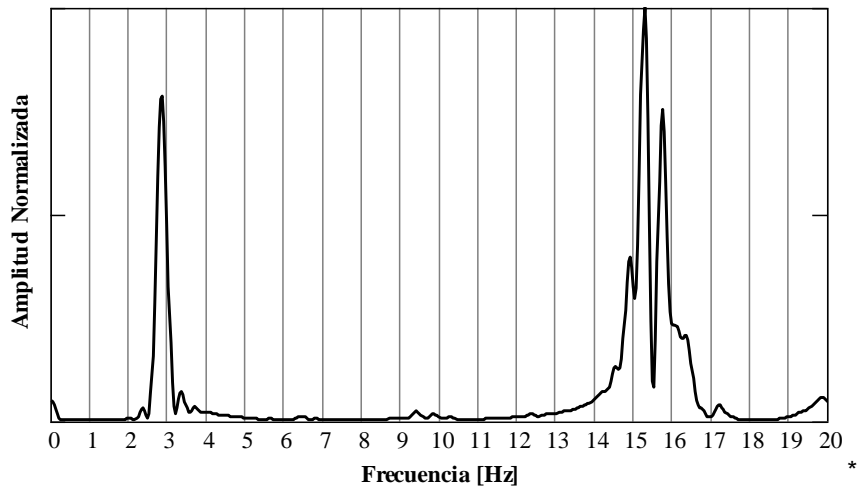


Figura 50. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 49

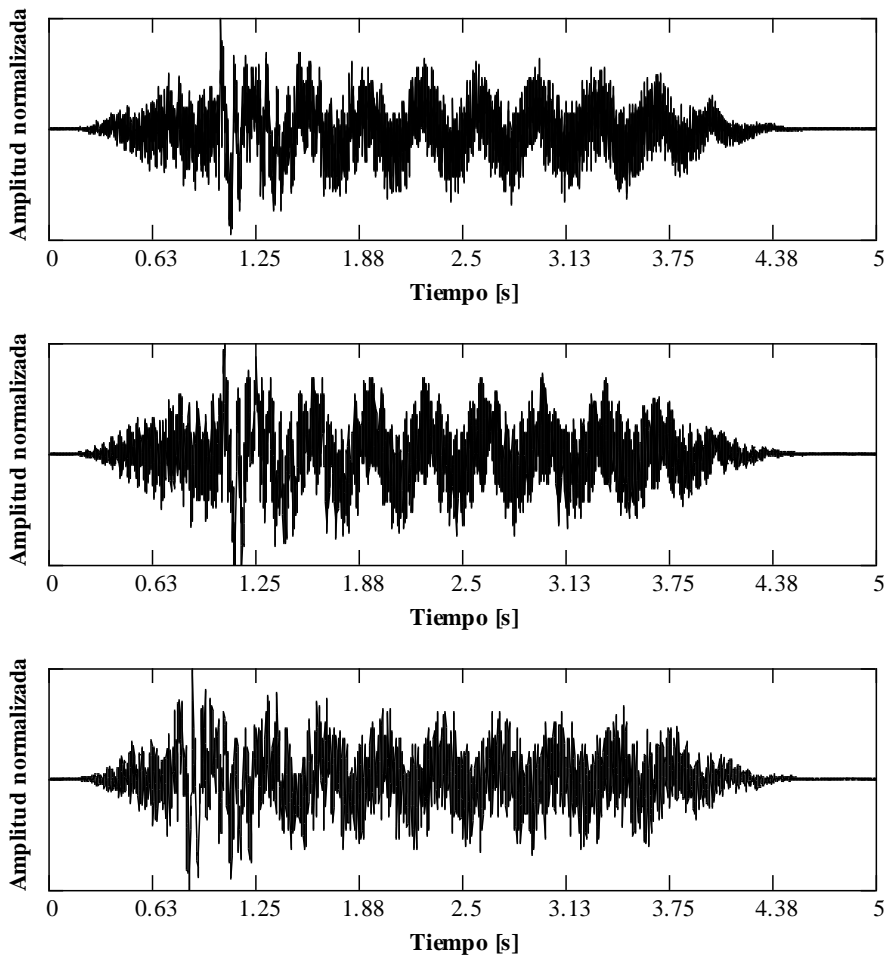


Figura 51. Acelerogramas registrados en el tramo 5 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

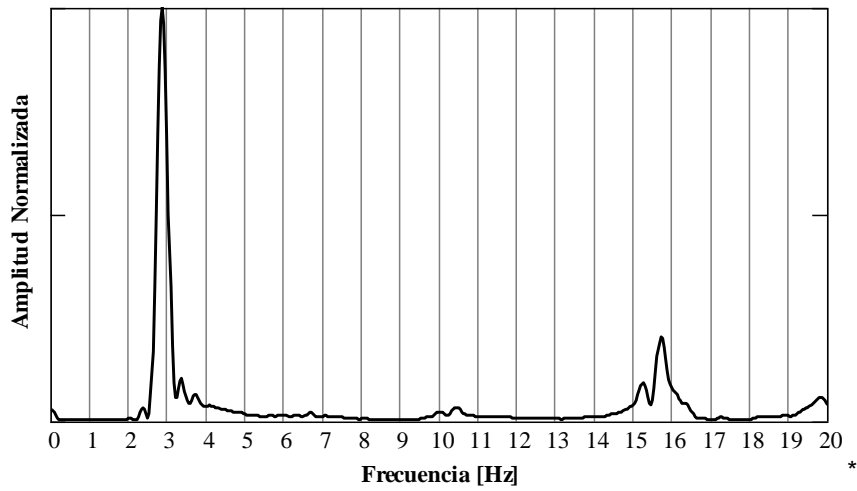


Figura 52. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 51

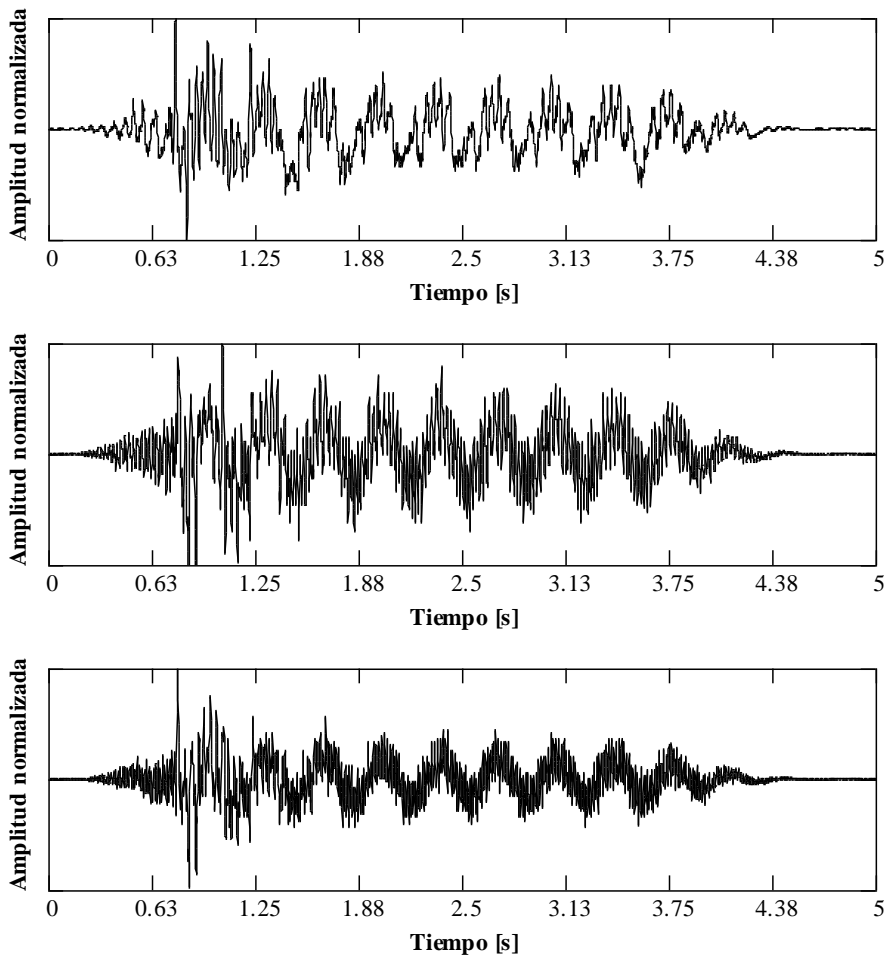


Figura 53. Acelerogramas registrados en el tramo 5 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

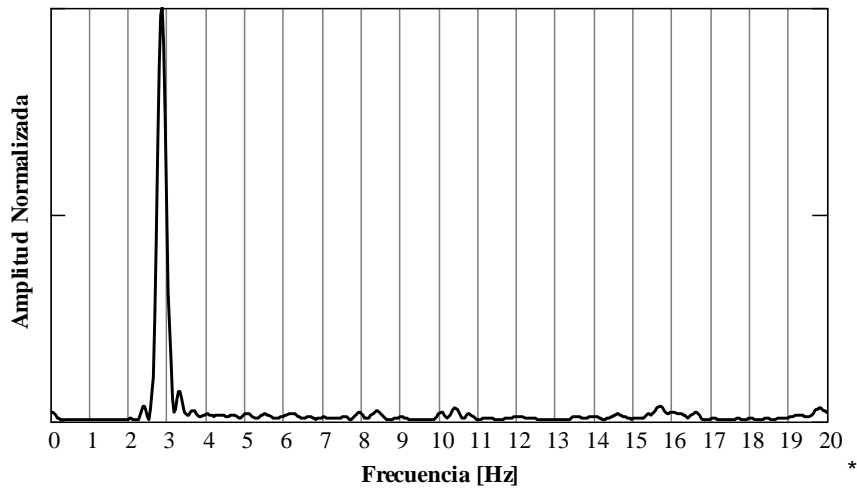


Figura 54. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 53

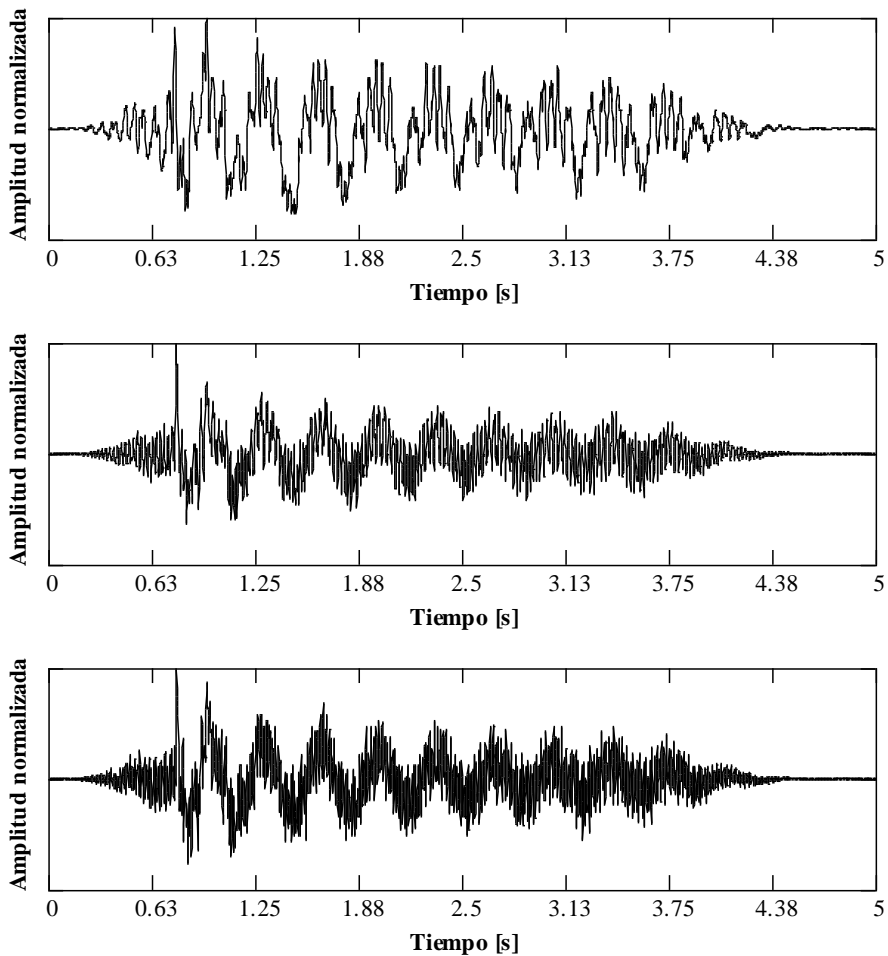


Figura 55. Acelerogramas registrados en el tramo 5 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

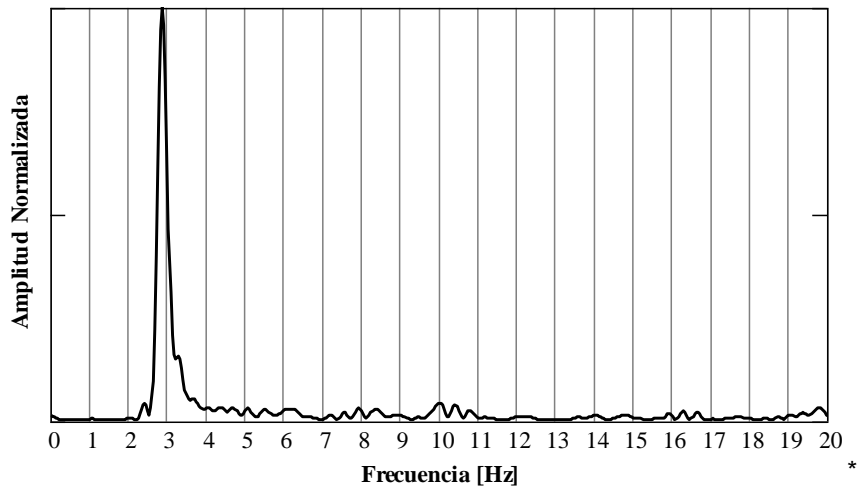


Figura 56. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 55

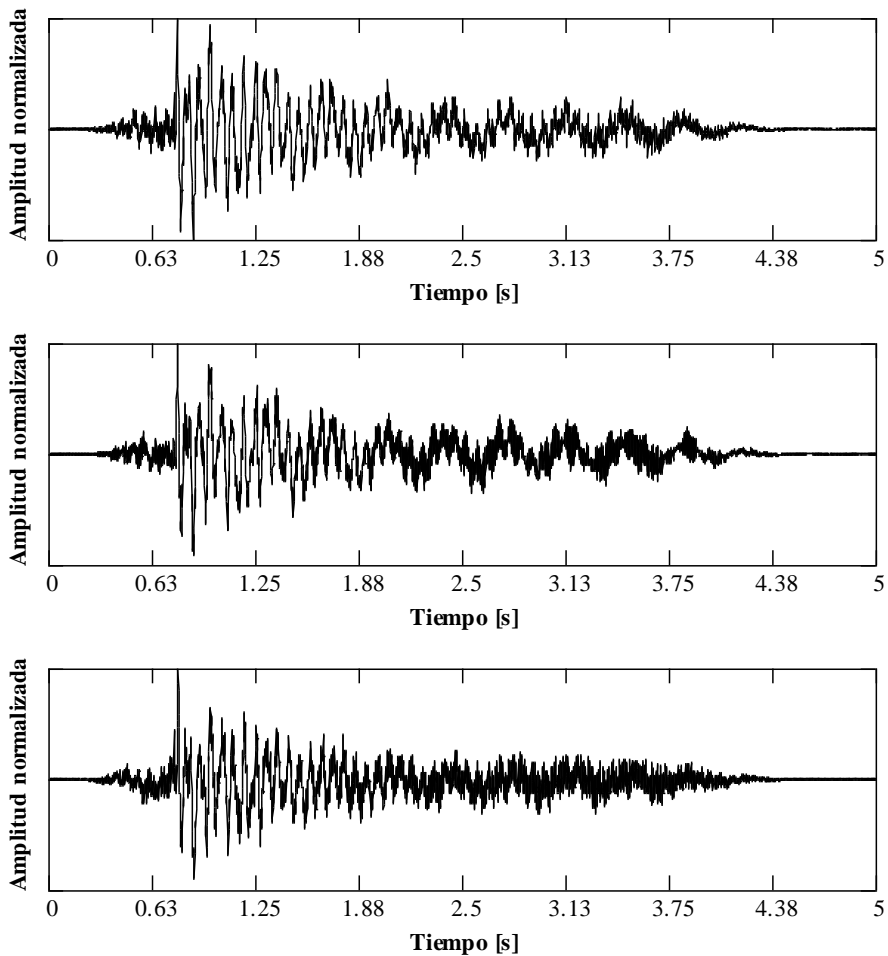


Figura 57. Acelerogramas registrados en el tramo 8 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

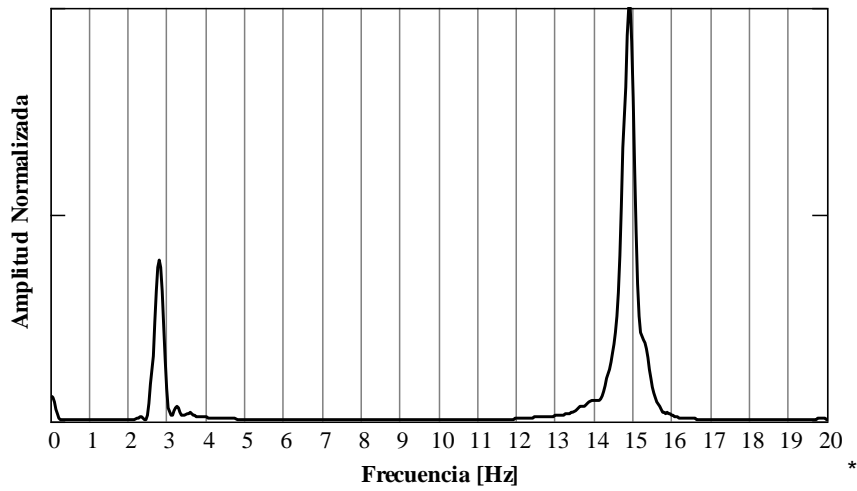


Figura 58. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 57

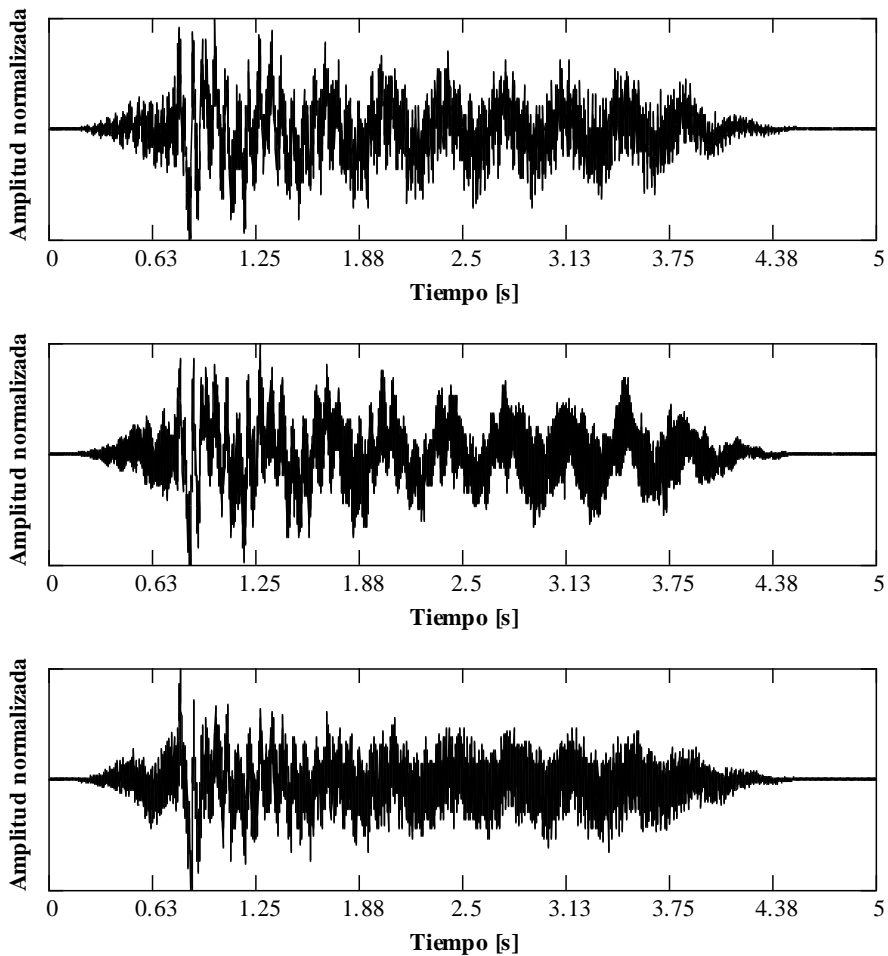


Figura 59. Acelerogramas registrados en el tramo 8 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

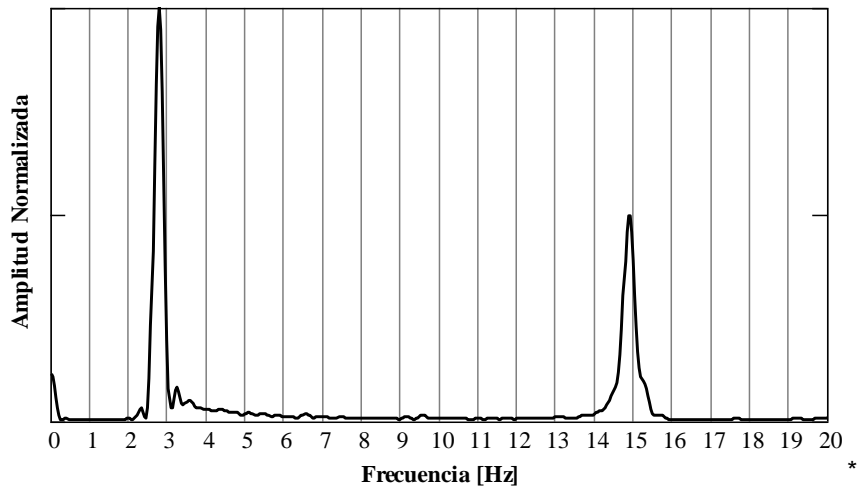


Figura 60. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 59

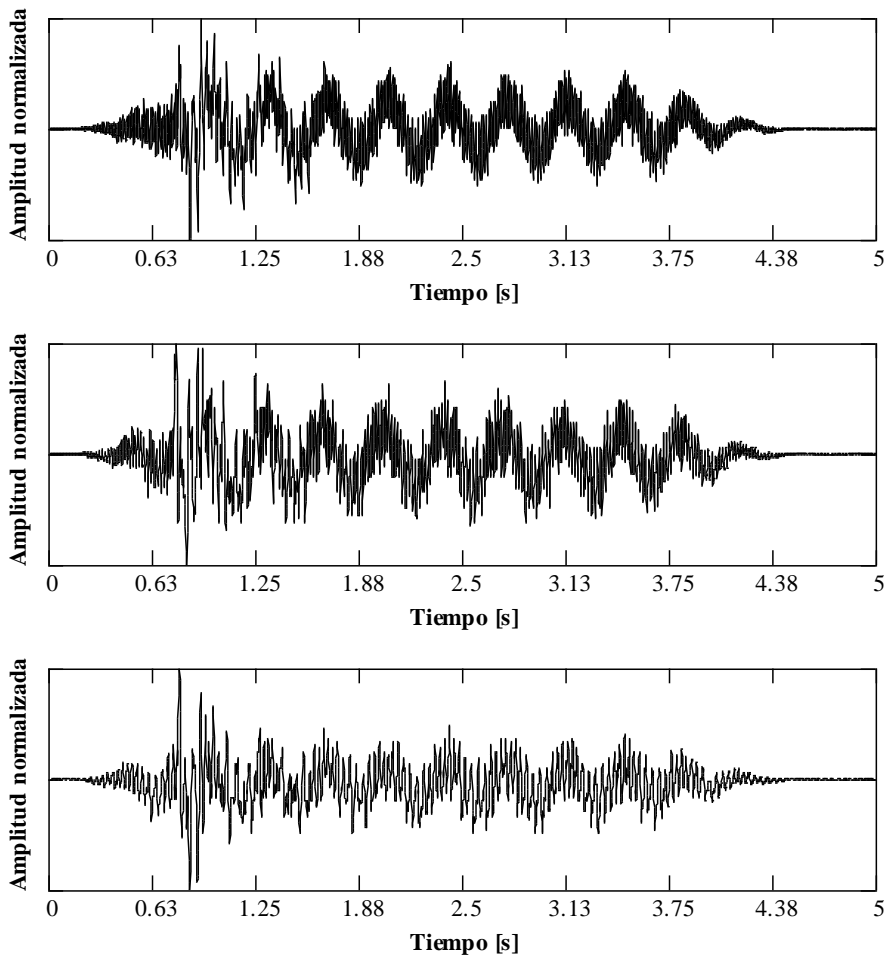


Figura 61. Acelerogramas registrados en el tramo 8 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

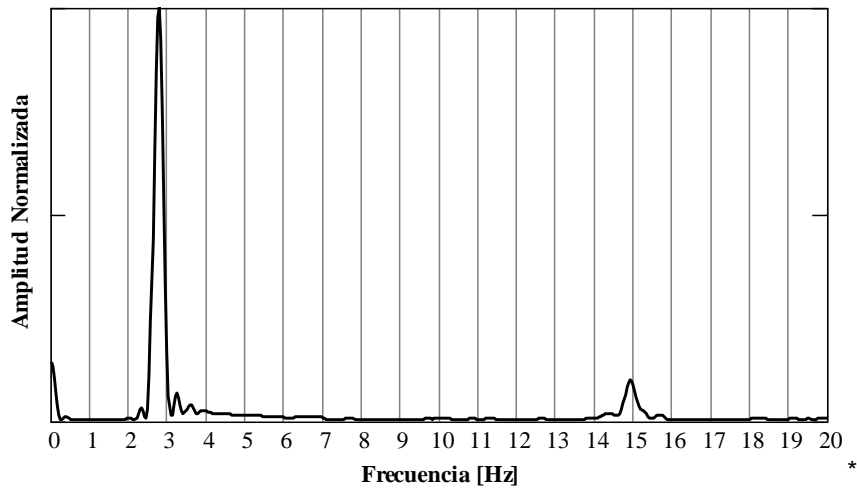


Figura 62. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 61

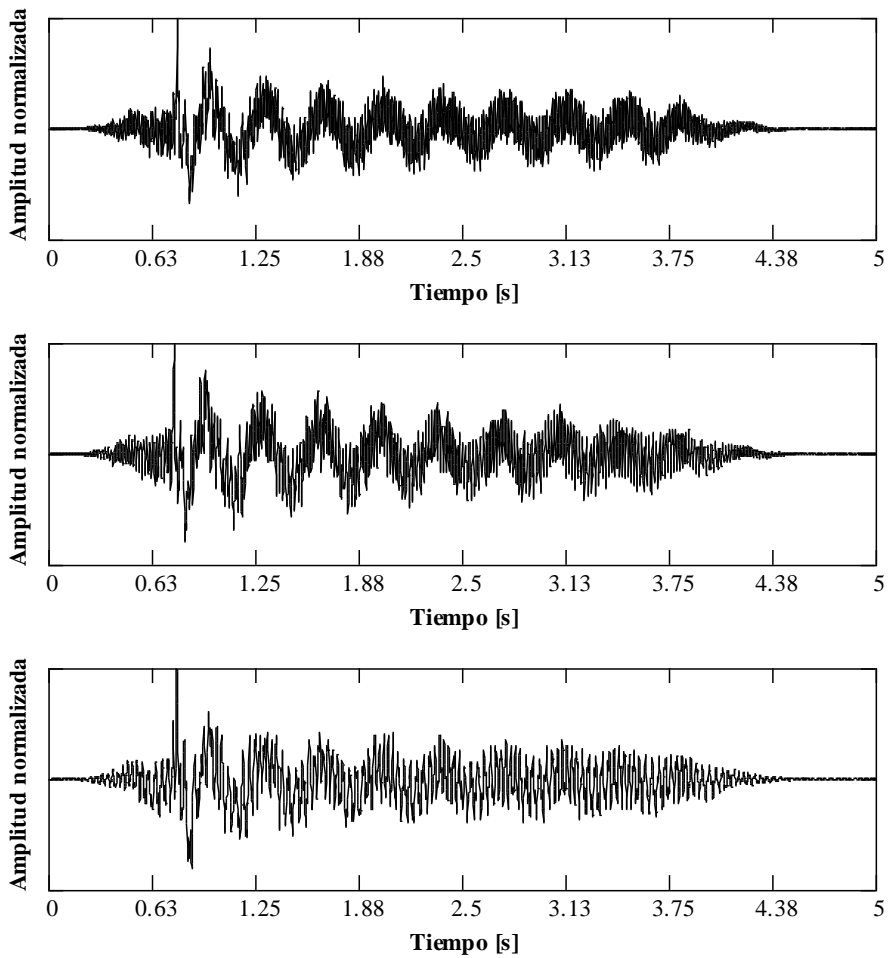


Figura 63. Acelerogramas registrados en el tramo 8 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

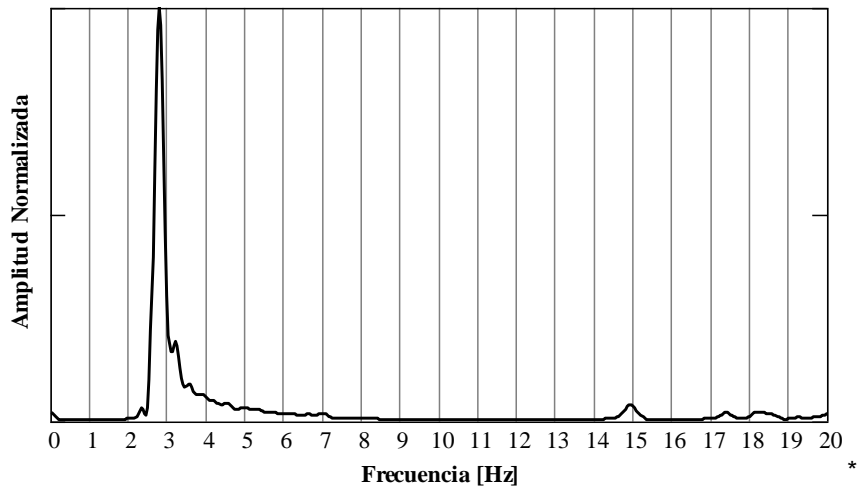


Figura 64. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 63

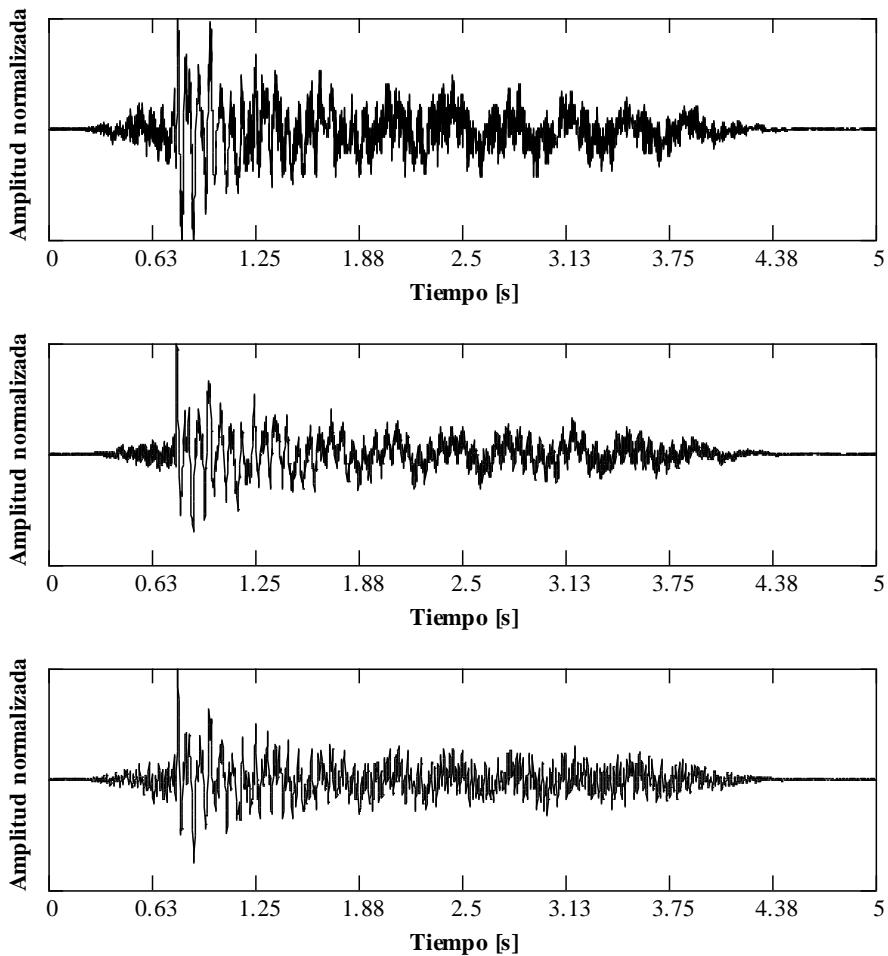


Figura 65. Acelerogramas registrados en el tramo 10 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

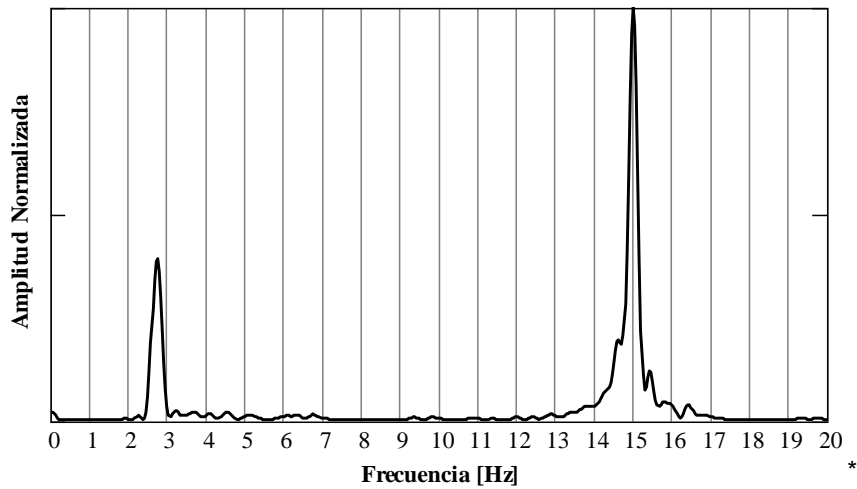


Figura 66. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 65

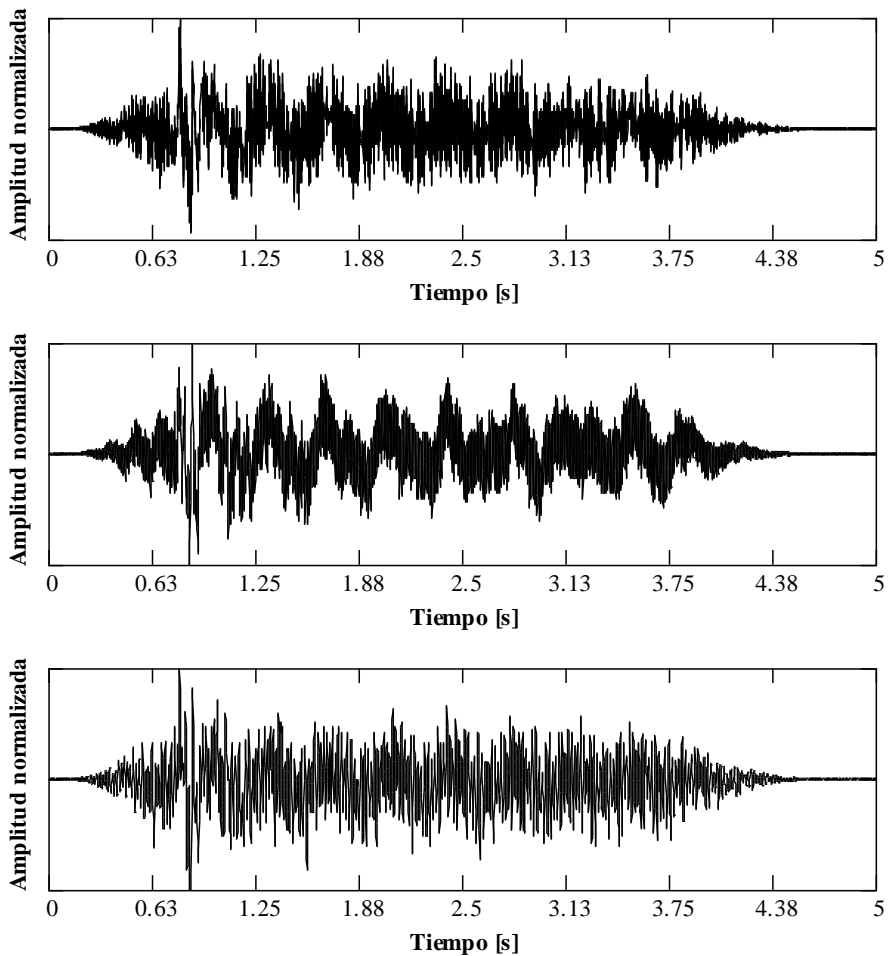


Figura 67. Acelerogramas registrados en el tramo 10 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

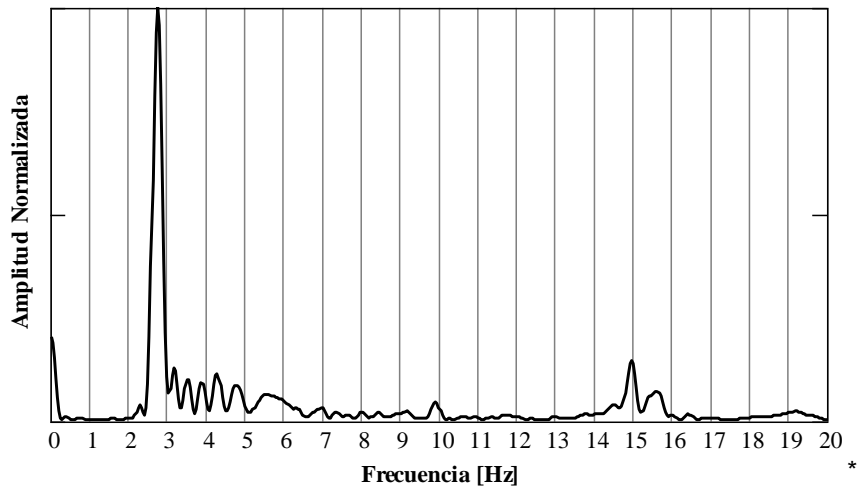


Figura 68. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 67

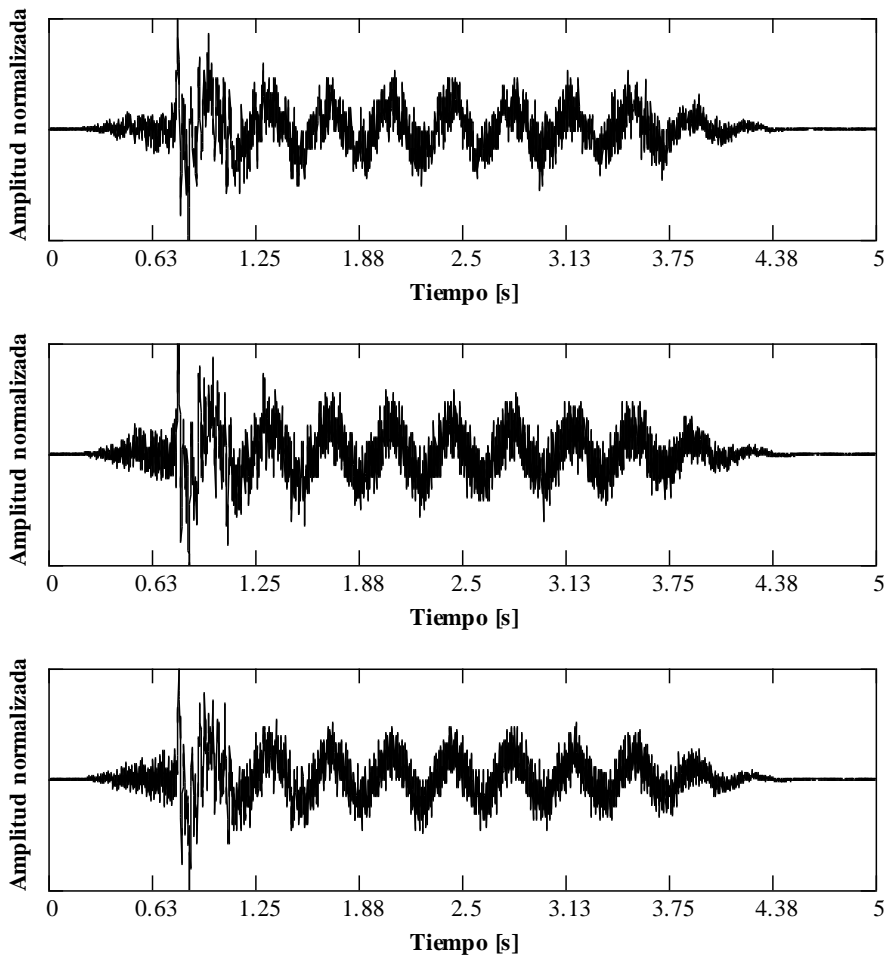


Figura 69. Acelerogramas registrados en el tramo 10 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

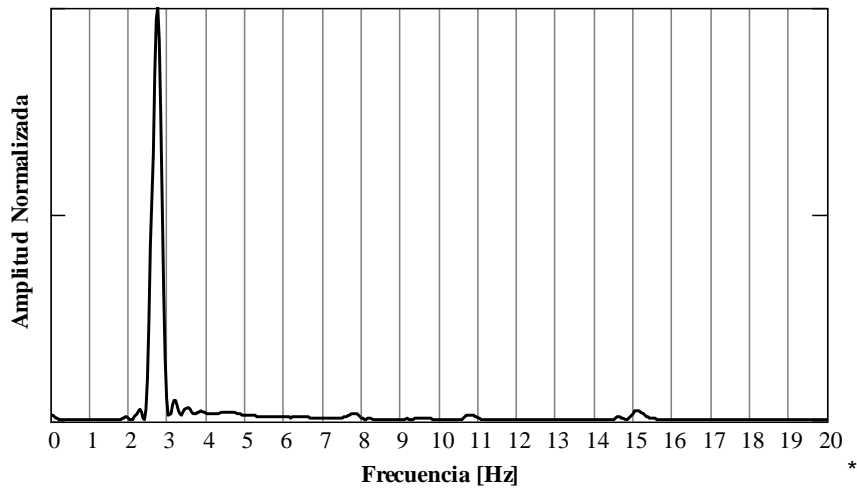


Figura 70. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 69

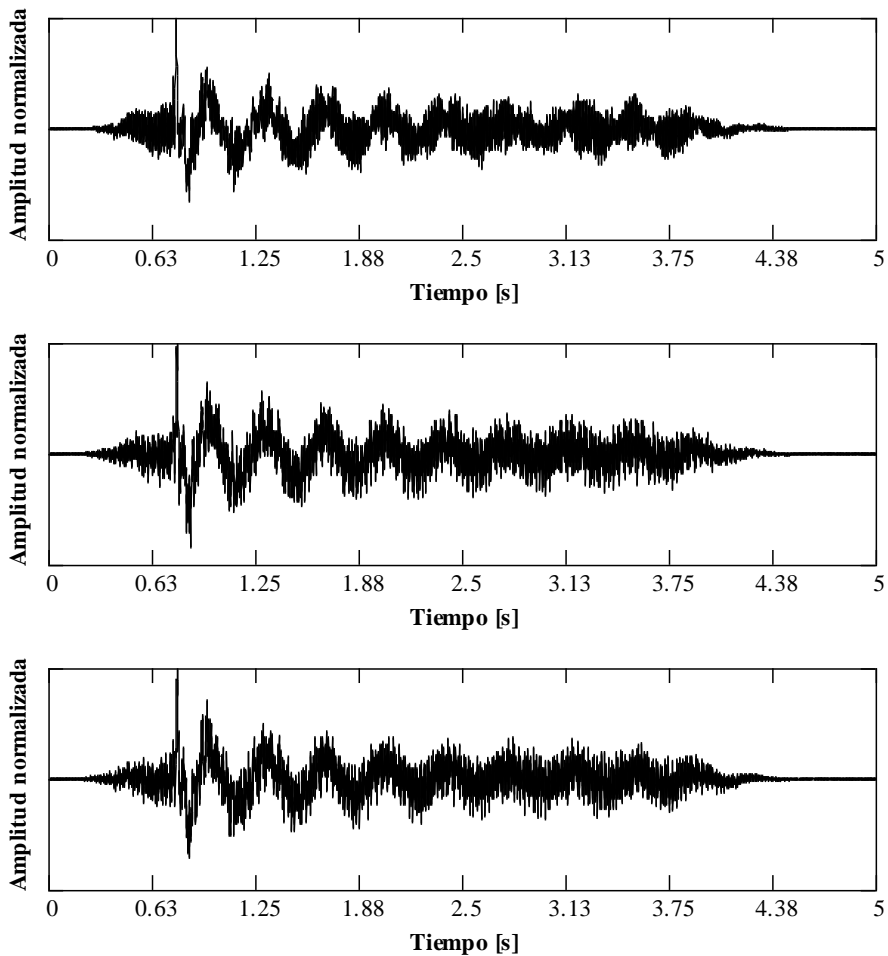


Figura 71. Acelerogramas registrados en el tramo 10 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

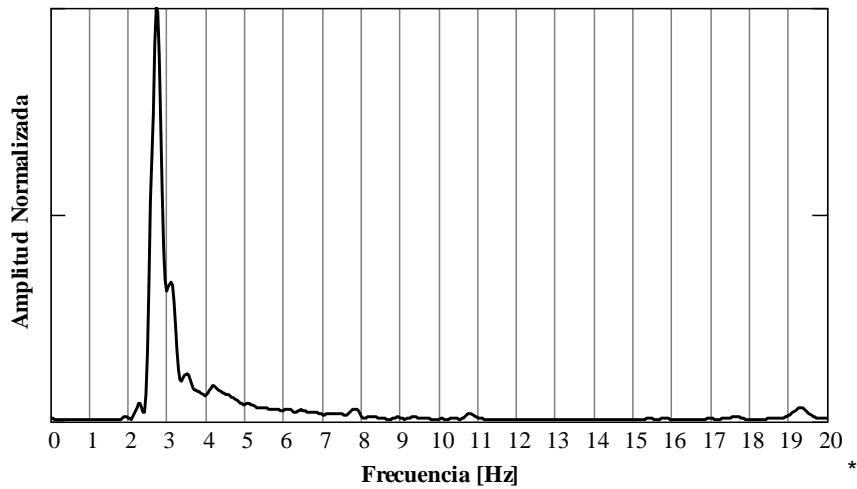


Figura 72. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 71

1.3. Viaducto Argentino

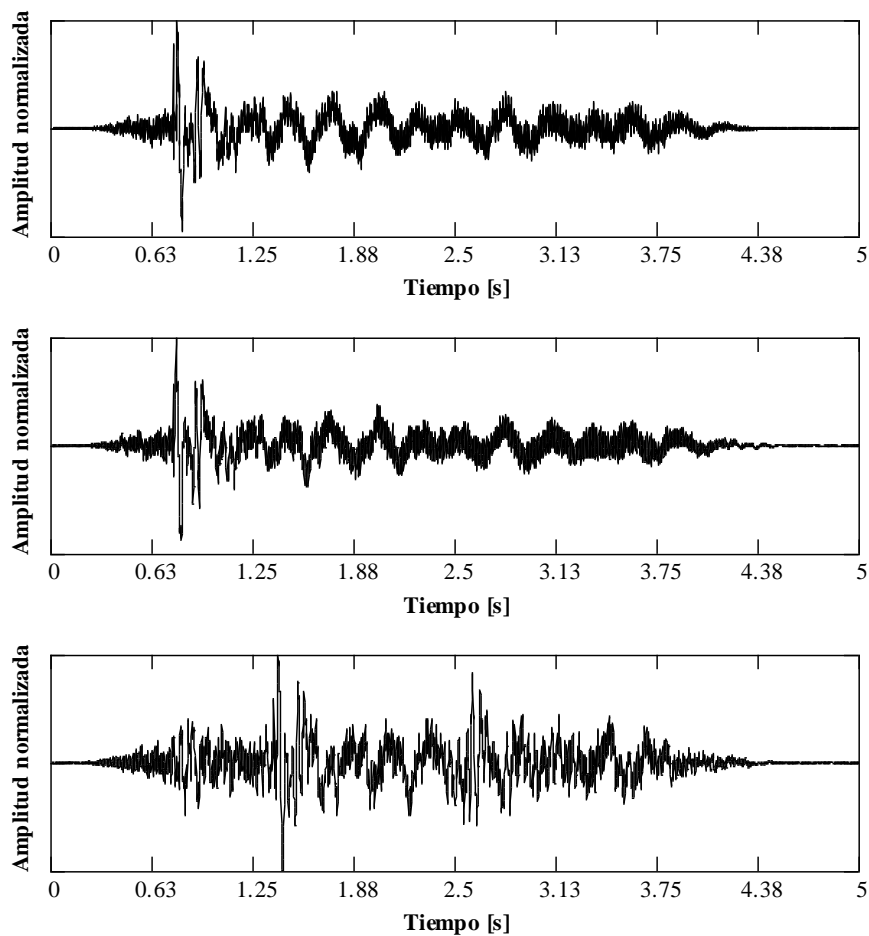


Figura 73. Acelerogramas registrados en el tramo 15 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

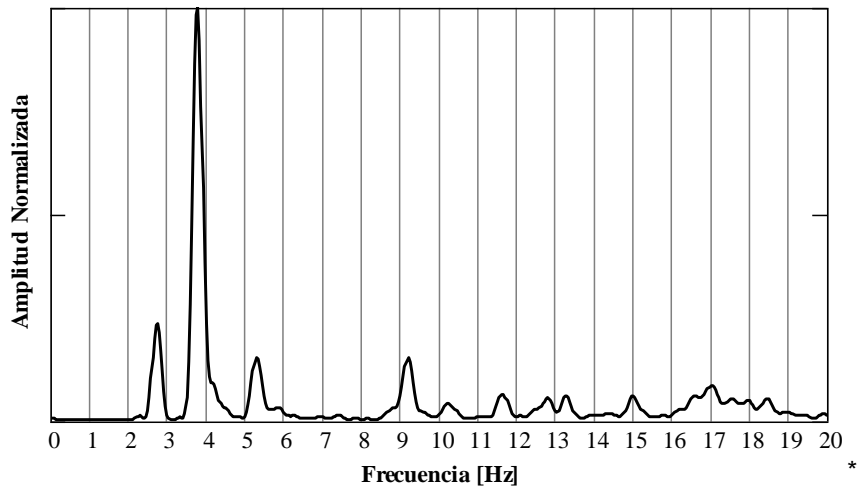


Figura 74. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 73

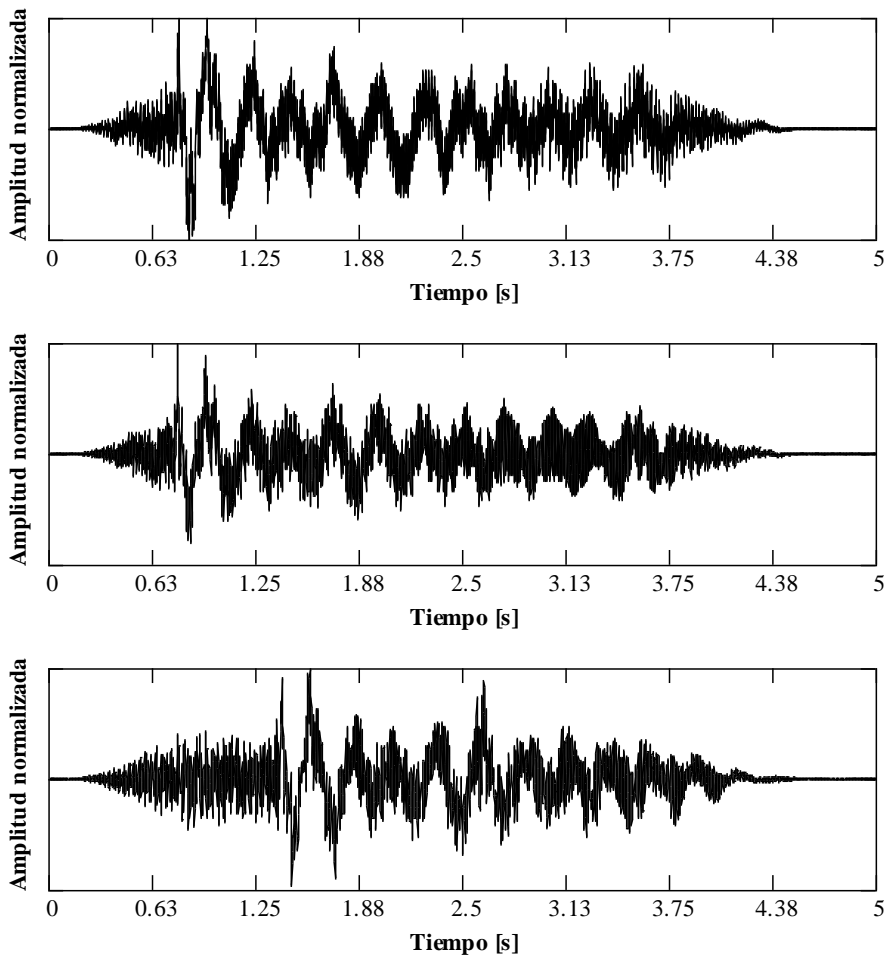


Figura 75. Acelerogramas registrados en el tramo 15 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

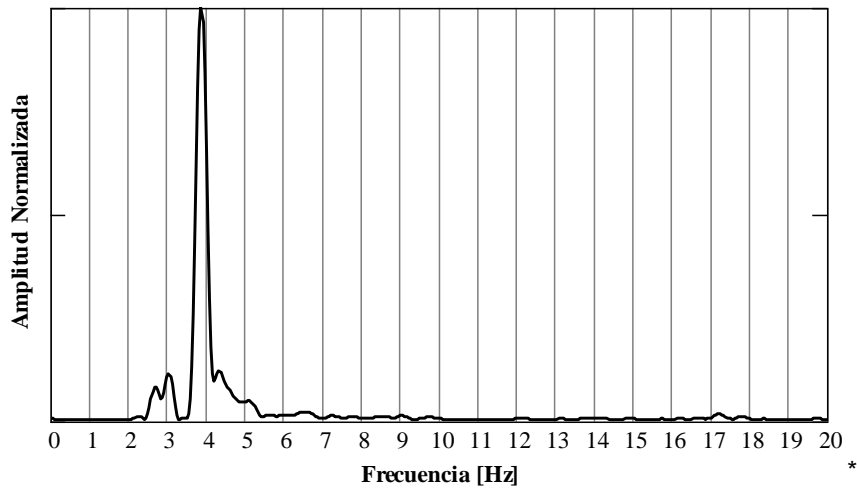


Figura 76. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 75

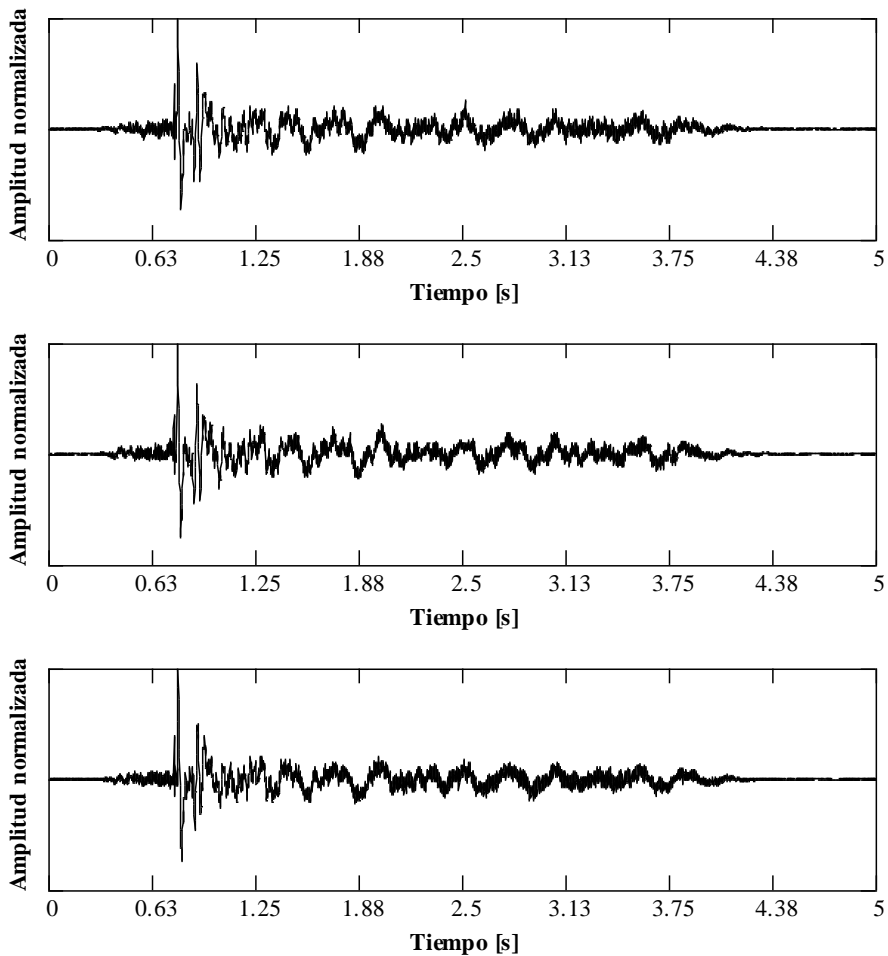


Figura 77. Acelerogramas registrados en el tramo 18 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

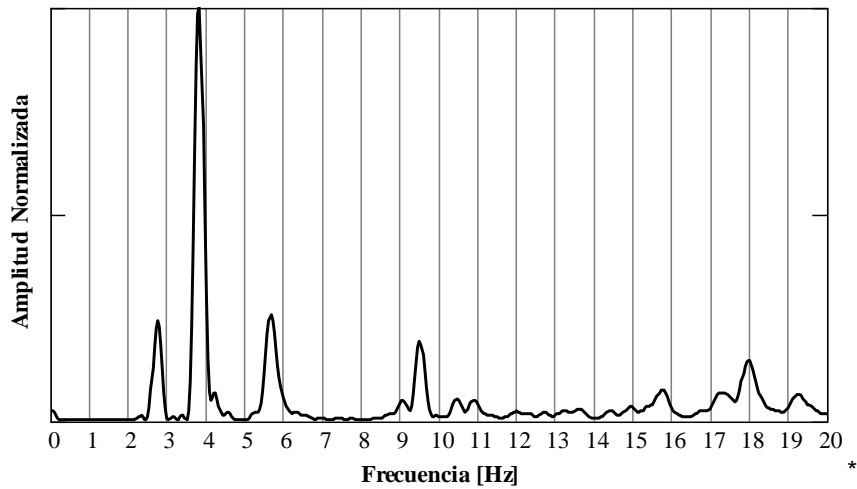


Figura 78. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 77

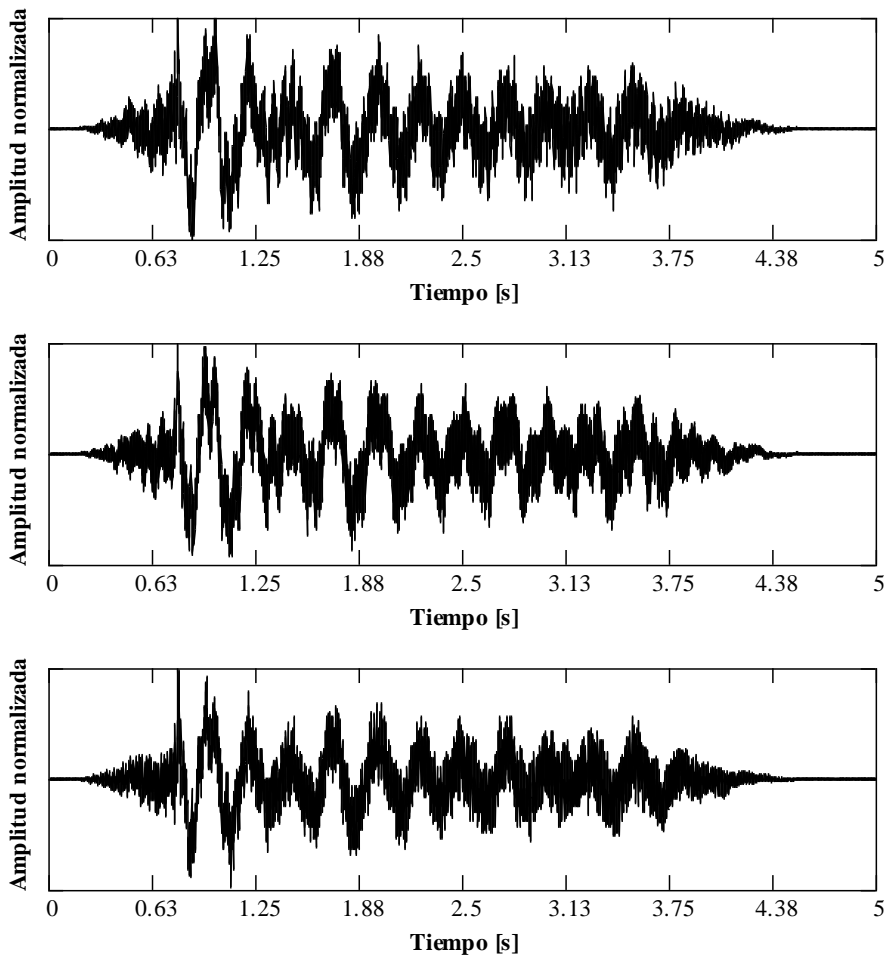


Figura 79. Acelerogramas registrados en el tramo 18 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

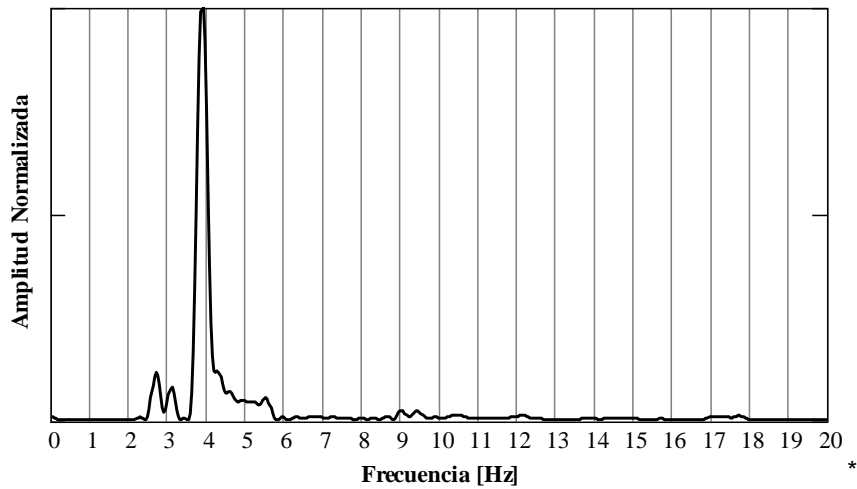


Figura 80. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 79

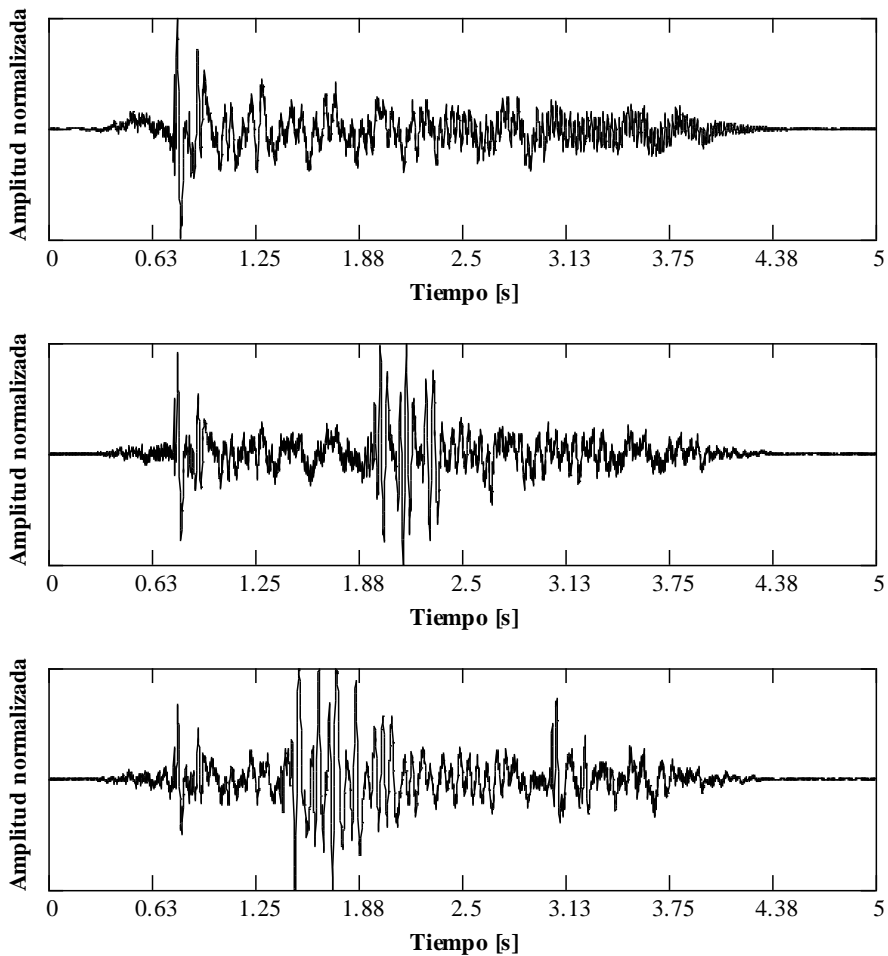


Figura 81. Acelerogramas registrados en el tramo 23 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

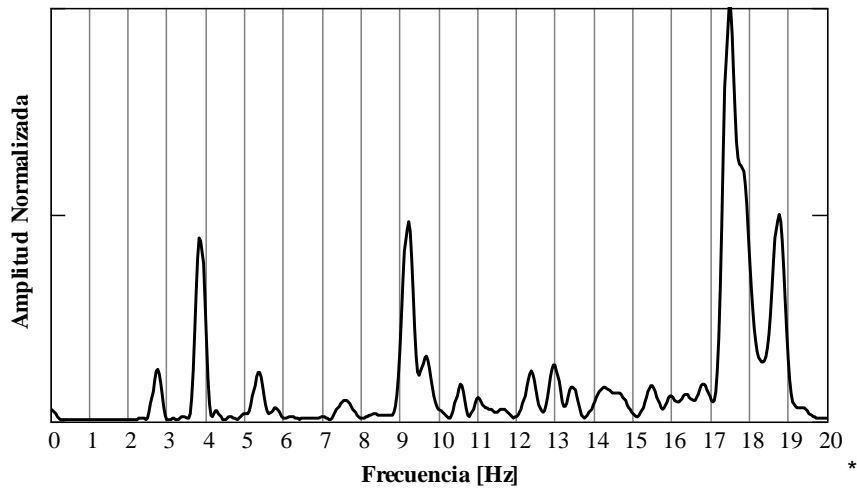


Figura 82. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 81

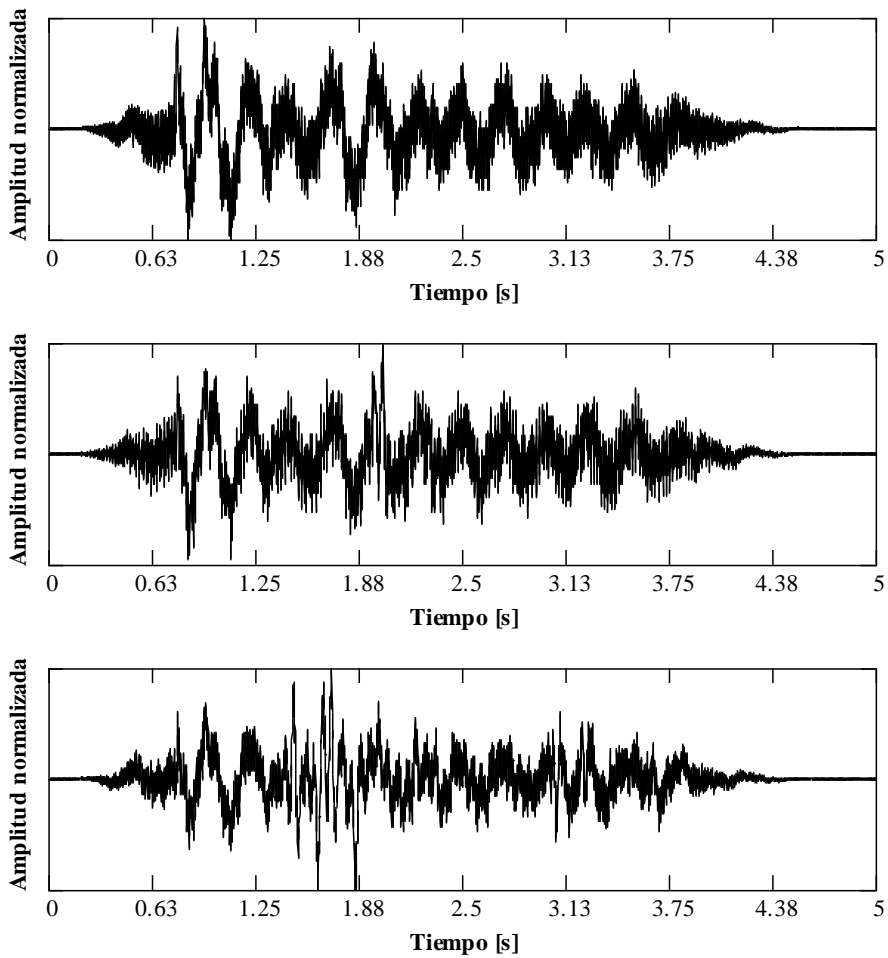


Figura 83. Acelerogramas registrados en el tramo 23 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

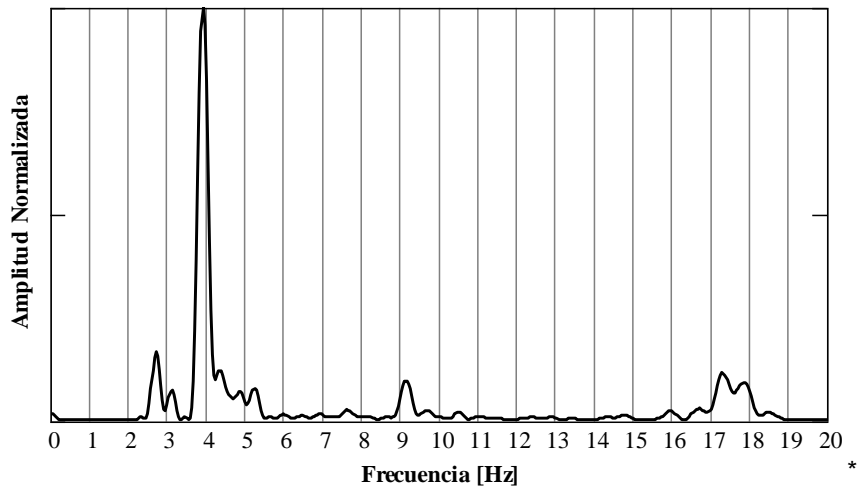


Figura 84. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 83

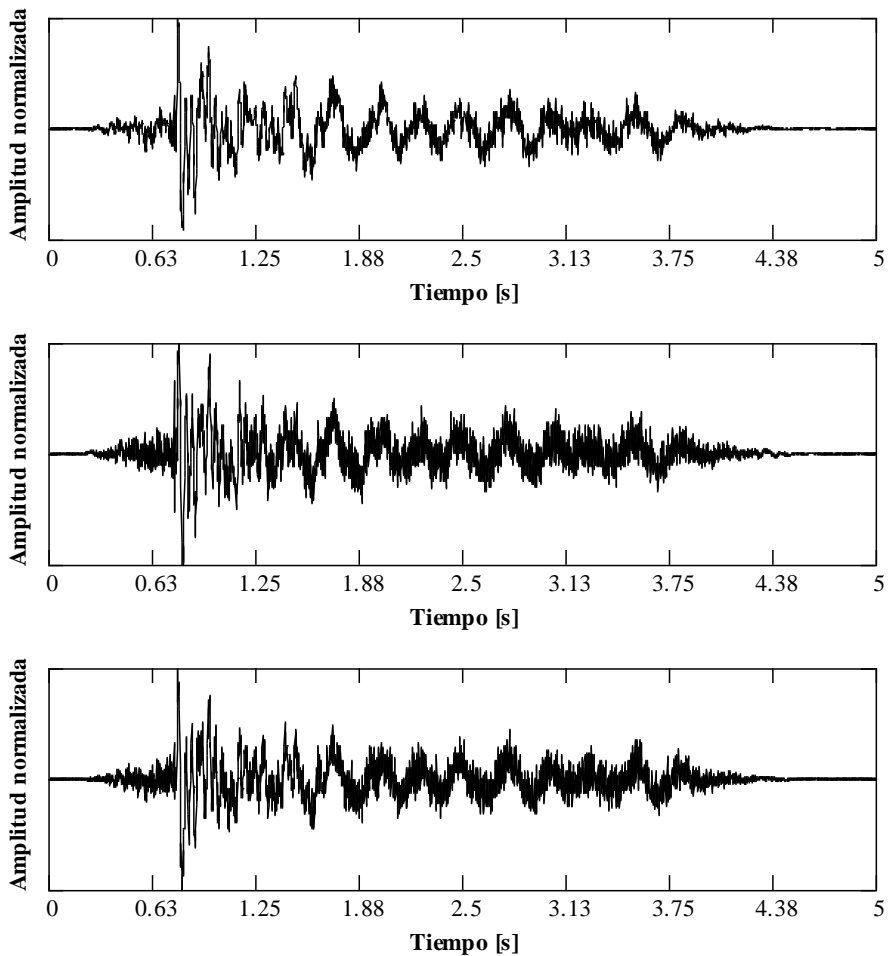


Figura 85. Acelerogramas registrados en el tramo 28 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

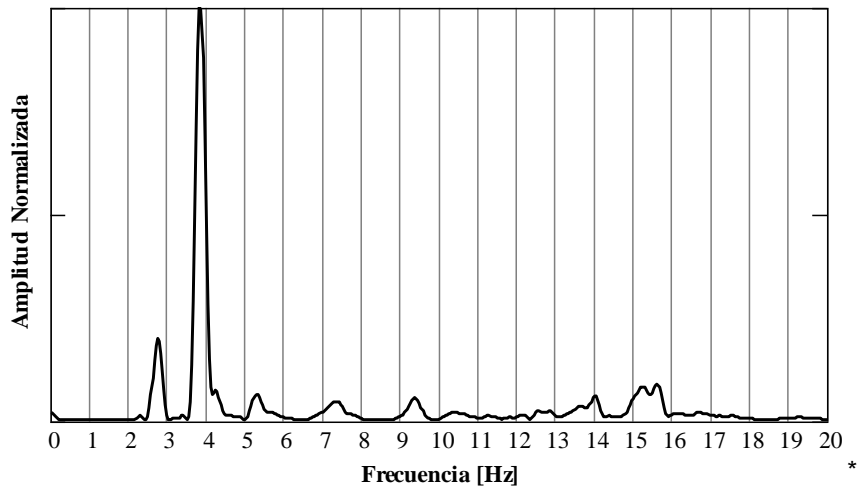


Figura 86. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 85

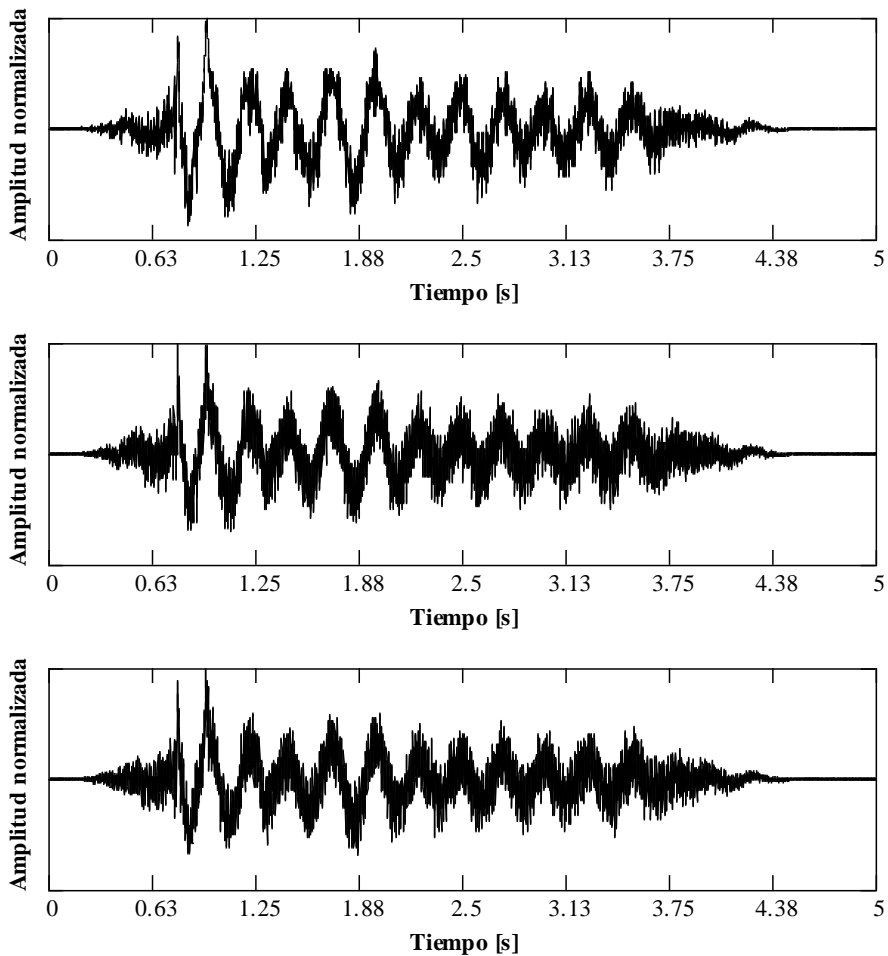


Figura 87. Acelerogramas registrados en el tramo 28 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

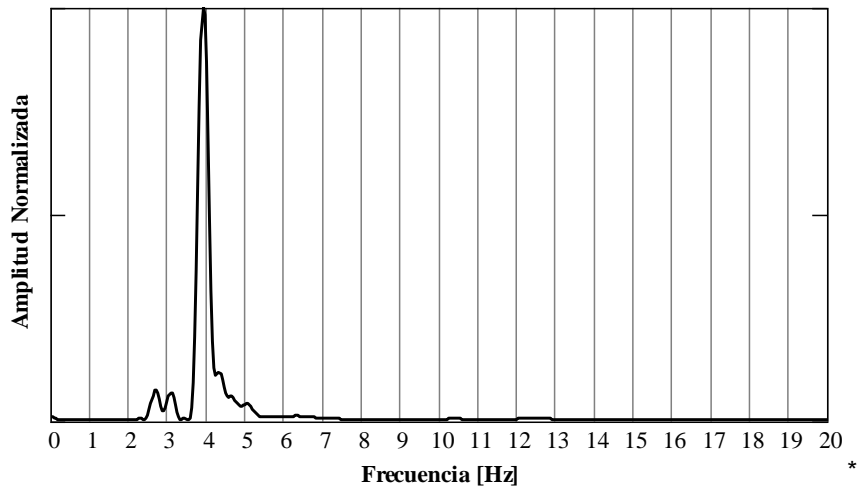


Figura 88. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 87

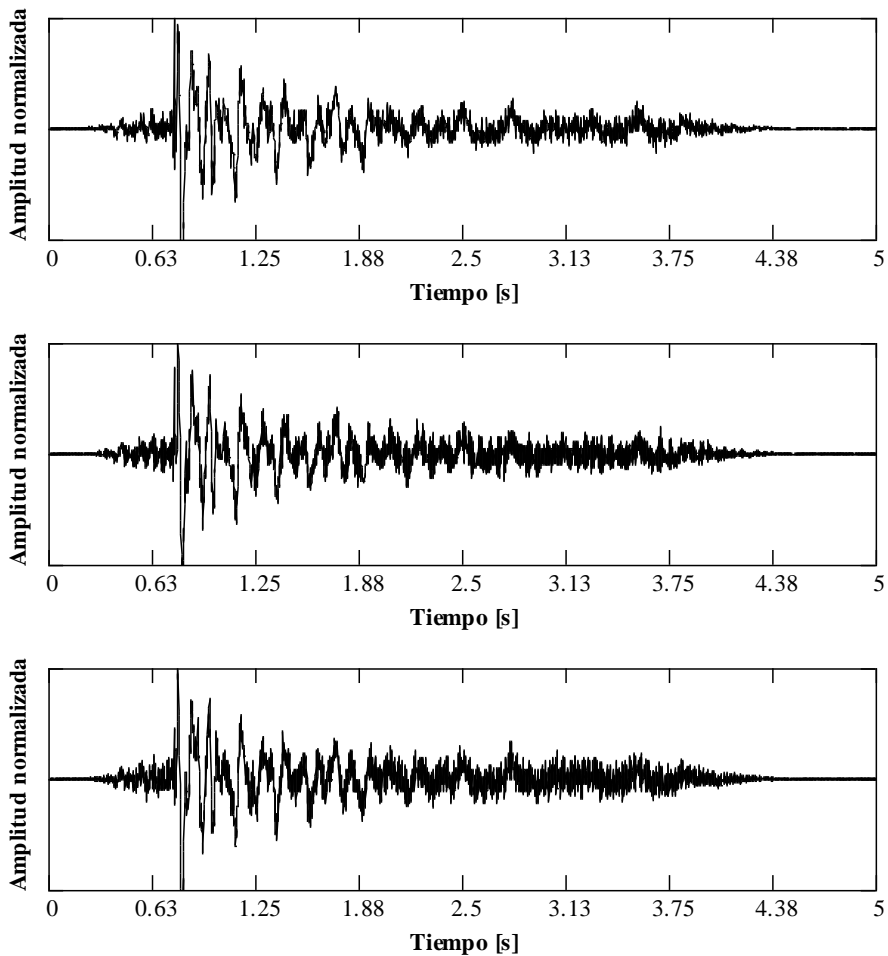


Figura 89. Acelerogramas registrados en el tramo 32 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

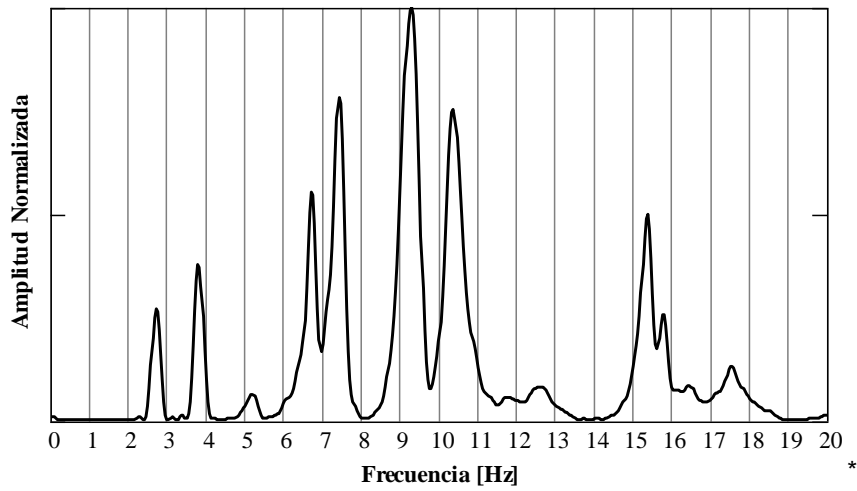


Figura 90. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 89

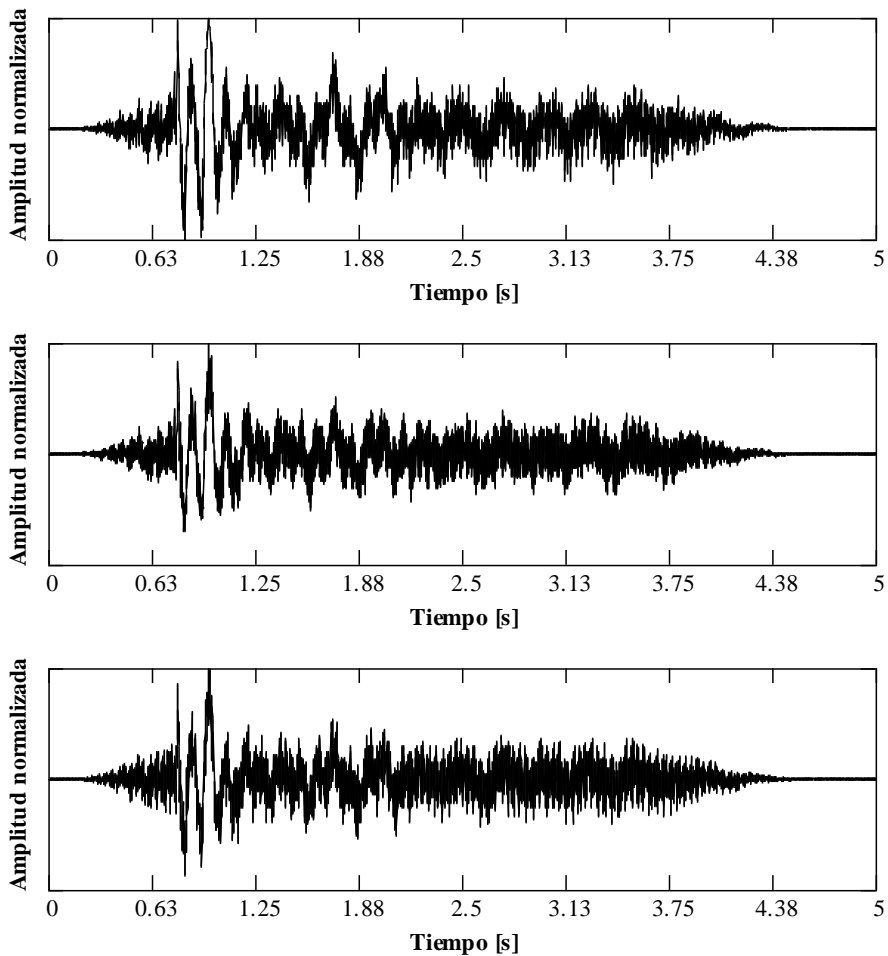


Figura 91. Acelerogramas registrados en el tramo 32 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

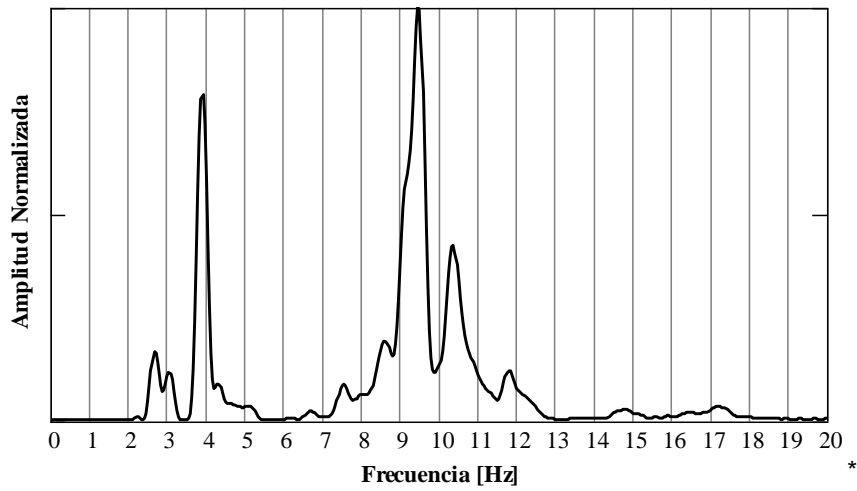


Figura 92. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 91

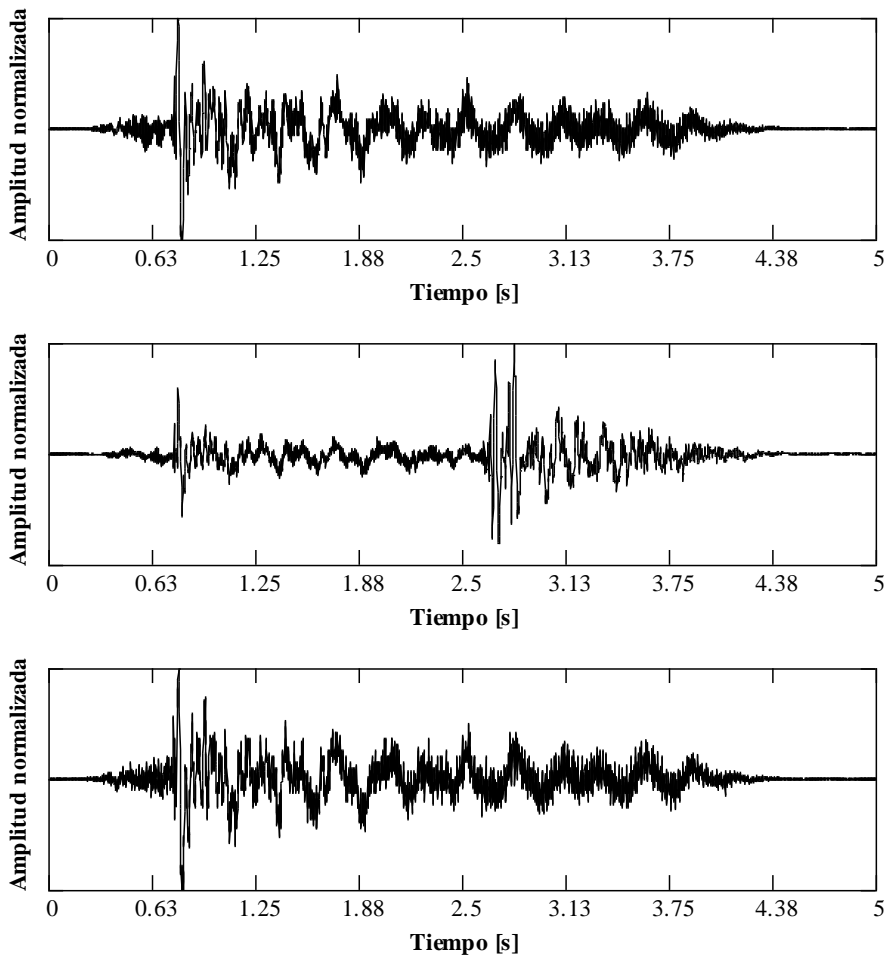


Figura 93. Acelerogramas registrados en el tramo 36 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

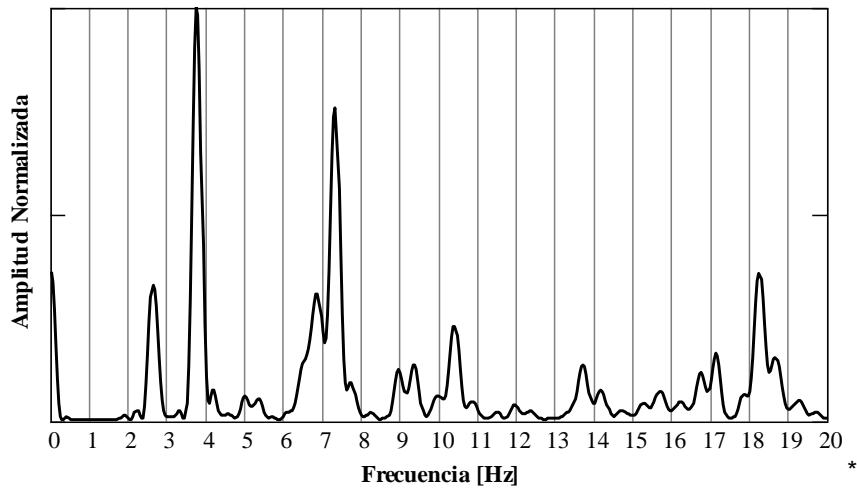


Figura 94. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 93

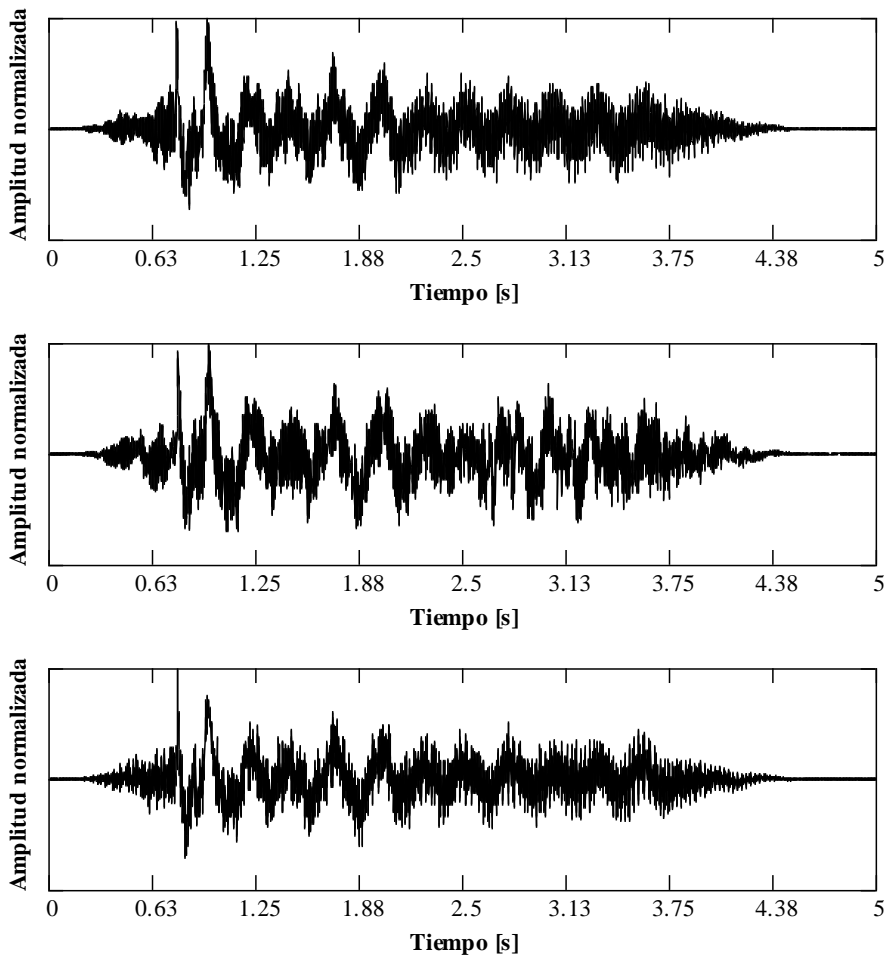


Figura 95. Acelerogramas registrados en el tramo 36 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

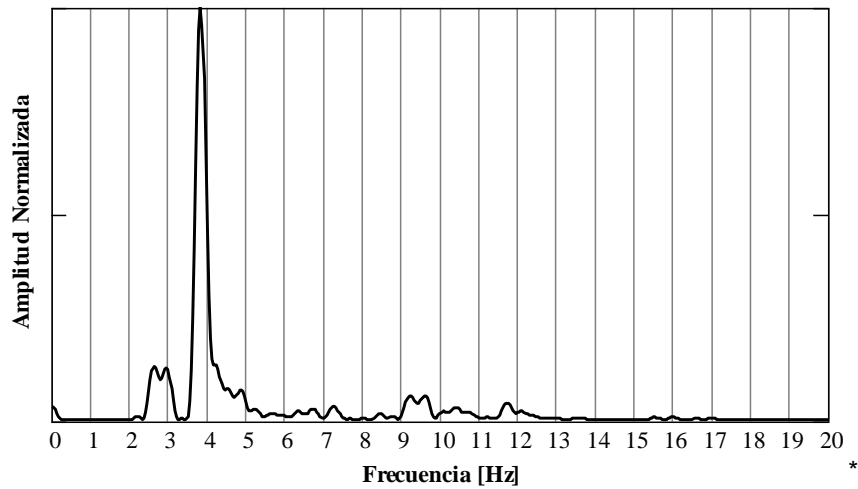


Figura 96. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 95

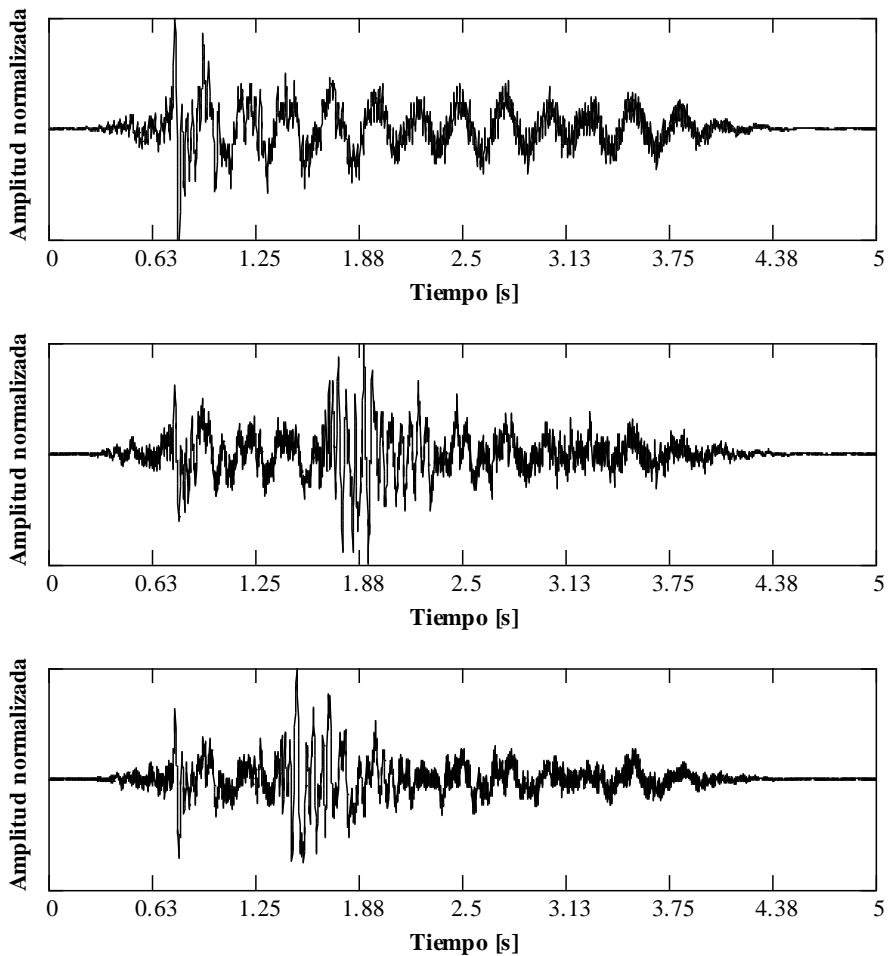


Figura 97. Acelerogramas registrados en el tramo 39 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

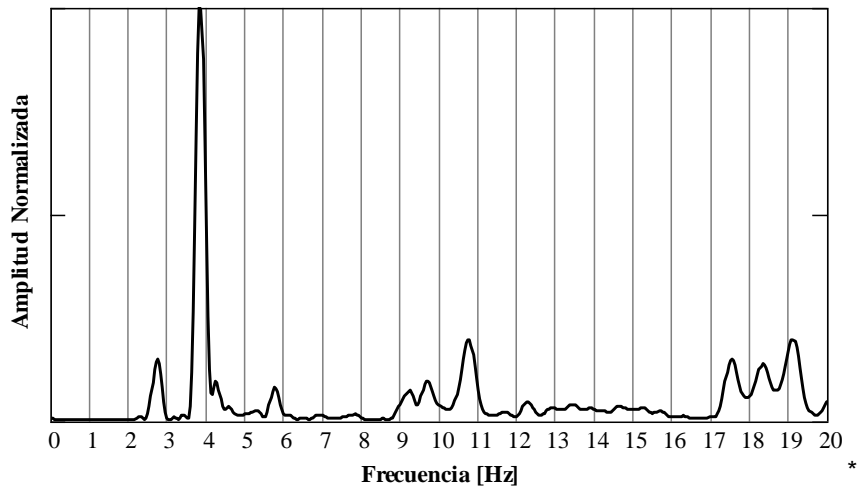


Figura 98. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 97

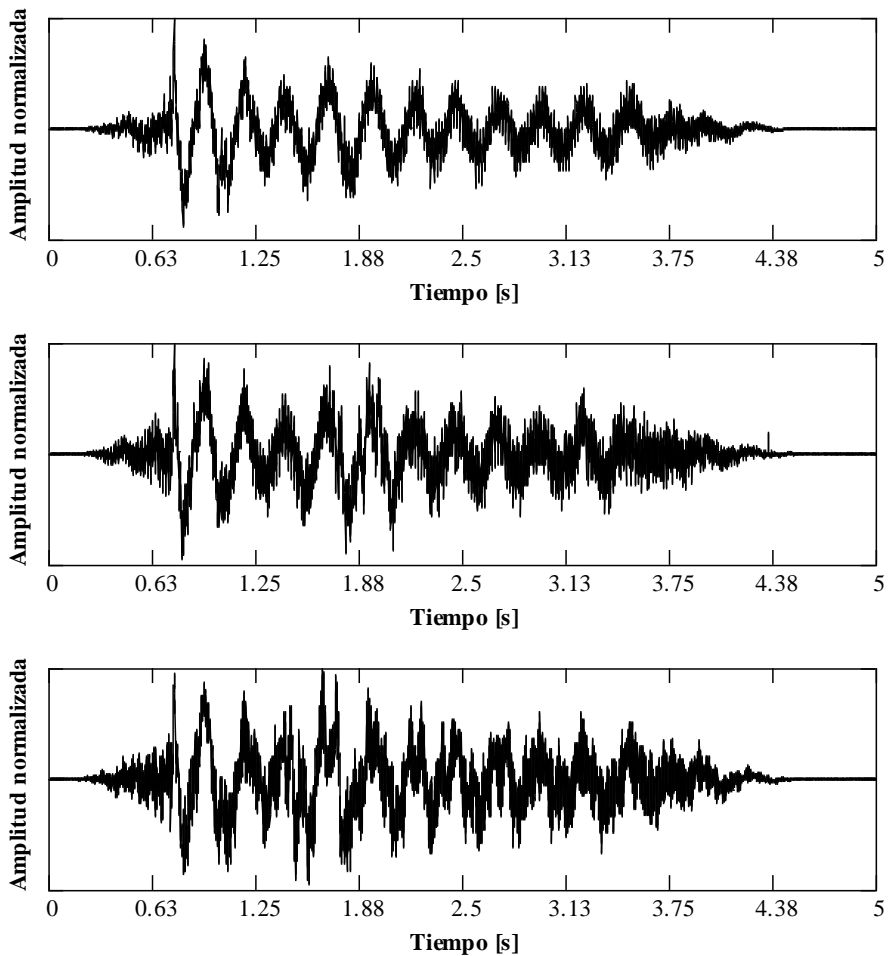


Figura 99. Acelerogramas registrados en el tramo 39 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

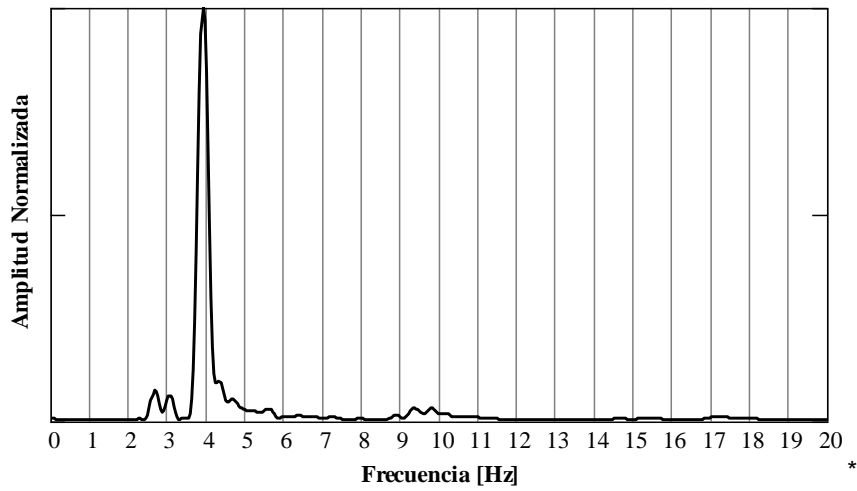


Figura 100. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 99

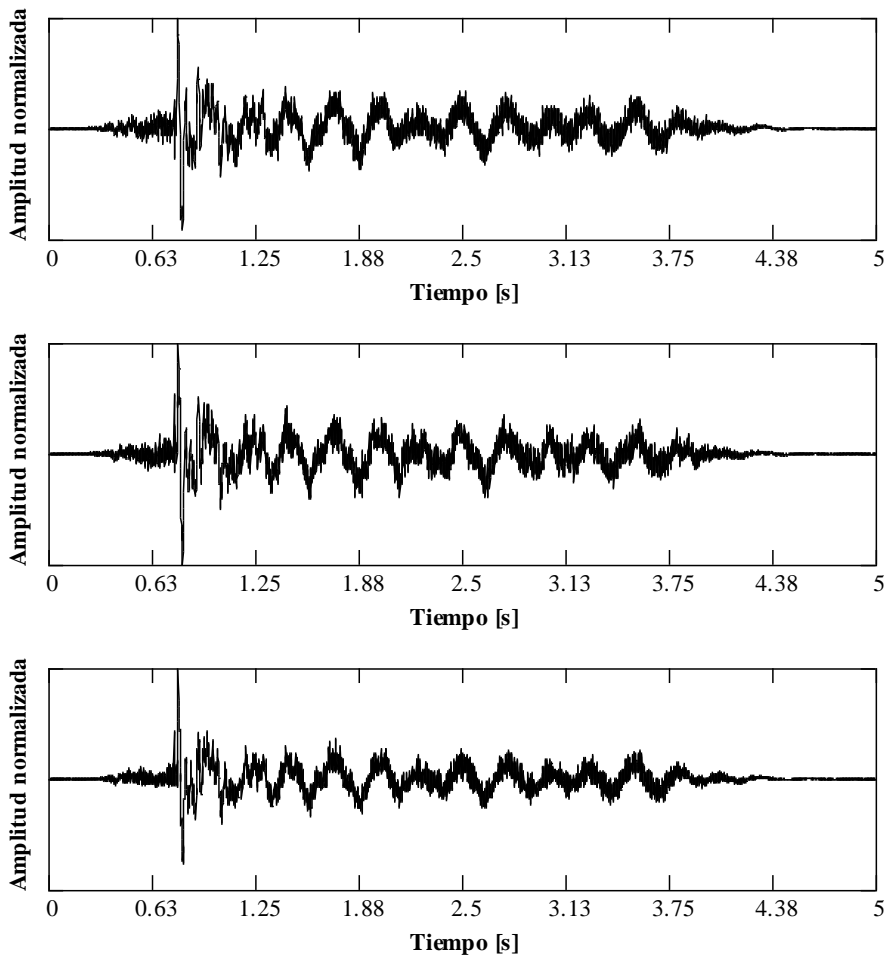


Figura 101. Acelerogramas registrados en el tramo 43 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

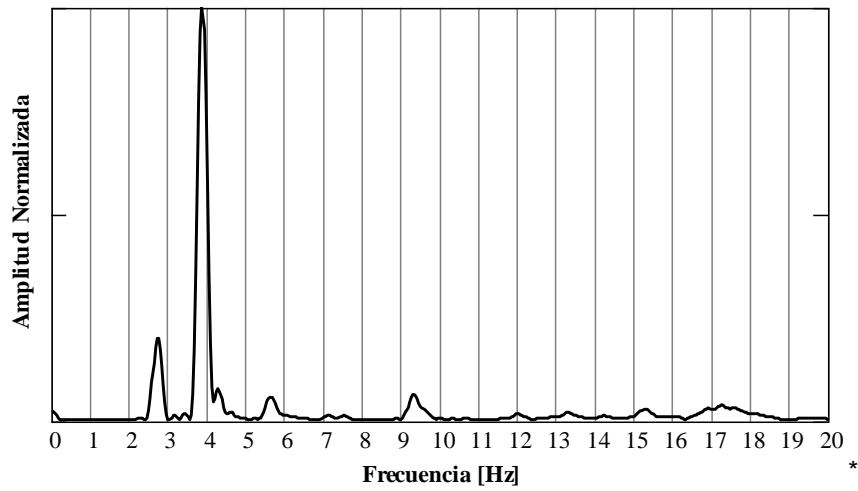


Figura 102. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 101

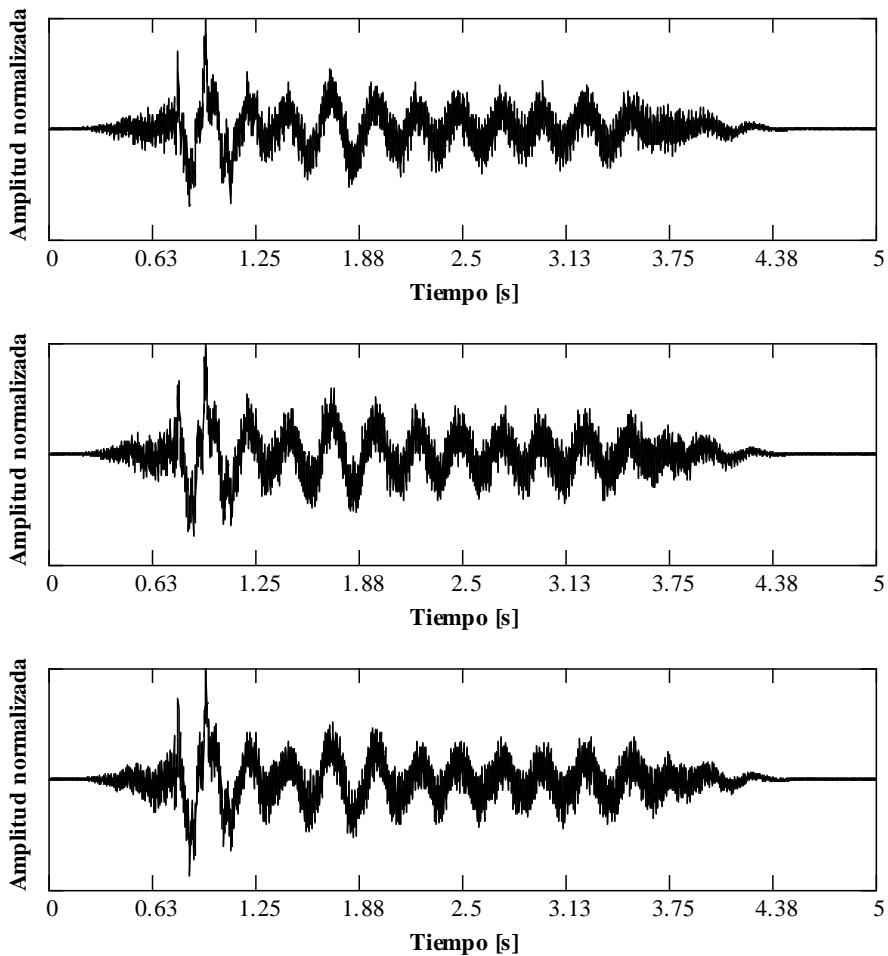


Figura 103. Acelerogramas registrados en el tramo 43 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

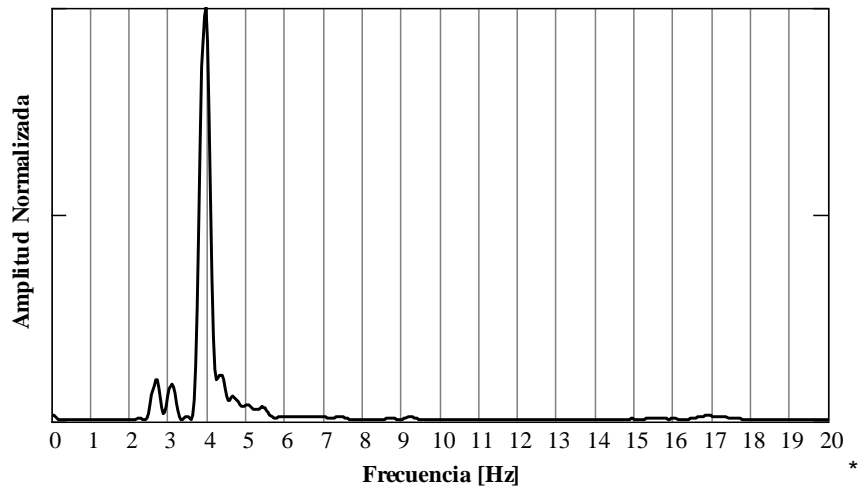


Figura 104. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 103



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Anexo V

Verificación a Estabilidad y Resistencia de las Columnas de Viaducto del PGA





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Verificación de las columnas de las pilas del viaducto uruguayo del PGA en la sección más solicitada

Diámetro de la columna =	1.5 m
Área de la columna =	1.7671 m ²
Altura Columna máxima solicitación, h [m] =	27.96 m
Altura Columna total, h [m] =	27.96 m
Inclinación long., ϕ_{long} =	0.7%
Inclinación trans., ϕ_{trans} =	0.7%
Excentricidad constructiva en dirección longitudinal =	0.08 m
Excentricidad constructiva en dirección transversal =	0.08 m
$f_c' [t/m^2]$ =	3875.0
$f_s [t/m^2]$ =	42000.0
Pcrit. Long [t] =	9759
Pcrit. Trans [t] =	21564

Comb.	Normal [t]	Mlong [tm]	Mtrans [tm]	Excentricidad		Verticalidad		Momentos de primer orden	
				ΔM_{long} [tm]	ΔM_{trans} [tm]	ΔM_{long} [tm]	ΔM_{trans} [tm]	Mlong [tm]	Mtrans [tm]
1	1288.09	127.92	0.00	103.05	103.05	252.10	252.10	483.07	355.15
2	1000.69	0.00	133.31	80.06	80.06	195.86	195.86	275.91	409.22
3	1090.51	39.97	193.30	87.24	87.24	213.43	213.43	340.65	493.98
4	1127.71	39.11	0.00	90.22	90.22	220.72	220.72	350.04	310.93
5				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 1. Esfuerzos últimos de verificación.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Comb.	Coeficientes de amplificación		Momentos de segundo orden		
	δ long	δ trans	Mlong II [tm]	Mtrans II [tm]	Mcomb. [tm]
1	1.21	1.09	586.24	385.89	701.85
2	1.16	1.07	319.61	436.21	540.77
3	1.18	1.07	400.28	529.69	663.93
4	1.18	1.07	413.80	334.24	531.92
5	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
6	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 2. Continuación de Tabla 1.

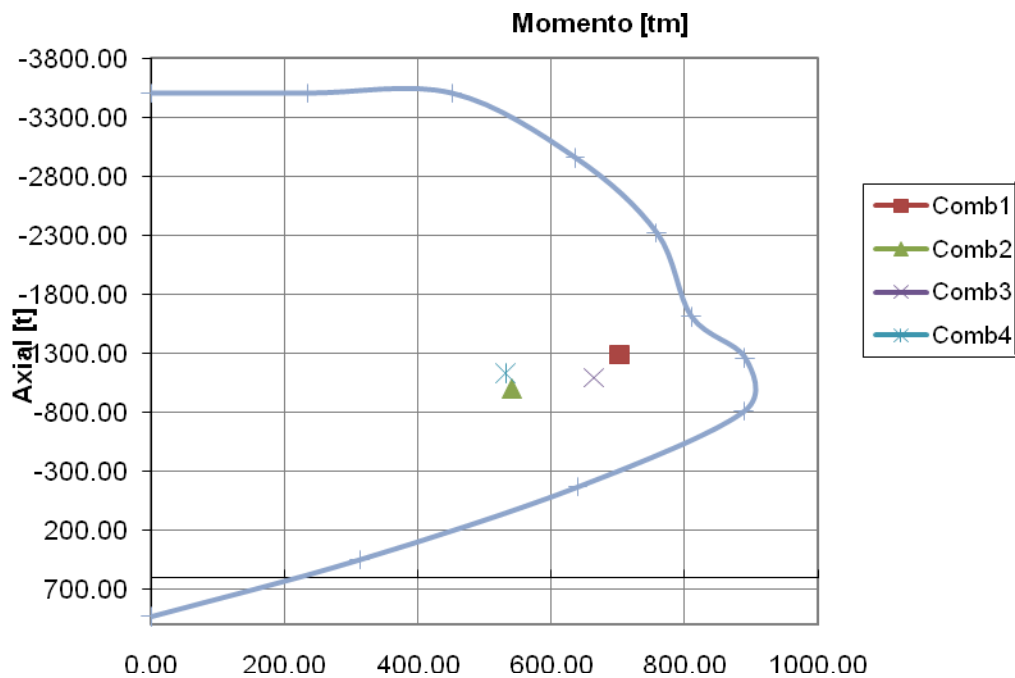


Figura 1. Diagrama de interacción de resistencia para las columnas de viaducto uruguayo.

Armadura mínima [cm²] = 141.4 cm²
 Armadura adoptada = 50 ϕ 25 = 245.5 cm²
 Cuantía = 1.39 %





Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Verificación a Corte

Q_{max} [t] = 7.12
 A_s [cm²/m] = 1.51
 Espiral adoptada ϕ 10 paso 30.0 = 5.24 cm²/m

Verificación de las columnas de las pilas del viaducto argentino del PGA en la sección más solicitada

Diámetro de la columna = 1.5 m
 Área de la columna = 1.7671 m²
 Altura Columna máxima sollicitación, h [m] = 27.96 m
 Altura Columna total, h [m] = 27.96 m
 Inclinación long., ϕ_{long} = 0.7%
 Inclinación trans., ϕ_{trans} = 0.7%
 Excentricidad constructiva en dirección longitudinal = 0.08 M
 Excentricidad constructiva en dirección transversal = 0.08 M
 f'_c [t/m²] = 3875.0
 f_s [t/m²] = 42000.0
 $P_{crit. Long}$ [t] = 14734.0
 $P_{crit. Trans}$ [t] = 47548.0

Comb.	Excentricidad			Verticalidad		Momentos de primer orden			
	Normal [t]	Mlong [tm]	Mtrans [tm]	Δ Mlong [tm]	Δ Mtrans [tm]	Δ Mlong [tm]	Δ Mtrans [tm]	Mlong [tm]	Mtrans [tm]
1	-1191.55	131.59	0.57	95.32	95.32	233.21	233.21	460.12	329.10
2	-1043.48	0.00	128.96	83.48	83.48	204.23	204.23	287.71	416.67
3	-1063.90	41.12	109.63	85.11	85.11	208.23	208.23	334.46	402.97
4	-1072.26	39.17	28.63	85.78	85.78	209.86	209.86	334.81	324.27
5	-1184.66	131.58	0.57	94.77	94.77	231.86	231.86	458.21	327.20
6	-1060.98	41.12	109.63	84.88	84.88	207.66	207.66	333.65	402.16

Tabla 3. Esfuerzos últimos de verificación.



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Comb.	Coeficientes de amplificación		Momentos de segundo orden		
	δ long	δ trans	Mlong II [tm]	Mtrans II [tm]	Mcomb. [tm]
1	1.12	1.03	515.73	340.48	617.99
2	1.10	1.03	317.71	429.23	534.02
3	1.11	1.03	370.09	415.36	556.32
4	1.11	1.03	370.79	334.33	499.26
5	1.12	1.03	513.24	338.45	614.78
6	1.11	1.03	369.09	414.50	555.01

Tabla 4. Continuación Tabla 3.

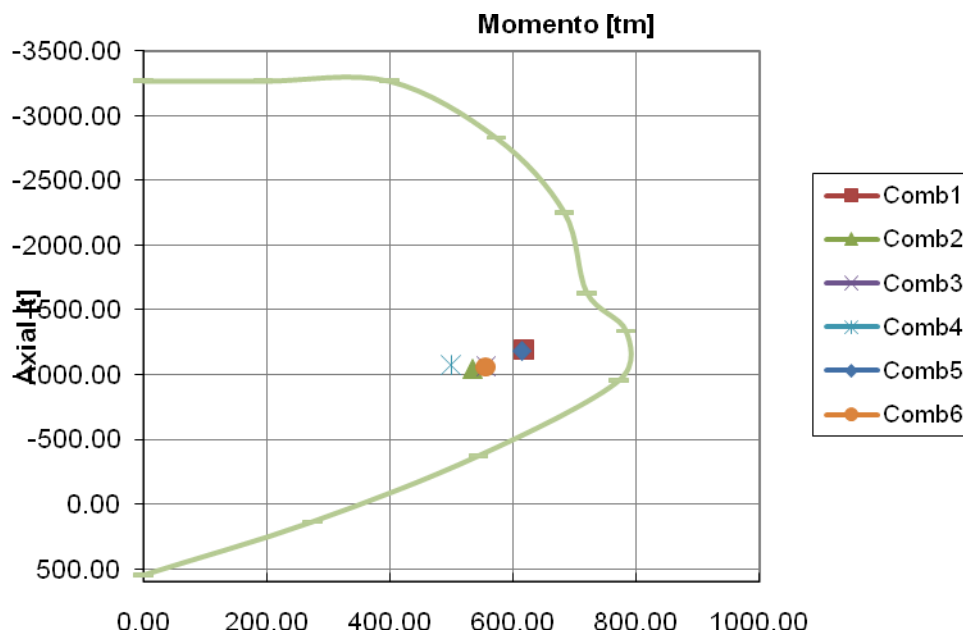


Figura 2. Diagrama de interacción de resistencia para las columnas de viaducto uruguayo.

Armadura mínima [cm²] = 141.4 cm²
 Armadura adoptada = 29 ϕ 25 142.4 cm²
 Cuantía = 0.81 %



Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

Verificación a Corte

Resto del elemento

Qmax [t] = 18.18

As [cm²/m] = 3.85

Espiral adoptada ϕ 10 paso 30.0 = 5.24

