



Comisión Administradora del Río Uruguay

CARU

**Informe de Evaluación del Puente Libertador
General San Martín Conexión internacional
Puerto Unzué (Argentina) - Fray Bentos (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

Diciembre 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 |
| ALCANCES Y OBJETIVO | 4 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 4 |
| 2. EVALUACIÓN DEL PLGSM | 5 |
| 2.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN OCULAR | 6 |
| 2.1.1 <i>Infraestructura</i> | 6 |
| 2.1.2 <i>Superestructura</i> | 11 |
| 2.1.3 <i>Accesos y Detalles</i> | 13 |
| 2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS TESTIGOS EXTRAÍDOS A LA INFRAESTRUCTURA DEL PLGSM | 16 |
| 2.2.1 <i>Ensayos de Compresión y ultrasonido</i> | 16 |
| 2.2.2 <i>Estudio Petrográfico</i> | 17 |
| 2.3 ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS REALIZADOS AL PUENTE | 19 |
| 2.3.1 <i>Profundidad de Carbonatación</i> | 20 |
| 2.3.2 <i>Recubrimiento de la Estructura</i> | 20 |
| 2.3.3 <i>Integridad del hormigón</i> | 21 |
| 2.4 MODELOS NUMÉRICOS DEL PLGSM | 22 |
| 2.4.1 <i>Modelo del puente principal – PLGSM</i> | 23 |
| 2.4.2 <i>Modelación de los Viaductos de Acceso</i> | 25 |
| 2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DINÁMICOS | 28 |
| 2.5.1 <i>Procedimiento de ensayo</i> | 28 |
| 2.5.2 <i>Resultados de los ensayos dinámicos</i> | 29 |
| 2.6 VERIFICACIÓN DE LAS PILAS DE VIADUCTO FRENTE A CARGAS EXTRAORDINARIAS | 38 |
| 2.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA NIVELACIÓN DE TABLERO Y BATIMETRÍA DEL CAUCE DEL RÍO URUGUAY | 40 |
| 2.7.1 <i>Análisis de la nivelación de tablero</i> | 40 |
| 2.7.2 <i>Análisis de la batimetría del cauce del Río Uruguay</i> | 48 |
| 2.8 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE MEDICIÓN DE VERTICALIDAD DE LAS PILAS | 52 |
| 3. RECOMENDACIONES | 52 |
| 4. RESUMEN Y CONCLUSIONES | 53 |



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 PLGSM.

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

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

Anexo IV: Registros de Ensayos Dinámicos Realizados al PLGSM.

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



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”

Alcances y Objetivo

El objetivo de este documento es presentar la evaluación del estado de conservación del Puente Libertador General San Martín (PLGSM) 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.

1. Introducción

En la propuesta técnica para este trabajo se describió una metodología para el estudio detallado del PLGSM 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 LGSM.

El objeto principal de este informe es presentar la evaluación de la estructura del PLGSM 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”

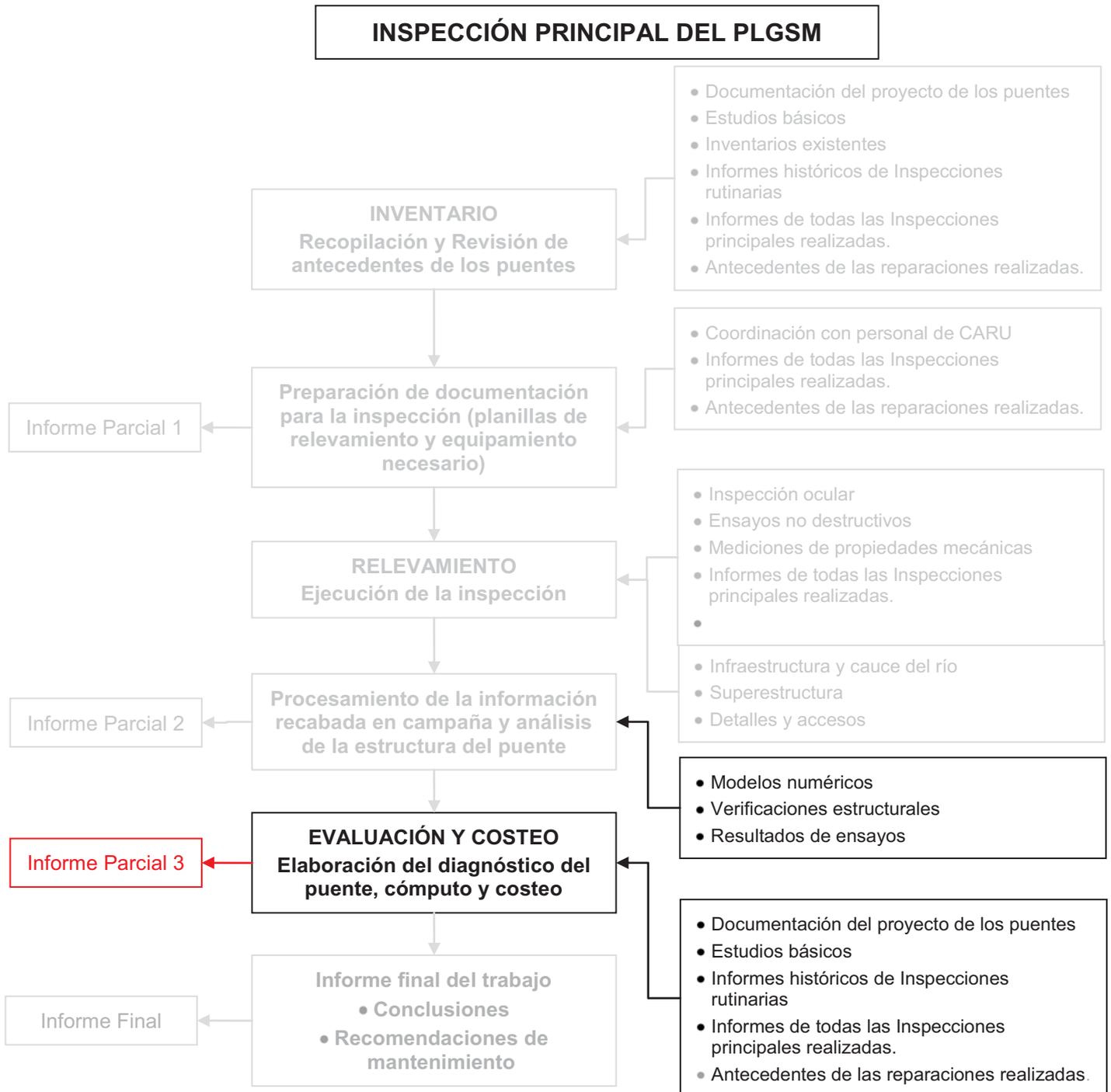


Figura 1. Metodología propuesta para la Inspección Principal del puente Libertador General San Martín.

2. Evaluación del PLGSM

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



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”

información consignada en el módulo de relevamiento y de los antecedentes disponibles. Por 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 PLGSM 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 atentar contra la seguridad del puente. En esta tarea se realizaron todos los ensayos destructivos que se consideraron necesarios para entender cabalmente el funcionamiento del PLGSM 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 PLGSM según los resultados consignados en el módulo de relevamiento.

2.1 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 PLGSM 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.

2.1.1 Infraestructura

2.1.1.1 Fisuras verticales en pilas pantalla

De acuerdo a lo indicado en las planillas e informe de relevamiento del PLGSM, las pilas pantallas pertenecientes a ambos viaductos y al puente principal presentan fisuras verticales, tanto en sus caras internas como externas, en la zona inferior de los elementos. Las fisuras presentan un desarrollo vertical de una longitud máxima igual a 10 m en las pilas más altas, aunque en promedio la longitud de estas fisuras ronda los 3 m a 5 m. Las fisuras verticales presentan espesores que van desde los 0.1 mm a los 0.3 mm de espesor como máximo. 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. Gran parte de las fisuras señaladas anteriormente se encuentran selladas con material elástico. Esta reparación luce en buenas condiciones. Además, las fisuras más importantes se encuentran claramente identificadas mediante una letra de modo que pudo compararse la información de este trabajo con inspecciones anteriores. En la Figura 2 se ilustran las fisuras de la pila 5 del puente, en donde se aprecia el tamaño y ubicación de las mismas.

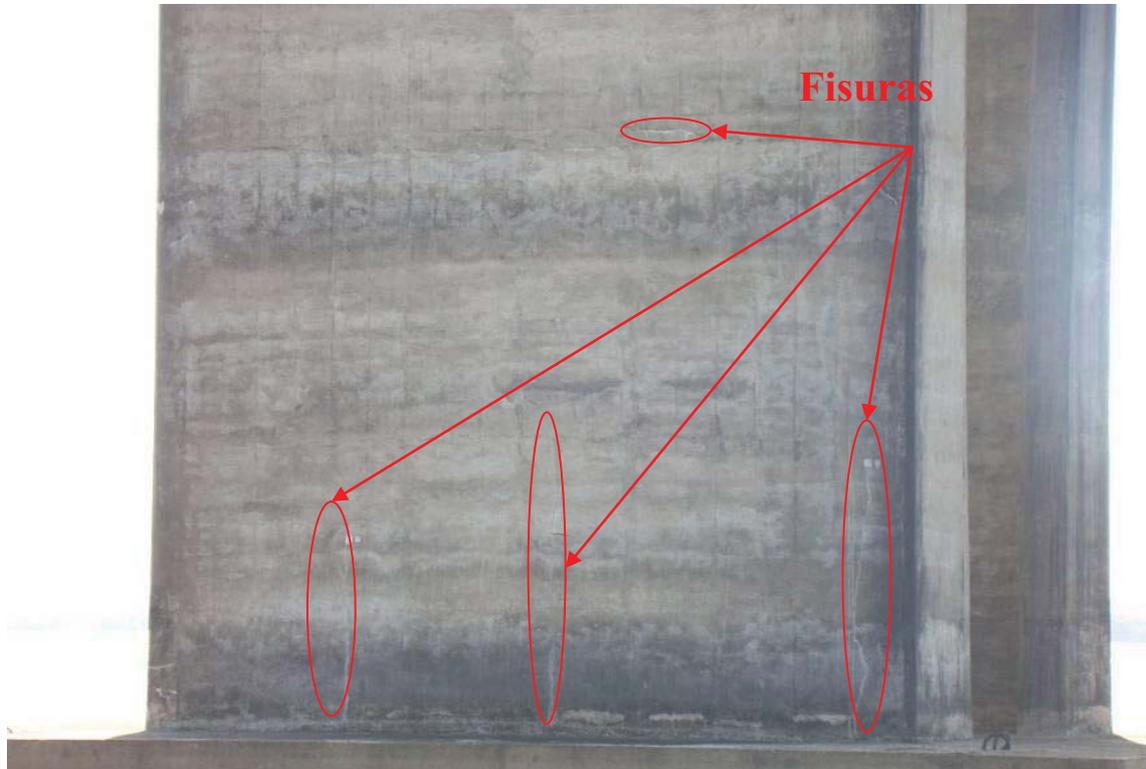


Figura 2. Vista de la Pila 5 perteneciente al Viaducto Uruguayo. Se encuentran indicadas fisuras verticales.

2.1.1.2 Fisuras verticales en pilas del viaducto argentino (columnas circulares)

Las pilas constituidas por dos columnas circulares con viga dintel, pertenecientes al viaducto argentino, presentan fisuras verticales de espesores máximos iguales a 0.2 mm, distribuidas en toda la circunferencia, tal como se observa en la Figura 3. 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.

Esta situación motivó la extracción de testigos de los elementos afectados para estudiar la calidad del material, para investigar la causa que originó las fisuras. Para ello 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 2.2 este informe y los resultados de laboratorio de estos análisis se presentan en el Anexo I de este informe.



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 3. Vista de una fisura en la Columna 2 de la Pila 38.

2.1.1.3 Exposición de armaduras transversales en columnas

Se observaron pequeños sectores con armadura expuesta en las pilas pantalla del viaducto argentino. La pila 19, perteneciente al viaducto argentino, presenta defectos de colado en una de sus pantallas en los 3 m inferiores de la misma. Las armaduras no presentan oxidación importante ni reducción de sección transversal debido a procesos corrosivos. Por este motivo, se estima que este defecto no compromete estructuralmente a las pilas del puente. En el apartado 3 se presentan recomendaciones de actuación para reparar este defecto.

2.1.1.4 Fisuras en estribos y armaduras expuestas en Cabezales de pilas

Se observaron fisuras inclinadas en los muros frontales de los estribos del puente, tal como se observa en la Figura 4. 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.



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

El cabezal de la Pila 7 presenta exposición de armadura en una de sus aristas. La causa de este defecto es desconocida, pero las observaciones realizadas indican que podrían atribuirse a erosión del agua y material de arrastre o defectos constructivos (Figura 5). El resto de los cabezales se encuentran en buen estado, sólo se observan algunas fisuras de pequeño espesor (menor a los 0,2 mm) en su superficie. Se considera que los defectos señalados no atentan contra la seguridad del puente ni se deben a problemas estructurales. A pesar de ello, se recomienda la reparación del daño observado en el cabezal de la pila 7, tal como se presenta en el apartado 3, para preservar su integridad y evitar la corrosión de las armaduras expuestas con el paso del tiempo.

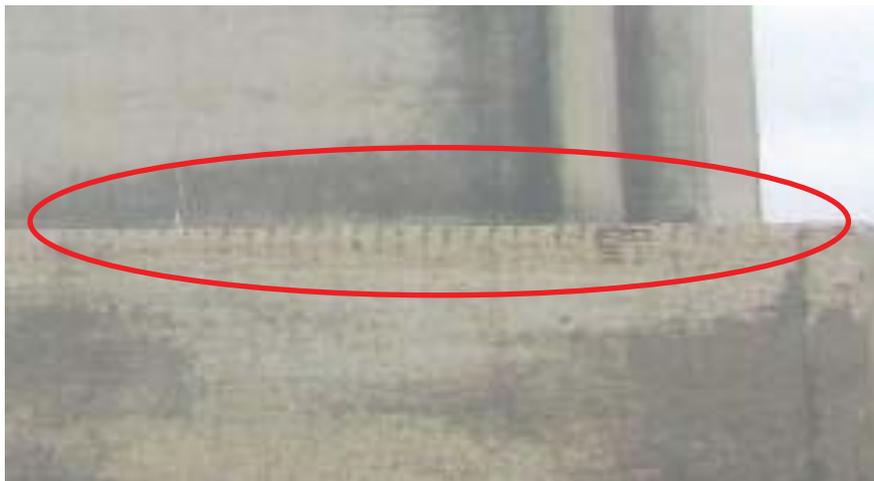


Figura 5. Vista de la armadura expuesta en el cabezal de la Pila 7.

2.1.1.5 Dispositivos de apoyo

Los dispositivos de apoyo de neopreno del puente lucen en buenas condiciones generales de conservación, tanto en los viaductos como en el puente principal. Cabe destacar, que algunos paquetes de neopreno muestran fisuras en la goma de recubrimiento del paquete de apoyo, a pesar de lo cual no se observan signos de mal funcionamiento. Estas fisuras podrían profundizarse en el tiempo lo que conduciría a una reducción del confinamiento del neopreno y esto podría 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. En la Figura 6 se ilustra la situación señalada para un aparato de neopreno de pila 49 y 47.



Figura 6. Apoyo sobre la pila 49 (Viaducto Argentino).



Figura 7. Apoyo sobre la pila 47 (Viaducto Argentino).



2.1.1.6 Otros defectos observados

A lo largo del PLGSM 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 puente 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.

2.1.2 Superestructura

La superestructura del PLGSM 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.

2.1.2.1 Vigas principales y losa de tablero de viaductos de acceso

Se observaron pequeños defectos como fisuras (espesor menor a 0.2 mm), sectores con defectos de colado del hormigón y algunas manchas de exudación en vigas principales de ambos viaductos (vigas isostáticas y vigas ménsula). Esto se ilustra en la Figura 8. Estos defectos no representan un riesgo estructural para el puente ya que obedecen a problemas constructivos o pueden atribuirse al normal comportamiento de los elementos de hormigón armado.

Las fisuras observadas en las vigas isostáticas, Figura 9, no representarían un riesgo para la estructura. La extensión de estos defectos es reducida, por lo que se los considera que responden a efectos locales en los elementos, tales como desecación superficial durante el fraguado, y no provienen de la acción de esfuerzos principales.



Figura 8. Detalle de defecto de colado en viga 4 del tamo 20.

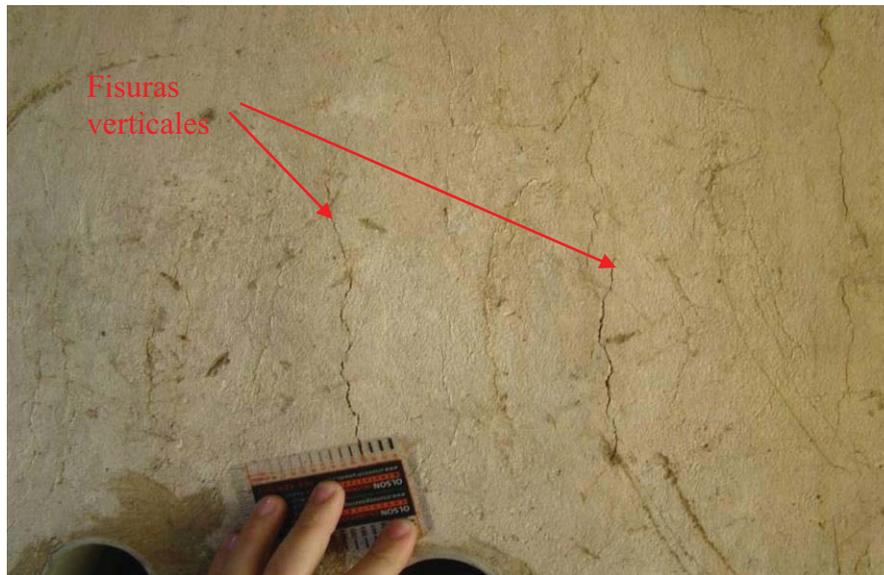


Figura 9. Detalle de fisuras verticales en viga 3 del tramo 2.

Las vigas transversales en ambos viaductos se encuentran en buen estado de conservación general. No se detectaron fisuras, falta o pérdida de recubrimiento, deformaciones y demás daños en los elementos estructurales mencionados.

Las losas de tablero presentan fisuras en dirección transversal al desarrollo longitudinal del puente, tal como se observa en la Figura 10. Estas fisuras no indican problemas estructurales por lo que no atentan contra la seguridad de la estructura del PLGSM (se desarrollan en la dirección secundaria de la losa y podrían deberse a esfuerzos secundarios o de coacción).



Figura 10. Detalle de fisuras con manchas de exudación de color blanco en la cara inferior de la losa (tramo 10).



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”

2.1.2.2 Superestructura del tramo principal del puente

El tramo principal está resuelto con dos vigas “ménsulas” de sección cajón empotradas en las pilas principales (10 y 11) y un tramo isostático en el centro del vano principal (tramo navegable).

En toda su longitud, las vigas “ménsulas” presentan un buen estado de conservación general. 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 señalados anteriormente. Esta situación se confirma a través de los análisis numéricos realizados para el puente, tal como se describe más adelante en este informe.

2.1.3 Accesos y Detalles

Los accesos al PLGSM 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 horizontal y vertical (Figura 11).

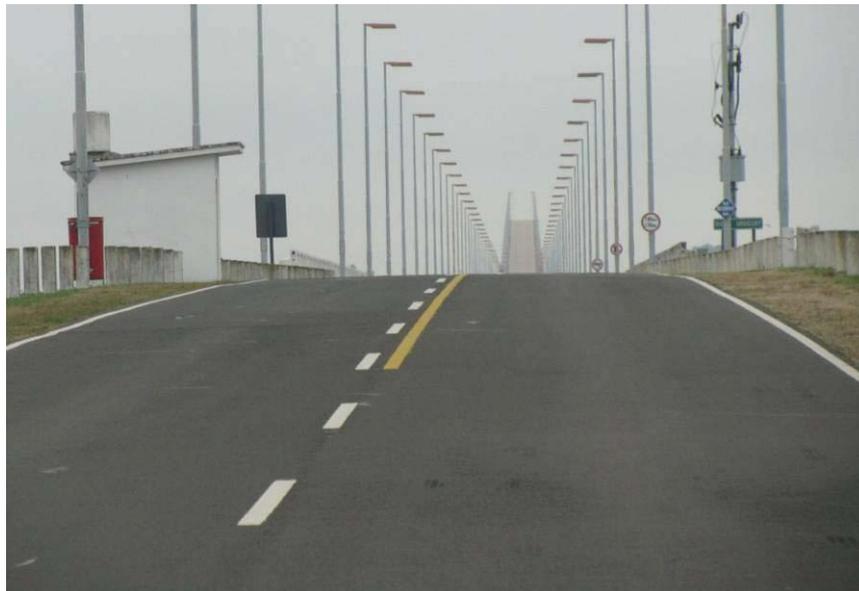


Figura 11. Vista acceso Uruguayo.

Las protecciones de los taludes, en los estribos abiertos del puente, se encuentran en buen estado de conservación general, sin observarse defectos ni desplazamientos o asentamientos del talud.



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. Vegetación de los terraplenes de acceso.

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 de hormigón se encuentra en buenas condiciones sin observarse fisuras, deformaciones ni desprendimientos, baches o ahuellamientos que dificulte la circulación por el puente. Sin embargo, se detectaron zonas del puente en donde la carpeta se encuentra despegada de la losa de tablero. La señalización vertical sobre el puente es correcta y se encuentra en buen estado. La señalización horizontal sobre el puente se encuentra deteriorada por el paso del tiempo, tal como se observa en la Figura 13. Se recomienda realizar la readecuación de la señalización horizontal sobre el mismo.



Figura 13. Desgaste de la señalización horizontal en el 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”

Los dispositivos de juntas de dilatación, tanto en el puente principal como en sus viaductos, se encuentran en buen estado de conservación general, tal como se observa en la Figura 14.



Figura 14. Dispositivos de juntas de dilatación.

Las veredas peatonales, tanto en la cara superior como la cara inferior, se encuentran en buen estado de conservación. En los tramos correspondientes al puente principal se observaron fisuras en la cara inferior de las losas de vereda, orientadas según la dirección perpendicular al desarrollo del puente, tal como se observa en la Figura 15. El espesor de estas fisuras no supera los 0.3 mm. Las barandas peatonales metálicas se encuentran en buen estado. No se observaron abolladuras ni oxidación o corte de alguno de sus cables.

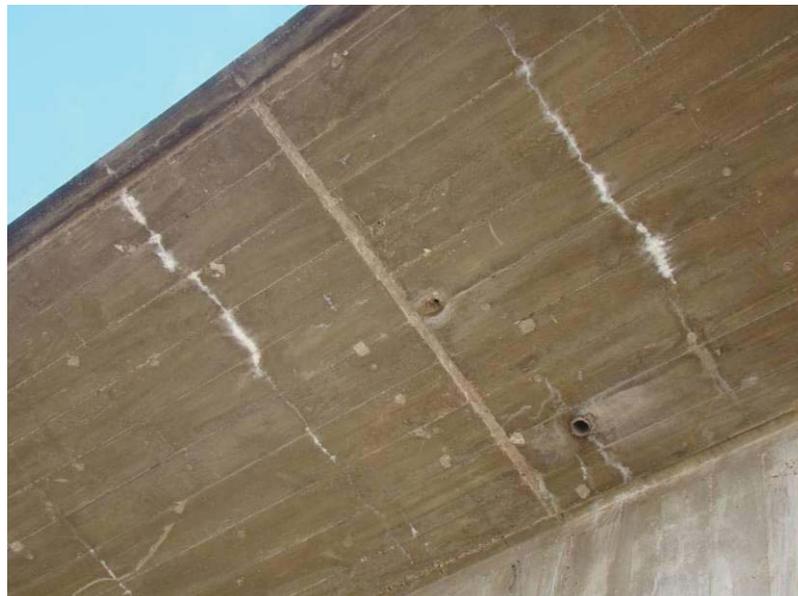


Figura 15. Fisuras en cara inferior de vereda.

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



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 columnas de alumbrado sobre el puente se encuentran en buen estado, al igual que la iluminación provista por las mismas.

El estado de la iluminación interior de la viga cajón es regular. Se observó el 30% de las luminarias quemadas, además la intensidad de las mismas resulta pobre, lo que dificulta 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 PLGSM se encuentra, al momento de realizar el presente informe, en buenas condiciones.

2.2 Análisis de resultados de los testigos extraídos a la infraestructura del PLGSM

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

2.2.1 Ensayos de Compresión y ultrasonido

Los ensayos fueron realizados a cuatro testigos extraídos de la infraestructura del puente, correspondientes a las pilas 4, 11, 20 y 36.

Los testigos extraídos de las distintas columnas 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 382 kg/cm², con un valor mínimo de 355 kg/cm². La velocidad de propagación de pulsos de ultrasonido dio un valor medio de 4296 m/s, con un valor mínimo de 4058 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 $E = 415250 \text{ kg/cm}^2$, y la constante resulta $C = 21246$. Este valor se encuentra muy próximo a los habituales entre 19000 a 21000.

Como conclusión de estos ensayos surge que el hormigón presenta valores de resistencia y rigidez compatibles con la función estructural que le corresponde en las estructuras 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”

2.2.2 Estudio Petrográfico

El estudio se practicó en dos testigos extraídos del extremo inferior de la pila 3 y de la pila del puente. Se procedió al corte y pulido para observación con lupa y una sección delgada para observación microscópica con luz polarizada.

2.2.2.1 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.

2.2.2.2 Resultados

Componentes mineralógicos del agregado

Respecto a los componentes mineralógicos de los agregados:

Testigo de la Pila “3”:

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

Testigo de la Pila “50”:

- *Agregado grueso:*



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”

- Cuarzo criptocristalino
- Hematitas y magnetitas conclomerádicas
- Calcedonias radiales
- Calcedonias masivas

- *Agregado fino:*

- Cuarzo criptocristalino
- Calcedonias masivas
- Calcedonias radiales

2.2.2.3 Observaciones

Testigo de la Pila “3”:

- 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 es de aproximadamente 0.09 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, cuarzos criptocristalinos, calcedonias, basaltos), y por otro lado materiales como areniscas de grano fino con componentes limosos y basaltos alterados.
- 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 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 “50”

- Presencia de discontinuidades: Las hay de los dos tipos: i) Perigranulares, y ii) Atraviesan la estructura. Las discontinuidades medidas en su ancho oscilan entre 0.669 mm en la mayor parte de su desarrollo hasta filetes de apenas 0.097 mm.
- No se observaron basaltos ni areniscas.
- Presencia de minerales potencialmente reactivos:



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. Calcedonias radiales
- ii. Calcedonias masivas
- iii. Cuarzo criptocristalino (en partículas de sólo 0.023 mm de mayor dimensión)

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

2.2.2.4 Conclusiones de los análisis del testigo

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.
- Uno de los testigos de hormigón estudiado presenta fisuras perigranulares que no atraviesan los granos. Estas fisuras están rellenas de gel de la reacción, posiblemente producida durante el proceso de fragüe. Las fisuras del testigo presentan un ancho aproximado de 0.09 mm. El otro testigo, tomado en zona frecuentemente inundable presenta discontinuidades de aproximadamente 0.7 mm de ancho.
- Las fisuras verticales que se observan en las columnas circulares 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, o alternativamente a una retracción brusca del hormigón de recubrimiento. En relación a las mediciones realizadas en el Puente General Artigas, que presenta la misma patología pero en mayor medida, se arriba a la conclusión de que dichas fisuras solo afectan el recubrimiento de las columnas que conforman las pilas del viaducto argentino del puente Libertador Gral. San Martín y que sería suficiente con proteger las armaduras y el hormigón de recubrimiento de las columnas de sección circular con una pintura que limite el posible ingreso de agua.

2.3 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 PLGSM. Los ensayos no destructivos que se realizaron como motivo de la inspección detallada a la estructura del puente 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 PLGSM.



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”

2.3.1 Profundidad de Carbonatación

Se realizaron un total de 22 ensayos de carbonatación a la estructura del PLGSM, 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, pero cubriendo toda la longitud del puente. 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 PLGSM, 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.

2.3.2 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 11 de las 57 pilas que componen la infraestructura del PLGSM. En un total de 28 ensayos se obtuvo un recubrimiento promedio de 3 cm de espesor para las pilas y 1,6 cm en los muros frontales de los estribos. Estos valores surgen 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 PLGSM.

Para la determinación del recubrimiento de los elementos de la superestructura se realizaron ensayos en 44 vigas, de los cuales se obtuvo un recubrimiento promedio de 2,0 cm de espesor, siendo los valores mínimos y máximos obtenidos de 1,5 cm y 2,9 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 1,5 cm, lo que se considera, en general, un valor reducido por la importancia de los elementos investigados (vigas principales). Sin embargo, la ausencia de carbonatación del hormigón (obtenida con el ensayo de fenoltaleína), permite concluir que este reducido espesor de recubrimiento no será 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.



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”

2.3.3 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 PLGSM 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 24 de las 57 pilas que hay el PLGSM mediante la técnica del pulso-eco. Se realizaron, en total, 39 ensayos donde se determinó la velocidad de propagación de onda del hormigón. Las pilas pantallas arrojaron un valor promedio de propagación de onda igual a 4424 m/s, siendo el valor mínimo y máximo, 4138 m/s y 4730 m/s respectivamente, mientras que las pilas conformadas por dos columnas circulares, arrojaron un valor promedio de propagación de onda igual a 3763 m/s, siendo el valor mínimo y máximo de 3422 m/s y 4054 m/s respectivamente.

En la superestructura del PLGSM se realizó un total de 67 ensayos tipo pulso-eco. Se estudiaron 32 de los 56 tramos que componen la superestructura del PLGSM. La superestructura de los viaductos de acceso (48 de los 67 ensayos) arrojó un valor promedio de propagación de onda igual a 4063 m/s, siendo el valor mínimo y máximo, 3750 m/s y 4438 m/s respectivamente. La superestructura del puente principal (19 de los 67 ensayos) arrojó una velocidad de propagación de onda promedio igual a 4186 m/s, siendo el valor mínimo y máximo igual a 4056 m/s y 4335 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. Además, las velocidades promedio indicadas anteriormente se corresponden con hormigones cuya resistencia características está por encima de concretos tipo “H-30”. En el Anexo II del presente informe se encuentra un resumen de las velocidades de propagación de onda y graficas que ilustran las mediciones realizadas a la estructura del PLGSM.

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 PLGSM 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)



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 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.

De acuerdo a las mediciones realizadas y la dispersión que se obtuvo en el análisis de los datos, la calibración de los modelos numéricos se llevó a cabo utilizando un entorno de valores para el módulo elástico con el objeto de alcanzar un ajuste lo más preciso posible. Este entorno se encuentra entre 4500000 tn/m^2 y 4750000 tn/m^2 , y se halla dentro de los valores esperados de acuerdo a las mediciones realizadas. Estos valores resultan mayores que el valor obtenido de los ensayos realizados a los testigos extraídos de la infraestructura del PLGSM, sin embargo, se adoptaron estos valores debido a que la muestra de los ensayos de integridad del hormigón realizados in situ resulta considerablemente mayor que los ensayos realizados en el laboratorio.

2.4 Modelos Numéricos del PLGSM

Para la evaluación del comportamiento estructural del PLGSM se desarrollaron modelos numéricos para el Puente Principal y los viaductos de acceso utilizando el software de elementos finitos Sap2000 en su versión 10.0.1. Se realizaron tres modelos numéricos para estudiar el comportamiento del puente: uno, correspondiente a las vigas ménsula de sección cajón (puente principal), un segundo modelo para los tramos simplemente apoyados sobre vigas ménsulas del viaducto uruguayo y argentino y un tercer modelo para los tramos simplemente apoyados sobre las pilas que se presentan en el viaducto argentino.

Dada la dificultad de definir con precisión la rigidez actual de los elementos de apoyo, en el caso de los viaductos se estimaron los parámetros respectivos para ajustar la frecuencia fundamental en flexión y en torsión a los valores medidos, tal como se describe en el apartado 2.5.

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 y en los que se utilizan elementos con formulaciones más sencillas que permiten hacer corroboraciones manuales rápidas. Estos modelos simplificados se utilizaron para control de los modelos numéricos principales completos y más complejos y que permiten realizar análisis con mayor precisión. 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



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”

parámetros, de acuerdo a los resultados del relevamiento de detalle realizado como parte de este proyecto. A continuación se describe cada uno de los modelos numéricos desarrollados para el PLGSM.

2.4.1 Modelo del puente principal – PLGSM

Del puente principal del PLGSM (tramos 9, 10 y 11), se modeló una de las pilas principales junto con la viga ménsula, la cual está formada por una viga de sección cajón de inercia variable empotrada en la pila, tal como se observa en el esquema que se presenta en la Figura 16. La longitud total de la viga es de 180,90 metros con voladizos de 85,60 metros a cada lado de la pila.

La pila principal se encuentra formada por dos pantallas de 7,64 m de ancho por 1,20 m de espesor con contrafuertes de 1,20 m de espesor y un largo que varía de 3,50 m en la base a 2,00 m en la parte superior, la misma presentan una altura, desde el cabezal hasta la cara inferior de la viga cajón, igual a 30,00 m.

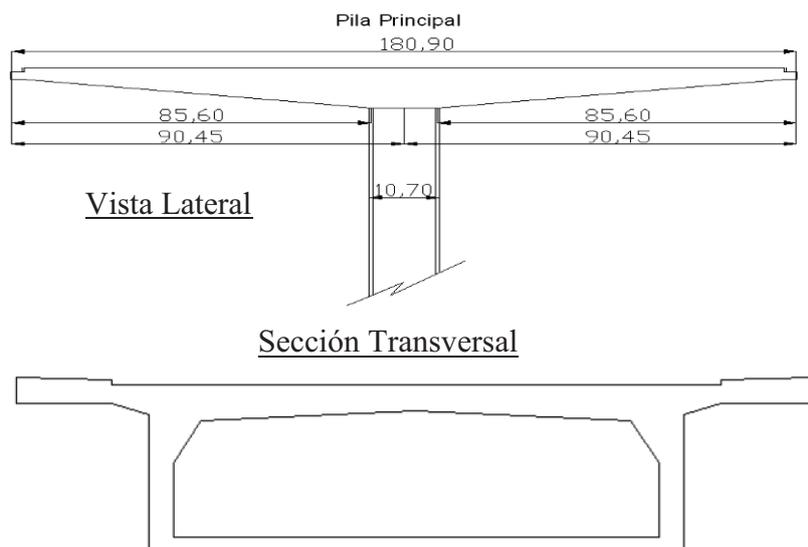


Figura 16. Esquema del Puente Principal. Se distingue la sección de inercia variable a lo largo del desarrollo de la estructura. Se presenta una vista lateral y un corte transversal.

La modelación numérica del puente principal se realizó utilizando elementos de placa para representar la sección geometría de la viga cajón. Para lograr buenos resultados, se discretizó la geometría de la viga en 35 tramos, respetando las secciones que se presentan en los planos de proyecto del PLGSM. El espesor de la cara inferior de la viga cajón es variable a lo largo de la longitud del puente, al igual que las caras laterales. Estas variaciones 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 y se incluyó en el modelo los tabiques intermedios (diafragmas) que se encuentran dentro del cajón. En la Figura 17 se presenta una imagen del modelo número realizado para el



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”

puente principal del PLGSM. Este modelo se construyó utilizando los planos del proyecto del puente y respetando las dimensiones de todos los elementos.

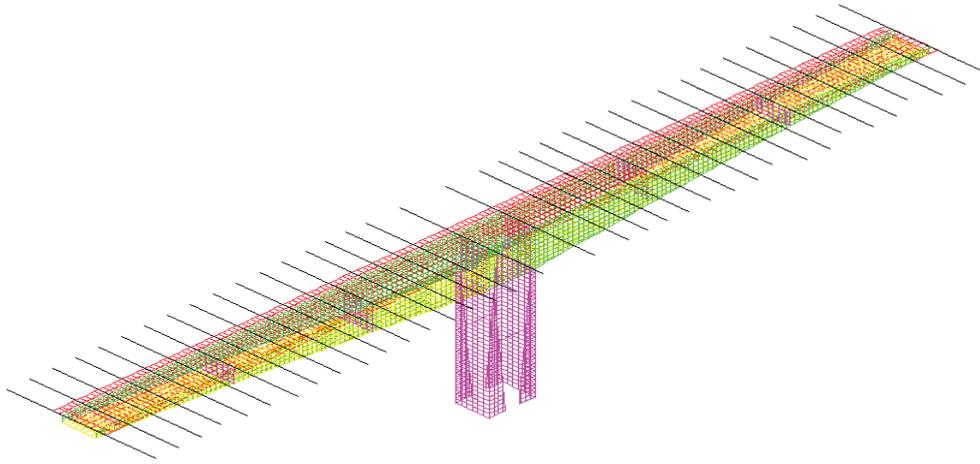


Figura 17. Modelo numérico desarrollado para el puente principal del PLGSM. Las líneas negras que se observan en el modelo representan las 36 secciones tomadas.

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.

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 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.

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 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, se tuvo en cuenta la rigidez longitudinal aportada por la estructura adyacente (vano isostático y vigas ménsulas siguientes) a ambos lado de la pila modelada por medio de restricciones longitudinales elásticas en los extremos ($K= 4000 \text{ tn/m}$).



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”

Además del modelo arriba descrito, se realizó un modelo numérico simplificado que presentan una geometría más simple, en donde el puente se discretizó con elementos de viga a los cuales se les asignaron las propiedades seccionales de los elementos calculadas a mano a partir de los planos de la estructura. Este 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 18 se observa una imagen del modelo simplificado.

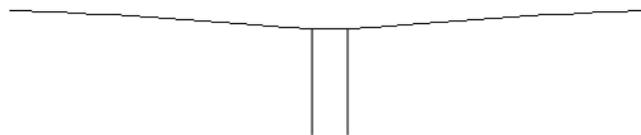


Figura 18. Modelo simplificado del Puente Principal – PLGSM.

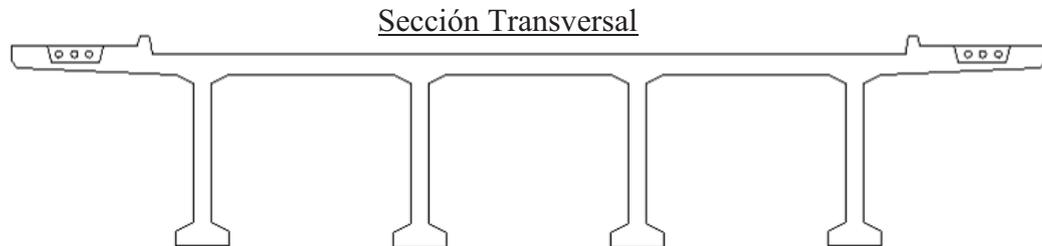
2.4.2 Modelación de los Viaductos de Acceso

Para representar los viaductos de acceso al puente principal se realizó un modelo numérico de los tramos simplemente apoyados. El mismo se utilizó tanto para representar los tramos apoyados sobre las vigas ménsulas (tramo 2 al 29), como para los tramos simplemente apoyados sobre los dinteles de las pilas (tramo 31 al 57).

Los tramos simplemente apoyados de los viaductos de acceso, se encuentran resueltos mediante cuatro vigas principales de sección “I”, de inercia constante de 40.90 m de longitud, presentan vigas transversales sobre los apoyos y tres vigas transversales intermedias. Los apoyos se materializan sobre placas de neopreno de 35 x 50 x 5,4 cm que descansan sobre los dinteles de las pilas (tramos 31 a 57) y sobre las vigas ménsula (tramos 2 a 29). En la Figura 19 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”



Vista Lateral

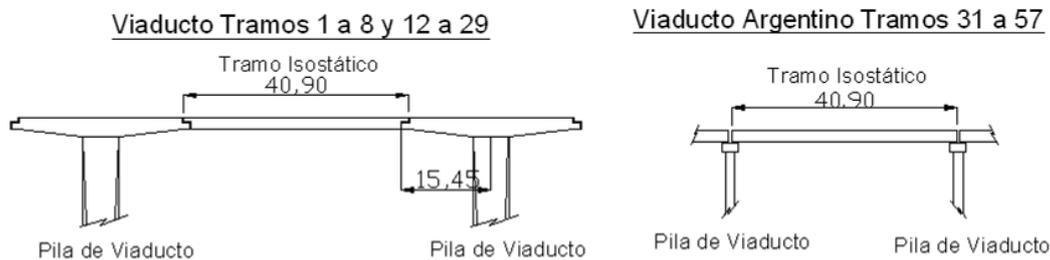


Figura 19. Esquema general del Viaducto de acceso – PLGSM. Se presenta un corte transversal y una vista lateral de la estructura.

El modelo numérico 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, constituyendo un modelo de “emparrillado plano”. La longitud de las vigas principales en el modelo se tomó igual a 40,00 m, que es la longitud entre ejes de apoyo de la estructura.

Dado el esquema estático que presenta la estructura de los viaductos de acceso, tramos simplemente apoyados, solo se modeló uno de los tramos. En la Figura 20 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”

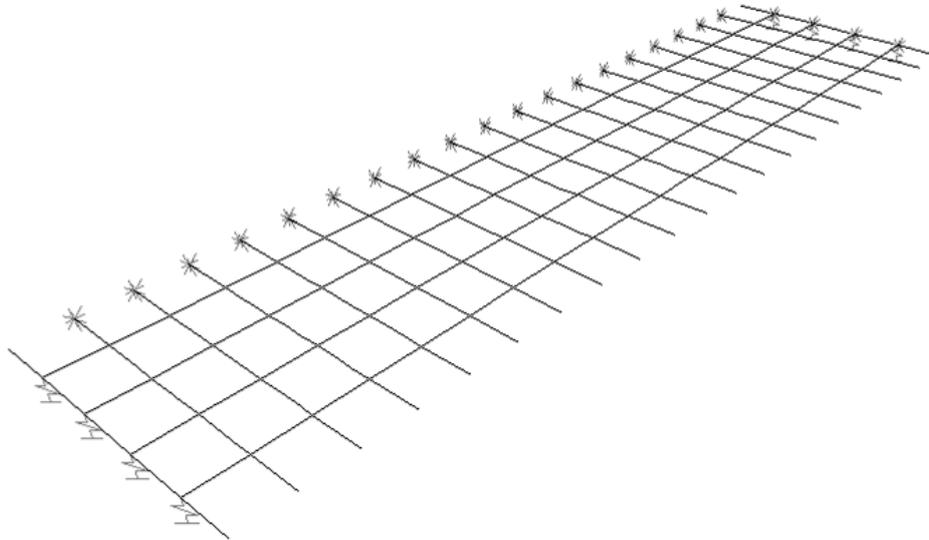


Figura 20. Modelo numérico Viaducto de Acceso – PLGSM.

Para la modelación numérica de los tramos isostáticos de los viaductos de acceso se adoptaron las siguientes propiedades referidas a los materiales:

- Módulo de Elasticidad $E = 4\,750\,000 \text{ t/m}^2$
- Peso Específico $\gamma = 2,5 \text{ t/m}^3$
- Densidad $\rho = 0,255 \text{ t/m}^3$

Los dispositivos de apoyo se modelaron mediante resortes elásticos y lineales, teniendo en cuenta la rigidez vertical de las placas de neopreno. Para el caso de los tramos apoyados sobre los dinteles de las pilas (31 al 57), la rigidez de los resortes se obtuvo a partir de la geometría del propio dispositivo de apoyo. Para el caso de los tramos apoyados sobre las vigas ménsula (2 al 29) se calculó la rigidez del resorte considerando el paquete de apoyo actuando en serie con la rigidez del conjunto pila-viga ménsula. En este segundo caso, se realizaron dos modelos, uno para las pilas de mayor altura y otro para las de menor altura, variando la rigidez del conjunto pila-viga ménsula. La determinación de las rigideces de los apoyos se realizó en función de las relaciones de frecuencias para cada uno de los modelos. Los valores adoptados para cada uno de los modelos son:

- Tramos sobre dinteles $K = 100000 \text{ t/m}$
- Tramos sobre ménsulas (pilas bajas) $K_{\text{vigas internas}} = 2000 \text{ t/m}$
 $K_{\text{vigas externas}} = 11500 \text{ t/m}$
- Tramos sobre ménsulas (pilas altas) $K_{\text{vigas internas}} = 1000 \text{ t/m}$
 $K_{\text{vigas externas}} = 6000 \text{ t/m}$



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 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.

El análisis de los resultados de los modelos descritos en este apartado se muestra que el comportamiento del puente es normal. Esto surge de la calibración de los modelos con los ensayos dinámicos realizados. En los próximos apartados se presentan conclusiones más detalladas en este aspecto.

2.5 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.

2.5.1 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 solicitaciones se registran las aceleraciones en ambos costados del puente.

El dispositivo de aplicación del impulso está ilustrado en la Figura 21. 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 una sección aparte del presente informe, apartado -.



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. 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 2.4 del presente informe.

2.5.2 Resultados de los ensayos dinámicos

Las Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3 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 IV. 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.

La Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3 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.

Sobre los resultados consignados en la Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3 pueden formularse las siguientes observaciones:

Puente Principal

- La frecuencia natural más baja detectada de 1.3 Hz sólo aparece en una serie de registros (LU-L2). 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 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 alternatively por el ingreso al sector del puente de dicho vehículo. En el momento de traspasar 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 4. El modo fundamental, designado como modo “1” (antisimétrico) en la Tabla 2, presenta un acoplamiento muy tenue entre los desplazamientos horizontal y vertical en los extremos de los voladizos, situación que impide su detección experimental. Por otro lado, el modo “2” (simétrico) no presenta ningún acoplamiento entre el desplazamiento horizontal según el eje del puente con el desplazamiento vertical, y no alcanza a ser detectado con suficiente claridad con el impulso vertical aplicado como excitación del ensayo.
- Las frecuencias naturales de los modos siguientes (del 2 al 5 según la Tabla 1) del puente principal presentan valores consistentes entre los distintos sectores del puente que deberían tener en teoría un comportamiento similar. El coeficiente de variación de la frecuencia de cada modo se encuentra entre el 4 y el 6%, poniendo en evidencia aceptable uniformidad en el comportamiento mecánico de sectores de iguales propiedades mecánicas.

Viaductos de acceso

- Las frecuencias medidas de los modos 1 y 2 de los viaductos del puente corresponden a la frecuencia del modo fundamental flexional y torsional, respectivamente. Para los tramos de viaducto apoyados en ménsulas (tanto del lado uruguayo como del argentino) las frecuencias de esos modos presentan un coeficiente de variación entre el 5% y el 6%, mientras que para los tramos con apoyos directos sobre las vigas de bancada de las columnas varían entre 0 y el 1%, confirmando de esta manera 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.
- Las frecuencias medidas de los modos 1 y 2 del viaducto sobre ménsulas bajas (lado uruguayo y argentino) fueron 2.6 Hz y 3.1 Hz, mientras que las calculadas resultaron 2.6 Hz y 2.9 Hz, respectivamente. Para las pilas altas, las frecuencias medidas



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”

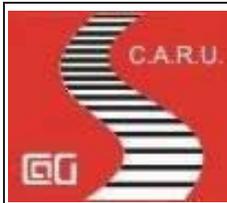
resultaron entre 2.4 Hz y 2.6 Hz, mientras que las calculadas fueron 2.4 y 2.7 Hz, respectivamente. Estos resultados ponen en evidencia que la modelación numérica del modo flexional representa adecuadamente a la estructura tanto para el modo fundamental en flexión como en torsión.

- Las frecuencias medidas de los modos 1 y 2 del viaducto apoyado directamente sobre las pilas (lado argentino) fueron 3.0 Hz y 3.4 Hz respectivamente, mientras que las calculadas resultaron 3.1 Hz y 3.5 Hz, respectivamente. Estos resultados ponen en evidencia que la modelación numérica del modo flexional representa adecuadamente a la estructura, mientras que no ocurre lo mismo con el modo torsional.

| Tramo | Ubicación | Registro | Frecuencia [Hz] | | | | |
|---------------------------------|--------------------------|----------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | Tramo isostático central | IS-SC1 | - | - | 3,3 | 4,9 | 6,0 |
| | | | | | | | |
| Puente Principal lado Argentina | central | LA-C1 | - | - | 3,5 | 4,1 | 4,8 |
| | | LA-C2 | - | - | 3,5 | 4,1 | - |
| | lateral | LA-L1 | - | 2,6 | 3,0 | 4,0 | 4,8 |
| | | LA-L2 | - | 2,8 | 3,3 | 3,8 | 4,1 |
| Puente Principal lado Uruguay | central | LU-C1 | - | 2,5 | 3,4 | 4,1 | 4,8 |
| | | LU-C2 | - | 2,6 | 3,4 | 4,0 | 4,5 |
| | lateral | LU-L1 | - | - | - | 3,9 | 4,8 |
| | | LU-L2 | 1,3 | 2,6 | 3,5 | - | - |
| Promedio | | | 1,3 | 2,6 | 3,4 | 4,0 | 4,6 |
| Desviación | | | 0,000 | 0,115 | 0,186 | 0,136 | 0,271 |
| Coeficiente de Variación | | | 0,000 | 0,044 | 0,056 | 0,034 | 0,059 |

Tabla 1. Principales frecuencias naturales medidas del puente General San Martín - Puente Principal. Se encuentran calculados el promedio la desviación y el coeficiente de variación.

| Tramo | Ubicación | Registro | Frecuencia [Hz] | | | | |
|-------|-----------|----------|-----------------|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |



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 |
| Viaducto Uruguayo y Argentino (Viga Ménsula) | Tramo 1 | T01-SC1 | 2,6 | 3,1 | - | 12,5 | 20,6 |
| | | T01-SC2 | 2,6 | 3,1 | - | 12,4 | 20,6 |
| | Tramo 4 | T04-SC1 | 2,5 | - | - | 13,3 | 19,8 |
| | | T04-SC2 | 2,4 | 2,9 | - | 13,7 | 20,0 |
| | Tramo 7 | T07-SC1 | 2,4 | 2,6 | 8,54 | 12,7 | 19,9 |
| | | T07-SC2 | 2,3 | 2,7 | 9,0 | 13,6 | 19,6 |
| | Tramo 10 | T10-SC1 | 2,6 | 3,2 | 6,5 | 14,5 | 20,3 |
| | | T10-SC2 | 2,6 | 3,1 | 6,5 | 14,2 | 20,3 |
| | Tramo 12 | T12-SC1 | 2,3 | 2,8 | 6,54 | - | - |
| | Tramo 15 | T15-SC1 | 2,5 | 3,1 | 7,4 | - | - |
| | Tramo 19 | T19-SC1 | 2,4 | 3,0 | 6,7 | - | - |
| | Tramo 23 | T23-SC1 | 2,5 | 2,9 | 7,3 | - | - |
| | Tramo 27 | T27-SC1 | 2,5 | 3,0 | 5,9 | - | - |
| | Tramo 28 | T31-SC1 | 2,5 | 2,9 | 5,9 | - | - |
| Promedio | | | 2,5 | 3,0 | 7,0 | 13,4 | 20,1 |
| Desviación | | | 0,121 | 0,180 | 1,051 | 0,771 | 0,371 |
| Coeficiente de Variación | | | 0,049 | 0,061 | 0,150 | 0,058 | 0,018 |

Tabla 2. Principales frecuencias naturales medidas del puente General San Martín – Viaducto Argentino y Uruguayo. Se encuentran calculados el promedio la desviación y el coeficiente de variación.

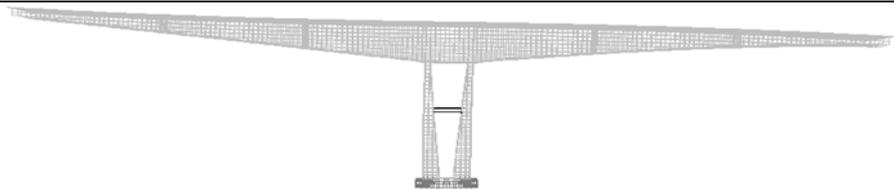
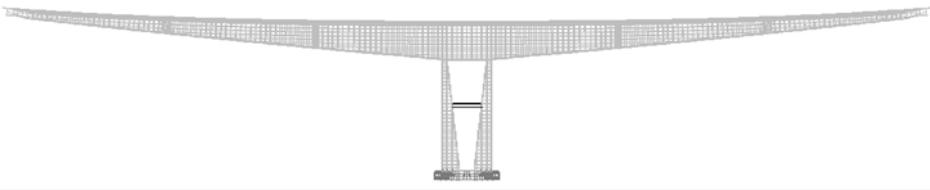
| Tramo | Ubicación | Registro | Frecuencia [Hz] | | | | |
|---------------------------|-----------|----------|-----------------|-----|-----|-----|------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Viaducto argentino (Viga) | Tramo 32 | T32-SC1 | 3,0 | 3,4 | 4,8 | 8,3 | - |
| | Tramo 36 | T36-SC1 | 3,0 | 3,5 | - | 9,7 | 15,7 |



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”

| | | | | | | | |
|--------------------------|----------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| simplemente apoyada) | Tramo 40 | T40-SC1 | 3,0 | 3,4 | 4,9 | 8,0 | 11,0 |
| | Tramo 43 | T43-SC1 | 3,0 | 3,4 | - | - | - |
| | Tramo 46 | T46-SC1 | 3,0 | 3,4 | - | - | - |
| | Tramo 47 | T47-SC1 | 3,0 | 3,4 | - | - | - |
| | Tramo 47 | T47-SC2 | 3,0 | 3,4 | - | - | - |
| | Tramo 51 | T51-SC1 | 3,0 | 3,4 | - | - | - |
| | Tramo 51 | T51-SC2 | 3,0 | 3,3 | - | - | - |
| Promedio | | | 3,0 | 3,4 | 4,9 | 8,7 | 13,4 |
| Desviación | | | 0,000 | 0,038 | 0,090 | 0,907 | 3,329 |
| Coeficiente de Variación | | | 0,000 | 0,011 | 0,018 | 0,105 | 0,249 |

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

| <i>Puente Principal (PLGSM)</i> | | | |
|---------------------------------|----------------|-------------------|--|
| <i>Modo</i> | <i>Periodo</i> | <i>Frecuencia</i> | |
| 1 | 1,52 | 0,7 |  |
| 2 | 1,09 | 0,9 |  |
| 3 | 0,83 | 1,2 |  |



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”

| | | | |
|---|------|-----|--|
| 4 | 0,38 | 2,6 | |
| 5 | 0,30 | 3,4 | |
| 6 | 0,17 | 5,8 | |
| 7 | 0,17 | 6,0 | |
| 8 | 0,15 | 6,8 | |
| 9 | 0,13 | 7,7 | |



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”

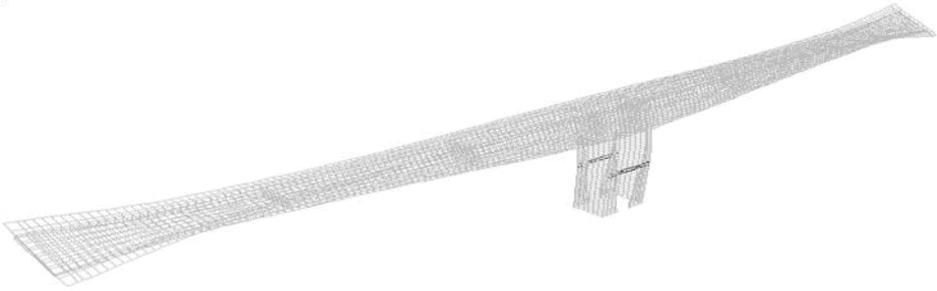
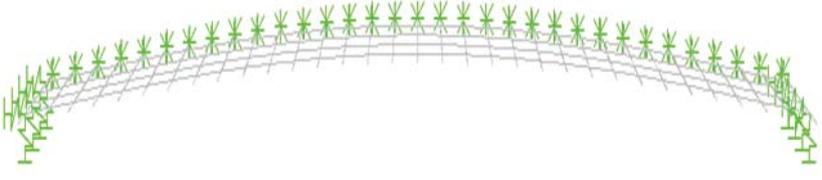
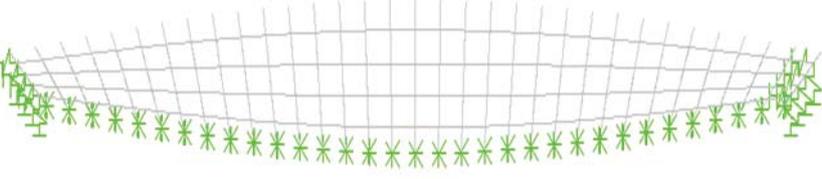
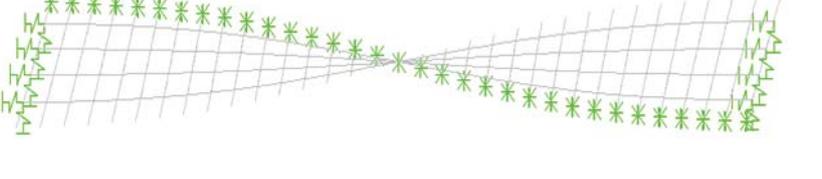
| | | | |
|----|------|-----|--|
| 10 | 0,11 | 9,2 |  |
|----|------|-----|--|

Tabla 4. Modos y frecuencias naturales obtenidas con el modelo numérico del Puente General San Martín – Puente Principal.

| Viaducto Uruguayo y Argentino (viga sobre ménsula-pilas bajas) PLGSM | | | |
|--|---------|------------|--|
| Modo | Periodo | Frecuencia | Esquema |
| 1 | 0,405 | 2,6 |  |
| 2 | 0,397 | 2,9 |  |
| 3 | 0,134 | 7,4 |  |
| 4 | 0,122 | 8,2 |  |



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”

| | | | |
|---|-------|------|--|
| 5 | 0,073 | 13,6 | |
|---|-------|------|--|

Tabla 5. Modos y frecuencias naturales obtenidas con el modelo numérico del Puente General San Martín – Viaducto Uruguayo y Argentino (pilas bajas).

| Viaducto Uruguayo y Argentino (viga sobre ménsula-pilas altas) PLGSM | | | |
|--|---------|------------|---------|
| Modo | Periodo | Frecuencia | Esquema |
| 1 | 0,416 | 2,4 | |
| 2 | 0,374 | 2,7 | |
| 3 | 0,171 | 5,8 | |
| 4 | 0,148 | 6,7 | |



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 | 0,100 | 9,9 | |
|---|-------|-----|--|

Tabla 6. Modos y frecuencias naturales obtenidas con el modelo numérico del Puente General San Martín – Viaducto Uruguayo y Argentino (pilas altas).

| Viaducto Argentino (vigas sobre dinteles)LGSM | | | |
|---|---------|------------|---------|
| Modo | Periodo | Frecuencia | Esquema |
| 1 | 0,3268 | 3,1 | |
| 2 | 0,288 | 3,5 | |
| 3 | 0,0852 | 11,7 | |
| 4 | 0,0832 | 12,0 | |

Tabla 7. Modos y frecuencias naturales obtenidas con el modelo numérico del Puente General San Martín – Viaducto Argentino.

Los modelos cuyos resultados se presentaron en este apartado se describen en detalle en el apartado anterior. 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 en el siguiente apartado.



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”

2.6 Verificación de las pilas de viaducto frente a cargas extraordinarias

Como consecuencia de las fisuras observadas en las columnas circulares que conforman las pilas de viaducto surge la necesidad de realizar la verificación a resistencia y estabilidad de las mismas, frente a cargas extraordinarias.

Para la verificación de las columnas de las pilas del viaducto se realizó un modelo numérico de las mismas utilizando el software de elementos finitos Sap2000 en su versión 10.0.1., de donde se obtuvieron los esfuerzos máximos en las columnas. Este modelo surge del modelo de los viaductos de acceso descritos en el apartado 3.4.2, al cual se agregaron las columnas de las pilas Figura 22. Las columnas se representaron por elementos de barras a los cuales se les asignaron las propiedades seccionales de las mismas. 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 referidas 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 $E = 4\,750\,000 \text{ t/m}^2$
- 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 38 del viaducto argentino (57,00 m), en las secciones de máximos esfuerzos, de modo de tomar el caso más crítico del puente. Verificando estos elementos se considera que las pilas más bajas quedan también verificadas.

Los pilotes-columnas se consideraron apoyados en la punta y se restringieron los desplazamientos horizontales, debido a la presencia del suelo, hasta una altura de 9,60 m con un coeficiente de balasto del suelo de 300 tn/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”

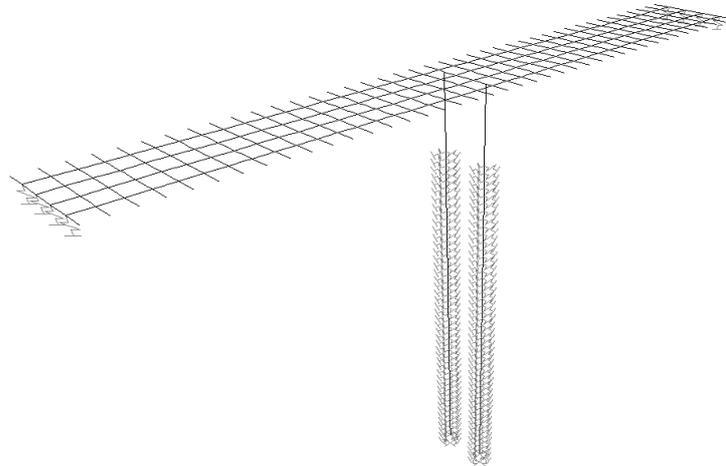


Figura 22. Modelo numérico de las pilas del viaducto Argentino.

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 tomo 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 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. La verificación se realizó utilizando el Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (CIRSOC 201-2005).

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:

$$- 1.2 D + 1.6 L$$

$$- 1.2 D + 1.6 W_{desc}$$



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”

$$- 1.2 D + 1.6 W_{\text{carg}} + 0.5 L$$

$$- 1.2 D + 1.6 L_{\text{extraordinaria}}$$

Donde:

D: Peso propio de la estructura.

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

W_{desc} : Viendo con el puente descargado.

W_{carg} : Viento con el puente cargado.

$L_{\text{extraordinaria}}$: 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.

2.7 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 PLGSM, realizadas durante la campaña de relevamiento a la estructura.

2.7.1 Análisis de la nivelación de tablero

Para la nivelación del tablero del PLGSM se colocaron puntos fijos sobre el cordón de vereda del tablero que servirán para futuras nivelaciones. Estos puntos fueron materializados por medio de arandelas metálicas fijadas con un pegamento de base epóxica sobre el cordón de la vereda. En la Figura 23 se observa un esquema transversal de una sección del tablero del PLGSM donde se encuentra indicada la posición de los puntos fijos.



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”

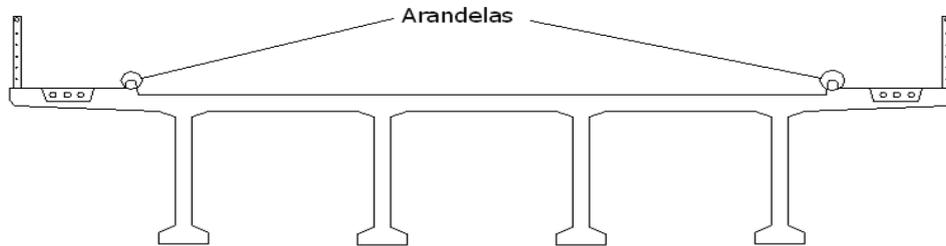


Figura 23. Esquema de la ubicación de los puntos fijos colocados sobre el tablero del PLGSM.

La nivelación del tablero del PLGSM se llevó a cabo en coincidencia con las juntas de dilatación de la estructura y en el centro de cada tramo para el caso de los tramos de vigas simplemente apoyadas y los tramos isostático del puente. En las vigas “ménsula” de los viaductos de acceso se tomaron mediciones en los extremos de los voladizos y en el eje de la pila. En el puente principal se relevaron los niveles en los extremos de los voladizos, eje de las pilas principales y cuatro puntos intermedios a los mencionados anteriormente. En todos los casos se tomaron dos puntos por cada progresiva relevada, uno del lado derecho y uno del lado izquierdo de la calzada. En total se relevaron los niveles de 536 puntos (dos por cada progresiva), de los cuales 50 puntos se encuentran en el puente principal.

El sentido de avance de la nivelación fue desde el Estribo Uruguayo hacia el Estribo Argentino. En la Figura 24, Figura 25 y Figura 26 se observan esquemas de los puntos relevados, tanto para el puente principal como para las estructuras de viaducto. Un perfil longitudinal con la nivelación del tablero, que forma parte de las planillas de relevamiento del PLGSM.

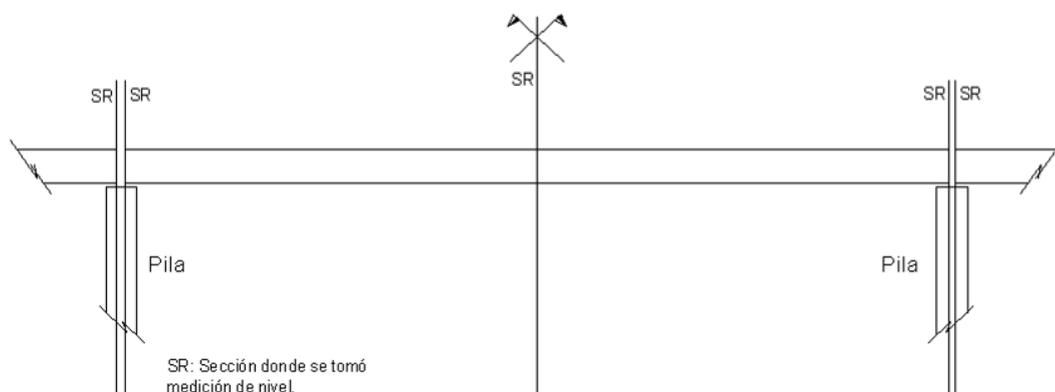


Figura 24. Esquema Viaducto Argentino – vigas simplemente apoyadas, se encuentran indicadas las secciones donde se tomaron mediciones de nivel.



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”

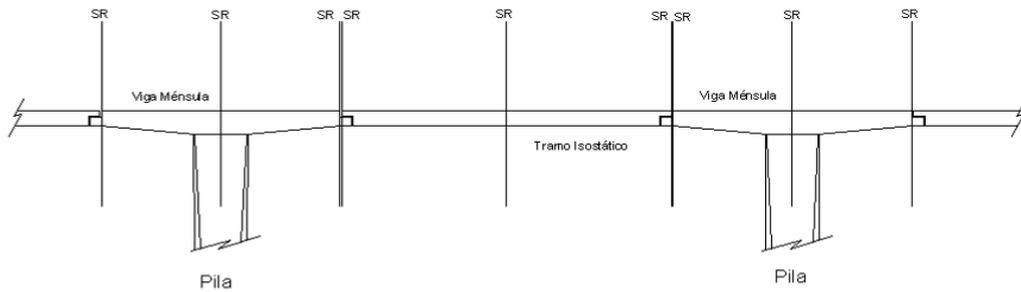


Figura 25. Esquema Viaducto Argentino y uruguayo - tramo isostáticos sobre vidas ménsula, se encuentran indicadas las secciones donde se tomaron mediciones de nivel.

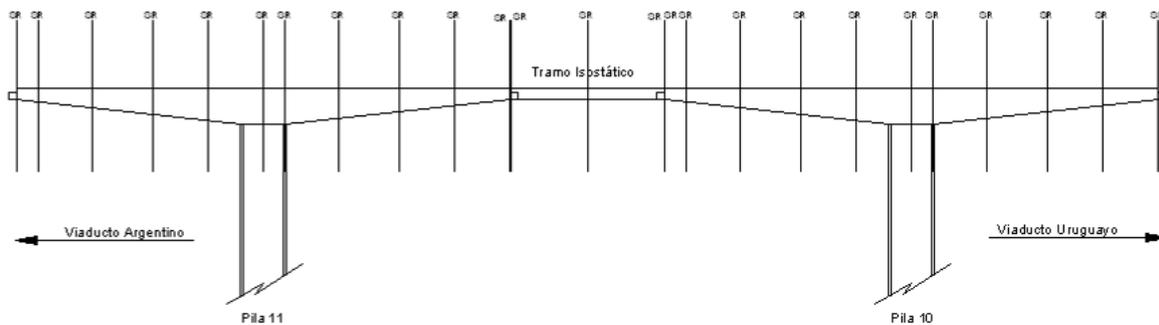


Figura 26. Esquema Puente Principal, se encuentran indicadas las secciones donde se tomaron mediciones de nivel.

Además de la nivelación de proyecto del PLGSM, se cuenta como antecedente con una nivelación realizada en el año 2000 con motivo de una evaluación general al estado del puente realizada por el Ing. Ponce. Una copia de dicha nivelación se encuentra en el Anexo III de este informe ya que se utilizó en este trabajo para extraer conclusiones sobre el comportamiento del puente en su conjunto, a la luz de los trabajos realizados este año. Dado que las progresivas de los puntos nivelados, tanto en la nivelación realizada en el año 2000 como en la nivelación de proyecto, no se corresponde con las progresivas de los puntos relevados en la actualidad, se interpolaron los niveles que surgen de la nivelación actual para compatibilizar las nivelaciones.

En la Tabla 8 se presentan las cotas relevadas en el presente proyecto, las cotas correspondientes a la nivelación de proyecto y la nivelación realizada en el año 2000.

| Pila | (1) Cota de Proyecto contra Cordón | (2) Cota año 2000 contra cordón | (3) Cota Actual contra Cordón | (4) Diferencia Proyecto - Actual | (5) Diferencia Año 2000 - Actual |
|--------|--|--|---|---|---|
| Pila 1 | 23,097 | 23,123 | 23,123 | -0,026 | 0,000 |
| Junta | 23,097 | 23,140 | 23,128 | -0,031 | 0,012 |
| Junta | 24,497 | 24,521 | 24,522 | -0,025 | -0,001 |



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 de Proyecto contra Cordón | (2) Cota año 2000 contra cordón | (3) Cota Actual contra Cordón | (4) Diferencia Proyecto - Actual | (5) Diferencia Año 2000 - Actual |
|---------|--|--|---|---|---|
| Pila 2 | 25,022 | 25,045 | 25,038 | -0,016 | 0,007 |
| Junta | 25,547 | 25,522 | 25,516 | 0,031 | 0,006 |
| Junta | 26,947 | 26,956 | 26,946 | 0,001 | 0,010 |
| Pila 3 | 27,472 | 27,482 | 27,475 | -0,003 | 0,007 |
| Junta | 27,997 | 27,970 | 27,959 | 0,038 | 0,011 |
| Junta | 29,397 | 29,406 | 29,390 | 0,007 | 0,016 |
| Pila 4 | 29,922 | 29,944 | 29,929 | -0,007 | 0,015 |
| Junta | 30,447 | 30,424 | 30,423 | 0,024 | 0,001 |
| Junta | 31,847 | 31,868 | 31,848 | -0,001 | 0,020 |
| Pila 5 | 32,372 | 32,392 | 32,385 | -0,013 | 0,007 |
| Junta | 32,897 | 32,874 | 32,853 | 0,044 | 0,021 |
| Junta | 34,297 | 34,311 | 34,299 | -0,002 | 0,012 |
| Pila 6 | 34,822 | 34,836 | 34,826 | -0,004 | 0,010 |
| Junta | 35,347 | 35,327 | 35,325 | 0,022 | 0,002 |
| Junta | 36,747 | 36,762 | 36,746 | 0,001 | 0,016 |
| Pila 7 | 37,272 | 37,285 | 37,272 | 0,000 | 0,013 |
| Junta | 37,797 | 37,779 | 37,764 | 0,033 | 0,015 |
| Junta | 39,197 | 39,208 | 39,204 | -0,007 | 0,004 |
| Pila 8 | 39,722 | 39,725 | 39,736 | -0,014 | -0,011 |
| Junta | 40,247 | 40,221 | 40,228 | 0,019 | -0,007 |
| Junta | 41,647 | 41,679 | 41,666 | -0,019 | 0,013 |
| Pila 9 | 42,172 | 42,194 | 42,185 | -0,013 | 0,009 |
| Junta | 42,697 | 42,706 | 42,705 | -0,008 | 0,001 |
| Junta | 44,097 | 43,967 | 43,920 | 0,177 | 0,047 |
| Pila 10 | 46,460 | 46,516 | 46,503 | -0,043 | 0,013 |
| Junta | 47,247 | 47,158 | 47,138 | 0,109 | 0,020 |
| Junta | 47,247 | 47,260 | 47,254 | -0,007 | 0,006 |
| Pila 11 | 46,460 | 46,462 | 46,465 | -0,005 | -0,003 |
| Junta | 44,097 | 44,108 | 44,110 | -0,013 | -0,002 |
| Junta | 42,697 | 42,719 | 42,727 | -0,030 | -0,008 |
| Pila 12 | 42,172 | 42,231 | 42,207 | -0,035 | 0,024 |
| Junta | 41,647 | 41,686 | 41,682 | -0,035 | 0,004 |
| Junta | 40,247 | 40,231 | 40,242 | 0,005 | -0,011 |
| Pila 13 | 39,722 | 39,751 | 39,756 | -0,034 | -0,005 |
| Junta | 39,197 | 39,216 | 39,234 | -0,037 | -0,018 |
| Junta | 37,797 | 37,772 | 37,783 | 0,014 | -0,011 |
| Pila 14 | 37,272 | 37,263 | 37,293 | -0,021 | -0,030 |
| Junta | 36,747 | 36,760 | 36,781 | -0,034 | -0,021 |
| Junta | 35,347 | 35,326 | 35,310 | 0,037 | 0,016 |
| Pila 15 | 34,822 | 34,826 | 34,838 | -0,016 | -0,012 |
| Junta | 34,297 | 34,309 | 34,335 | -0,038 | -0,026 |
| Junta | 32,897 | 32,868 | 32,888 | 0,009 | -0,020 |
| Pila 16 | 32,372 | 32,380 | 32,396 | -0,024 | -0,016 |
| Junta | 31,847 | 31,853 | 31,854 | -0,007 | -0,001 |



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 de Proyecto contra Cordón | (2) Cota año 2000 contra cordón | (3) Cota Actual contra Cordón | (4) Diferencia Proyecto - Actual | (5) Diferencia Año 2000 - Actual |
|---------|---|--|---|---|---|
| Junta | 30,447 | 30,424 | 30,427 | 0,020 | -0,003 |
| Pila 17 | 29,922 | 29,932 | 29,926 | -0,004 | 0,006 |
| Junta | 29,397 | 29,414 | 29,419 | -0,022 | -0,005 |
| Junta | 27,997 | 27,981 | 27,983 | 0,014 | -0,002 |
| Pila 18 | 27,472 | 27,476 | 27,478 | -0,006 | -0,002 |
| Junta | 26,947 | 26,956 | 26,968 | -0,021 | -0,012 |
| Junta | 25,547 | 25,525 | 25,535 | 0,012 | -0,010 |
| Pila 19 | 25,022 | 25,013 | 25,031 | -0,009 | -0,018 |
| Junta | 24,497 | 24,491 | 24,523 | -0,026 | -0,032 |
| Junta | 23,097 | 23,041 | 23,067 | 0,030 | -0,026 |
| Pila 20 | 22,572 | 22,545 | 22,540 | 0,032 | 0,005 |
| Junta | 22,047 | 22,045 | 22,025 | 0,022 | 0,020 |
| Junta | 20,647 | 20,600 | 20,579 | 0,068 | 0,021 |
| Pila 21 | 20,122 | 20,119 | 20,122 | 0,000 | -0,003 |
| Junta | 19,597 | 19,590 | 19,600 | -0,003 | -0,010 |
| Junta | 18,197 | 18,155 | 18,163 | 0,034 | -0,008 |
| Pila 22 | 17,672 | 17,673 | 17,668 | 0,004 | 0,005 |
| Junta | 17,147 | 17,141 | 17,155 | -0,008 | -0,014 |
| Junta | 15,747 | 15,698 | 15,708 | 0,039 | -0,010 |
| Pila 23 | 15,222 | 15,213 | 15,206 | 0,016 | 0,007 |
| Junta | 14,697 | 14,685 | 14,698 | -0,001 | -0,013 |
| Junta | 13,330 | 13,279 | 13,266 | 0,064 | 0,013 |
| Pila 24 | 12,874 | 12,866 | 12,862 | 0,012 | 0,004 |
| Junta | 12,455 | 12,430 | 12,447 | 0,008 | -0,017 |
| Junta | 11,522 | 11,469 | 11,479 | 0,043 | -0,010 |
| Pila 25 | 11,241 | 11,249 | 11,231 | 0,010 | 0,018 |
| Junta | 10,997 | 10,966 | 10,977 | 0,020 | -0,011 |
| Junta | 10,560 | 10,485 | 10,492 | 0,068 | -0,007 |
| Pila 26 | 10,424 | 10,420 | 10,427 | -0,003 | -0,007 |
| Junta | 10,355 | 10,309 | 10,313 | 0,042 | -0,004 |
| Junta | 10,322 | 10,293 | 10,312 | 0,010 | -0,019 |
| Pila 27 | 10,322 | 10,315 | 10,322 | 0,000 | -0,007 |
| Junta | 10,322 | 10,306 | 10,319 | 0,003 | -0,013 |
| Junta | 10,322 | 10,299 | 10,310 | 0,012 | -0,011 |
| Pila 28 | 10,322 | 10,291 | 10,325 | -0,003 | -0,034 |
| Junta | 10,322 | 10,306 | 10,329 | -0,007 | -0,023 |
| Junta | 10,322 | 10,316 | 10,333 | -0,011 | -0,005 |
| Pila 29 | 10,322 | 10,328 | 10,330 | -0,008 | -0,034 |
| Junta | 10,322 | 10,296 | 10,326 | -0,004 | -0,006 |
| Pila 30 | 10,322 | 10,320 | 10,329 | -0,007 | -0,018 |
| Pila 31 | 10,322 | 10,311 | 10,325 | -0,003 | -0,004 |
| Pila 32 | 10,322 | 10,321 | 10,331 | -0,009 | -0,013 |
| Pila 33 | 10,322 | 10,318 | 10,332 | -0,010 | -0,009 |
| Pila 34 | 10,322 | 10,323 | 10,330 | -0,008 | -0,007 |



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 de Proyecto contra Cordón | (2) Cota año 2000 contra cordón | (3) Cota Actual contra Cordón | (4) Diferencia Proyecto - Actual | (5) Diferencia Año 2000 - Actual |
|---------|--|--|---|---|---|
| Pila 35 | 10,322 | 10,323 | 10,340 | -0,018 | -0,023 |
| Pila 36 | 10,322 | 10,317 | 10,336 | -0,014 | -0,019 |
| Pila 37 | 10,322 | 10,317 | 10,336 | -0,014 | -0,021 |
| Pila 38 | 10,322 | 10,315 | 10,319 | 0,003 | -0,007 |
| Pila 39 | 10,322 | 10,312 | 10,328 | -0,006 | -0,008 |
| Pila 40 | 10,322 | 10,320 | 10,339 | -0,017 | -0,009 |
| Pila 41 | 10,322 | 10,330 | 10,347 | -0,025 | -0,016 |
| Pila 42 | 10,322 | 10,331 | 10,362 | -0,040 | -0,013 |
| Pila 43 | 10,322 | 10,349 | 10,354 | -0,032 | -0,003 |
| Pila 44 | 10,322 | 10,351 | 10,354 | -0,032 | -0,006 |
| Pila 45 | 10,322 | 10,348 | 10,359 | -0,037 | -0,011 |
| Pila 46 | 10,322 | 10,348 | 10,356 | -0,034 | -0,016 |
| Pila 47 | 10,322 | 10,340 | 10,348 | -0,026 | -0,004 |
| Pila 48 | 10,322 | 10,344 | 10,365 | -0,043 | -0,014 |
| Pila 49 | 10,322 | 10,351 | 10,365 | -0,043 | -0,027 |
| Pila 50 | 10,322 | 10,338 | 10,350 | -0,028 | -0,023 |
| Pila 51 | 10,322 | 10,327 | 10,341 | -0,019 | -0,006 |
| Pila 52 | 10,322 | 10,335 | 10,358 | -0,036 | -0,016 |
| Pila 53 | 10,322 | 10,342 | 10,358 | -0,036 | -0,032 |
| Pila 54 | 10,322 | 10,326 | 10,351 | -0,029 | -0,029 |
| Pila 55 | 10,322 | 10,322 | 10,352 | -0,030 | -0,030 |
| Pila 56 | 10,322 | 10,322 | 10,326 | -0,004 | -0,004 |
| Pila 57 | 10,322 | 10,322 | 10,334 | -0,012 | -0,012 |

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 al nivel de la calzada contra el cordón de vereda.*

La columna 5 de la Tabla 8 indica la diferencia que existe entre la nivelación actual y la nivelación realizada en el año 2000. Los valores negativos de esta columna indican que los niveles actuales son mayores a los registrados en el año 2000, mientras que un valor positivo indica la situación opuesta.

Estas diferencias, en ambos sentidos, pueden obedecer a las siguientes causas:

- Comparación de puntos que tienen un leve desfase en progresiva (esto sería relevante en los sectores del puente que tienen una pendiente pronunciada).
- El cordón de vereda usado para colocar puntos fijos en este trabajo no presente una altura constante en todo su desarrollo.
- La altura del punto fijo materializado en el cordón de la vereda podría contribuir en un error de hasta 1 cm en la estimación de las cotas.



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”

- Podría haber diferencias entre las precisiones de las metodologías de medición usada este año y la utilizada anteriormente. Este efecto no parece ser relevante, debido a la diferencias de cotas medidos en la Pila 1 y Pila 57. Comparando estos puntos se obtendría la máxima diferencia acumulada entre las mediciones comparadas, ya que se irían sumando los errores de medición a lo largo de todo el puente. Sin embargo, la diferencia de 1,24 cm en la pila 57 con respecto a la pila 1, con un desarrollo de 3,4 km, confirmaría que las nivelaciones presentan precisiones similares, ya que el error de cierre arrojaría una exactitud de $\pm 6,7\text{mm/km}$.
- Existencia de deformaciones ocurridas en los últimos 10 años.

Cabe destacar, que para eliminar los errores que se detallan en el párrafo anterior, tales como errores de desfase de progresiva o de irregularidad del cordón de vereda, se recomienda realizar las futuras nivelaciones utilizando los puntos fijos colocados en este trabajo.

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 entre cotas de proyecto y cotas actuales (indican que la estructura actual presenta cotas mayores a las de proyecto) que se observan en los puntos sobre las pilas y las juntas de dilatación podrían atribuirse 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 3,2 cm, lo que se considera dentro de la tolerancia del proceso constructivo para un puente de la envergadura del PLGSM.
- De los puntos relevados sobre las juntas de dilatación ubicadas en los extremos de los voladizos de las vigas ménsulas que conforman los viaductos de acceso, surge que, 30 de 53 puntos relevados presentan un descenso con respecto a la cota de proyecto con valores máximos cercanos a 6,8 cm (pilas 21 y 26). Este comportamiento es consistente con los resultados de los modelos numéricos, que se informa por separado.
- Las diferencias de cotas de los extremos de las vigas ménsula en relación al año 2000 se encuentran en valores cercanos a 2 cm.
- En la pila principal 10 se registró una diferencia negativa con respecto a la cota de proyecto de -4,3 cm, la cual es 1,3 cm inferior a la registrada en el año 2000, sin embargo ambas nivelaciones muestran una diferencia negativa con respecto a la cota de proyecto, por los que también se puede afirmar que las mismas tienen su origen en diferencias producidas en el momento de la construcción.
- Las cotas de los extremos de los voladizos de la viga principal de la pila 10, presentan cotas menores a las de proyecto. La diferencia es de 17,7 cm en el



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”

extremo del lado Uruguayo y de 10,9 cm en el voladizo del lado Argentino. Estos resultados son consistentes con el comportamiento a tiempo infinito estimado con el modelo numérico del puente descrito en el apartado 2.4. El análisis de elementos finitos desarrollado indica que pueden esperarse descensos de los extremos de las vigas ménsulas, como consecuencia del fenómeno de fluencia lenta de la viga principal del puente. En el modelo se consideró la flecha elástica por peso propio, la contra flecha estimada debido al pretensado del puente y la deformación a tiempo infinito de la estructura. A pesar de que el comportamiento predicho es compatible con la nivelación, las magnitudes de flechas estimadas con el modelo son menores a las medidas. Esto podría indicar que parte de las diferencias de niveles (cotas de proyecto vs. cotas actuales) señaladas se deberían a errores constructivos. Esta conclusión se respalda en informes de inspecciones anteriores que indican la ocurrencia de problemas constructivos en la sección de arranque de la ménsula principal de la pila 10.

- Por otro lado, los extremos de los voladizos de la viga principal de la pila 11 mostraron diferencias negativas con respecto a las cotas de proyecto (los niveles actuales estarían por encima de los teóricos). La magnitud de esta diferencia es de -0,7 cm el extremo del lado Uruguayo y -1,3 cm el extremo del lado Argentino. Este comportamiento podría indicar que, a la luz de los problemas acaecidos durante la construcción de la pila 10 (se construyó antes que la pila 11, según los antecedentes analizados), se corrigieron algunos aspectos del proyecto de la viga principal y podría haberse dotado a la ménsula de la pila 11 de una contraflecha, lo que explicaría los niveles actuales.
- Se destaca que no se observaron fisuras o defectos que pudieran dar indicio de un mal comportamiento estructural debido a movimientos verticales de la estructura, lo que refuerza lo señalado en los puntos anteriores.

Para evaluar la incidencia que podría llegar a tener la amplitud térmica que presenta el puente a lo largo del año, sobre las diferentes nivelaciones realizadas al mismo, se determinaron, con auxilio del modelo numérico desarrollado y arriba descrito, los desplazamientos que presenta la estructura del puente principal como consecuencia de la variación térmica estacional. Cabe destacar que solo se realizó este análisis para el tablero del puente principal del PLGSM, 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 4 cm, valor que se encuentra dentro de las diferencias observadas en la comparación de las distintas nivelaciones.

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



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”

2.7.2 Análisis de la batimetría del cauce del Río Uruguay

La batimetría del cauce del Río Uruguay se realizó en las inmediaciones de la zona de emplazamiento del PLGSM. 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, dispuesta para tal fin en un bote. Se relevaron más de 2000 puntos sobre el lecho del Río Uruguay, con los cuales se construyeron las curvas de nivel del lecho del río en la zona de emplazamiento del puente. Se realizaron cinco perfiles transversales del lecho del río, 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 +0,90 m.s.n.m.

Una copia de la batimetría se encuentra en las Planillas de Relevamiento. En las mismas se observan las curvas de nivel del lecho del Río Uruguay en la zona de emplazamiento del PLGSM construidas a partir de los puntos relevados, así como también los perfiles longitudinales realizados.

La finalidad de realizar la batimetría del Río Uruguay es evaluar la estabilidad del lecho del río frente al obstáculo que representa el PLGSM al flujo normal del río y determinar el efecto de un posible descenso del lecho del Río Uruguay sobre las fundaciones.

En la Tabla 9 se presenta un resumen con los valores de cotas relevadas actualmente, los valores de las cotas de proyecto y los valores de cotas relevadas en el año 2000 que forman parte de un informe de evaluación realizado por el Ingeniero Ponce al PLGSM. En la Figura 27 y Figura 28 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 |
| 5 | -3 | -7,2 | -5,8 | -4,2 | -2,8 | -4,127 | -3,655 | -1,127 | -0,655 |
| 6 | -9 | -11,2 | -11,2 | -2,2 | -2,2 | -12,875 | -11,66 | -3,875 | -2,66 |
| 7 | -14 | -15,2 | -15,5 | -1,2 | -1,5 | -14,762 | -14,65 | -0,762 | -0,65 |
| 8 | -15 | -17,2 | -17,2 | -2,2 | -2,2 | -16,65 | -16,122 | -1,65 | -1,122 |
| 9 | -15 | -17,2 | -17,5 | -2,2 | -2,5 | -16,742 | -16,08 | -1,742 | -1,08 |
| 10 | -19,4 | -20,5 | -19,5 | -1,1 | -0,1 | -17,827 | -18,07 | 1,573 | 1,33 |
| 11 | -8,6 | -12,8 | -13,5 | -4,2 | -4,9 | -11,055 | -12,58 | -2,455 | -3,98 |
| 12 | -6 | -8,5 | -8,8 | -2,5 | -2,8 | -6,321 | -7,15 | -0,321 | -1,15 |
| 13 | -6 | -7,8 | -8,2 | -1,8 | -2,2 | -5,729 | -6,7 | 0,271 | -0,7 |
| 14 | -5 | -5,8 | -7,2 | -0,8 | -2,2 | -4,671 | -6,127 | 0,329 | -1,127 |
| 15 | -5 | -5,5 | -6,5 | -0,5 | -1,5 | -5,111 | -5,361 | -0,111 | -0,361 |
| 16 | -5 | -6,5 | -8,2 | -1,5 | -3,2 | -5,389 | -6,81 | -0,389 | -1,81 |
| 17 | -5 | -7,8 | -8,8 | -2,8 | -3,8 | -5,716 | -7,172 | -0,716 | -2,172 |



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 |
| 18 | -4 | -7,5 | -9,5 | -3,5 | -5,5 | -5,967 | -8,138 | -1,967 | -4,138 |
| 19 | -4,5 | -7,2 | -8,2 | -2,7 | -3,7 | -4,874 | -6,936 | -0,374 | -2,436 |
| 20 | -4 | -5,2 | -5,8 | -1,2 | -1,8 | -4,588 | -5,702 | -0,588 | -1,702 |
| 21 | -4 | -5,2 | -5,2 | -1,2 | -1,2 | -3,15 | -4,112 | 0,85 | -0,112 |
| 22 | -4 | -5,8 | -5,8 | -1,8 | -1,8 | -2,641 | -2,641 | 1,359 | 1,359 |
| 23 | -3 | -5,8 | -6,5 | -2,8 | -3,5 | -1,122 | -1,346 | 1,878 | 1,654 |
| 24 | -3,5 | -7,2 | -6,2 | -3,7 | -2,7 | -0,906 | -1,037 | 2,594 | 2,463 |
| 25 | -3,5 | -5,5 | -5,8 | -2 | -2,3 | -0,492 | -1,1 | 3,008 | 2,4 |
| 26 | -2,5 | -5,2 | -5,8 | -2,7 | -3,3 | -0,332 | -1,233 | 2,168 | 1,267 |
| 27 | -3 | -5,8 | -5,8 | -2,8 | -2,8 | -0,922 | -1,602 | 2,078 | 1,398 |
| 28 | -3,5 | -5,8 | -6,2 | -2,3 | -2,7 | -1,322 | -1,843 | 2,178 | 1,657 |
| 29 | -3,5 | -4,8 | -5,8 | -1,3 | -2,3 | -1,297 | -1,867 | 2,203 | 1,633 |
| 30 | -5 | -5,5 | -6,5 | -0,5 | -1,5 | -0,748 | -2,165 | 4,252 | 2,835 |
| 31 | -3 | -6,2 | -6,5 | -3,2 | -3,5 | -0,557 | -2,163 | 2,443 | 0,837 |
| 32 | -3 | -5,2 | -6,5 | -2,2 | -3,5 | -0,684 | -2,533 | 2,316 | 0,467 |
| 33 | -3,5 | -6,5 | -6,2 | -3 | -2,7 | -1,517 | -2,544 | 1,983 | 0,956 |
| 34 | -3 | -6,5 | -6,2 | -3,5 | -3,2 | -1,587 | -2,484 | 1,413 | 0,516 |
| 35 | -3 | -6,2 | -5,8 | -3,2 | -2,8 | -2,298 | -2,358 | 0,702 | 0,642 |
| 36 | -3,5 | -4,5 | -6,2 | -1 | -2,7 | -1,177 | -2,607 | 2,323 | 0,893 |
| 37 | -3 | -5,8 | -5,8 | -2,8 | -2,8 | -1,328 | -2,542 | 1,672 | 0,458 |
| 38 | -3 | -6,2 | -6,2 | -3,2 | -3,2 | -1,857 | -2,55 | 1,143 | 0,45 |
| 39 | -1,5 | -4,5 | -6,5 | -3 | -5 | -0,678 | -2,783 | 0,822 | -1,283 |
| 40 | -3 | -5,8 | -6,2 | -2,8 | -3,2 | -0,659 | -2,106 | 2,341 | 0,894 |
| 41 | -3,5 | -5,5 | -5,8 | -2 | -2,3 | -1,112 | -2,47 | 2,388 | 1,03 |
| 42 | -3 | -5,5 | -6,2 | -2,5 | -3,2 | -1,096 | -2,444 | 1,904 | 0,556 |
| 43 | -3 | -5,5 | -5,8 | -2,5 | -2,8 | -0,906 | -2,494 | 2,094 | 0,506 |
| 44 | -2,5 | -5,5 | -5,5 | -3 | -3 | -0,64 | -2,15 | 1,86 | 0,35 |
| 45 | -3 | -5,5 | -6,2 | -2,5 | -3,2 | -2,199 | -2,464 | 0,801 | 0,536 |
| 46 | -3,5 | -5,8 | -6,2 | -2,3 | -2,7 | -1,739 | -2,387 | 1,761 | 1,113 |
| 47 | -3 | -5,5 | -6,2 | -2,5 | -3,2 | -2,204 | -2,384 | 0,796 | 0,616 |
| 48 | -3 | -5,5 | -6,2 | -2,5 | -3,2 | -0,755 | -2,55 | 2,245 | 0,45 |
| 49 | -3,5 | -5,8 | -6,2 | -2,3 | -2,7 | -1,494 | -2,4 | 2,006 | 1,1 |
| 50 | -4 | -5,8 | -6,5 | -1,8 | -2,5 | -1,418 | -2,379 | 2,582 | 1,621 |
| 51 | -3 | -5,5 | -6,2 | -2,5 | -3,2 | -1,016 | -2,15 | 1,984 | 0,85 |



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 |
| 52 | -3 | -5,5 | -6,5 | -2,5 | -3,5 | -1,645 | -2,534 | 1,355 | 0,466 |
| 53 | -3,5 | -5,5 | -5,8 | -2 | -2,3 | -1,188 | -2,182 | 2,312 | 1,318 |
| 54 | -3 | -5,5 | -5,8 | -2,5 | -2,8 | -0,928 | -1,989 | 2,072 | 1,011 |
| 55 | | | | | | -0,632 | -2,013 | -0,632 | -2,013 |
| 56 | | | | | | | -0,462 | | -0,462 |

Tabla 9. Tabla de batimetría actual, batimetría del año 2000 y batimetría de proyecto.

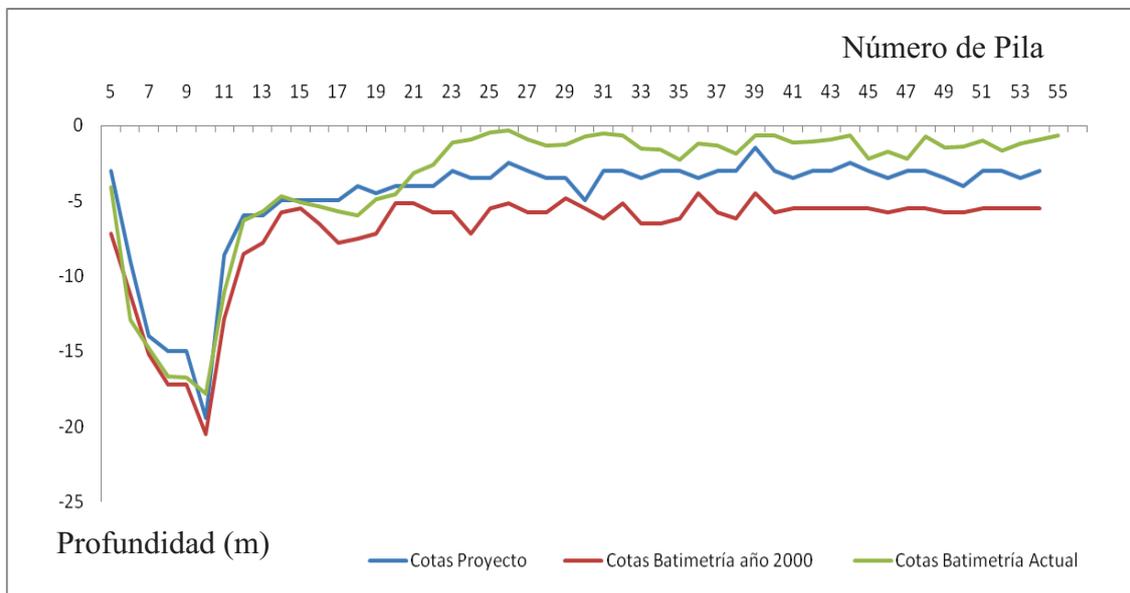


Figura 27. Gráfica del perfil del lecho del Río Uruguay aguas arriba del puente para las batimetrías analizadas.



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”

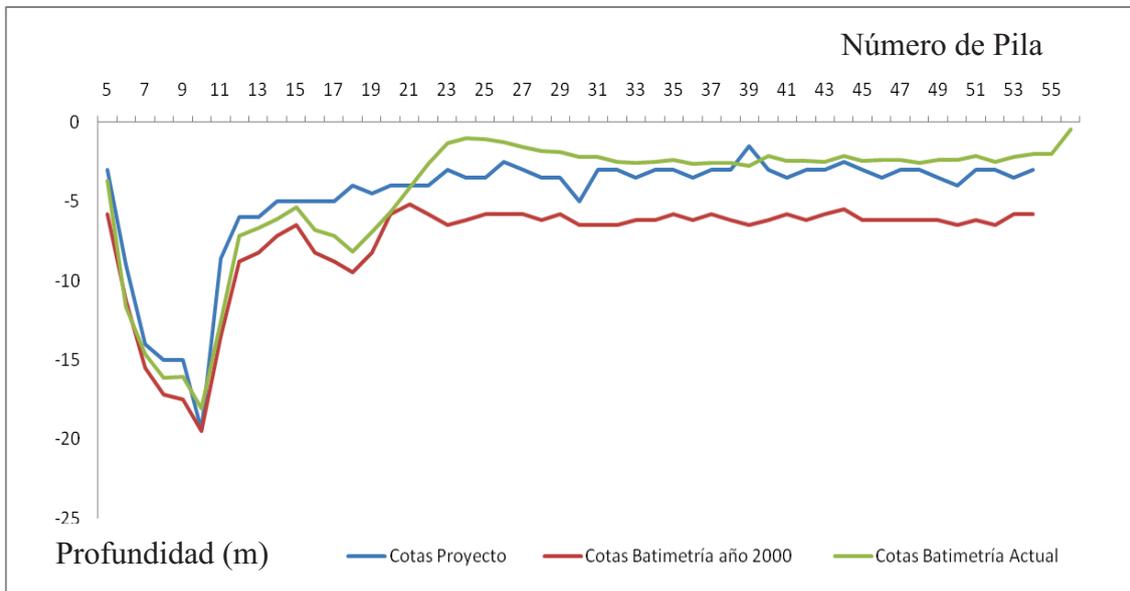


Figura 28. Gráfica del perfil del lecho del Río Uruguay aguas abajo del puente para las batimetrías analizadas.

Como se observa en la Tabla 9 y en las gráficas de la Figura 27 y Figura 28, la forma y profundidad del lecho del Río Uruguay no ha sufrido modificaciones significativas en relación al perfil utilizado para el proyecto del puente. A lo largo del puente se observa una zona de socavación, correspondiente al cauce principal del río (desde la pila 5 a la 20) con un descenso máximo del lecho igual a 4,13 m en coincidencia con la Pila 18. También se observa una zona de sedimentación, correspondiente al viaducto argentino (desde la pila 20 a 56) con un ascenso máximo del lecho igual a 4,25 m en coincidencia con la pila 30.

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. Parte de las diferencias observadas entre la batimetría actual y la del año 2000 podría atribuirse a efectos estacionales, ya que no se cuenta con la fecha precisa en que se realizó la batimetría hace diez años.

Sin embargo, la comparación establecida en las figuras anteriores permite concluir que el lecho del Río Uruguay es estable en la zona de emplazamiento del PLGAM, por lo que las fundaciones de la estructura no se encontrarían afectadas por los descensos del lecho. Además, las fundaciones del puente se han apoyado en roca de buenas características resistentes, tal como lo consignan los planos de la estructura. Se destaca que la zona del lecho del río en donde se hallan las pilas principales (10 y 11) no ha sufrido socavaciones, tal como puede observarse en las figuras anteriores.

También debe tenerse en cuenta que aguas arriba del PLGSM, aproximadamente a unos 230 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 PLGSM.



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 bien el lecho del Río Uruguay en la zona de emplazamiento del PLGSM se presentaría estable, se recomienda realizar batimetrías periódicamente (cada año) con el objeto de dar seguimiento a los procesos erosivos (erosión – sedimentación) en la zona de emplazamiento del PLGSM.

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

Una de las tareas realizadas durante la Inspección de Detalle del PLGSM fue medir la verticalidad de las pilas del puente principal. Esta actividad se encuentra descrita en detalle en el 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 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.

3. Recomendaciones

En este apartado se presenta una serie de recomendaciones que surgen de los resultados obtenidos durante la evaluación del PLGSM 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 PLGSM y evitarán la propagación de los daños observados.

- El principal defecto observado en la infraestructura del puente es la presencia de fisuras verticales en algunas columnas de las pilas. El relevamiento realizado muestra que una buena parte de estas fisuras se han reparado, y estos arreglos lucen en buen estado de conservación. Por este motivo, se recomienda realizar una reparación similar a las fisuras de las pilas que se han consignado en las planillas de relevamiento que presenten un ancho mayor a 0.2 mm.
- 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.
- Se recomienda realizar un monitoreo del estado de los dispositivos de apoyo periódicamente, especialmente en aquellos dispositivos que se encuentran fisurados.

-52-



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 monitoreo continuo permitirá detectar anomalías antes de que los apoyos presenten deformaciones excesivas que repercutan en el funcionamiento de la estructura. En caso de observar el colapso del paquete de neopreno o de detectar deformaciones excesivas se recomienda reemplazar el dispositivo dañado.

- Se recomienda ejecutar la demarcación horizontal del puente en toda su longitud, ya que se encuentra muy deteriorada.
- Las luminarias dentro de la viga principal del tramo central del puente presenta numerosos focos quemados, por lo que se sugiere su reemplazo por nuevos focos de mayor intensidad.
- Si bien el lecho del Río Uruguay en la zona de emplazamiento del PLGSM 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 PLGSM.
- 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.

4. Resumen y conclusiones

En este informe se presentaron las conclusiones extraídas del análisis detallado de la Inspección Principal realizada en el Puente General San Martín. 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:

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.



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”

- 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 de testigos de hormigón.

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 la nivelación del tablero
- Comparación de nivelación actual y nivelaciones previas (de proyecto y de inspección del año 2000).
- Verificación a resistencia y estabilidad de las columnas del viaducto argentino 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.

El análisis de laboratorio de testigos extraídos de las columnas de sección circular del viaducto lado argentino del puente que presentan fisuras verticales sistemáticas indica que éstas no se deben a los esfuerzos sino a procesos físico-químicos del hormigón, tal como se señalara en el apartado 2.2. Para evitar el avance del proceso se recomienda aplicar a estas columnas en todo su desarrollo una pintura especial. El resto de las pilas presenta algunas fisuras verticales que se atribuyen a fenómenos de retracción y cuyo sellado se encuentra en buenas condiciones.

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.



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 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 y se predijeron con éxito con los modelos numéricos elaborados. De acuerdo a estos análisis se concluye que las deformaciones diferidas en el tiempo por efecto de fluencia lenta se encontrarían estabilizadas, aunque en las nivelaciones futuras podrían indicar algún incremento en la flechas del puente, especialmente en los extremos de las vigas en ménsula.

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 PLGSM





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

Número de Muestra:

Procedencia:

Coleccionó:

Ref. Laboratorio:

10/09/2010

PSMP3

Puente Gualeguaychú

Dr. Carlos Prato

8753-A

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 conclomerádicas
- 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

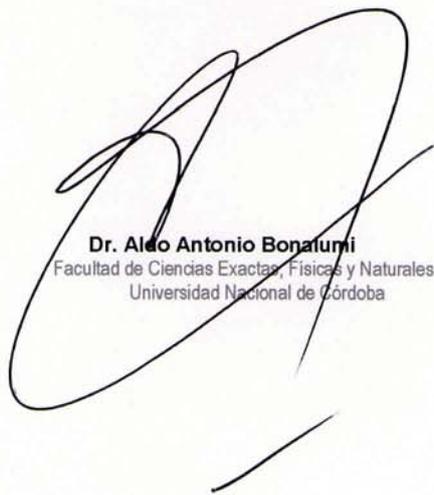
- a) Calcedonias radiales
- b) Calcedonias masivas
- c) Cuarzo criptocristalino

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 y basaltos alterados
4. Las discontinuidades son perigranulares y *muy escasas*, 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. Es posible observar aquí abundante calcedonia en el agregado fino, en ejemplares de 100 micras por ejemplo.



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

6. Las discontinuidades medidas en su ancho oscilan entre #0,091 mm en su mayor desarrollo bajando a filetes de apenas #0,096mm.
7. Hay presencia de cuarzos criptocristalinos que solo alcanzan 18 micras en su dimensión mayor.

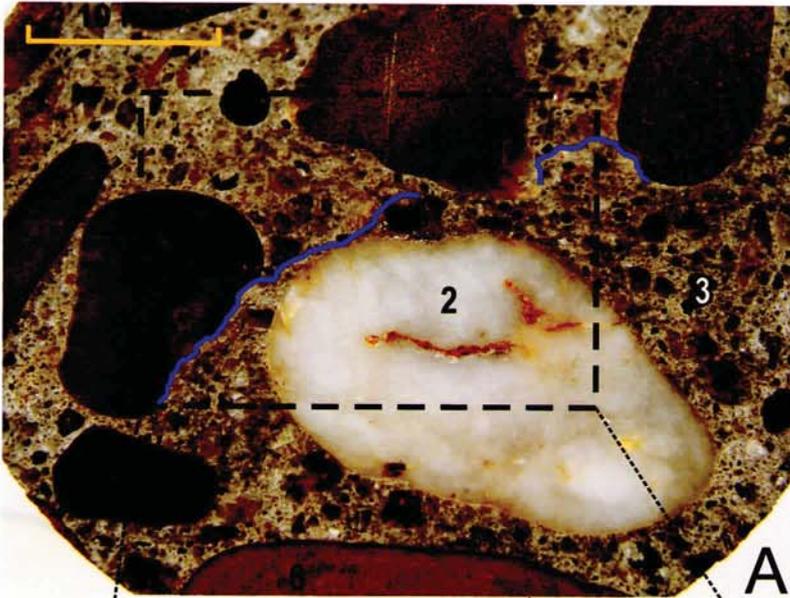


Dr. Aldo Antonio Bonafumí
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba

Observación Macroscópica

Discontinuidad observada en testigo provisto

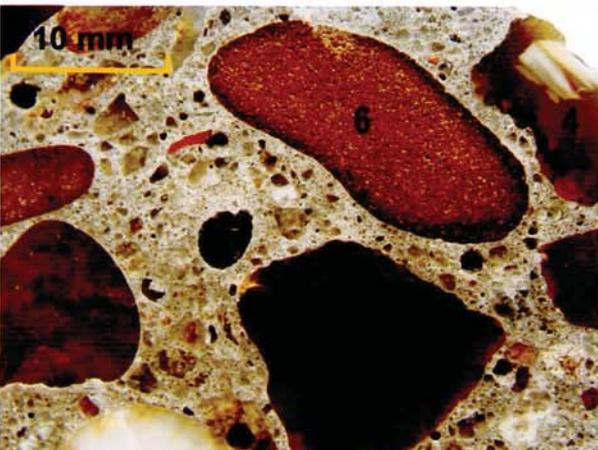
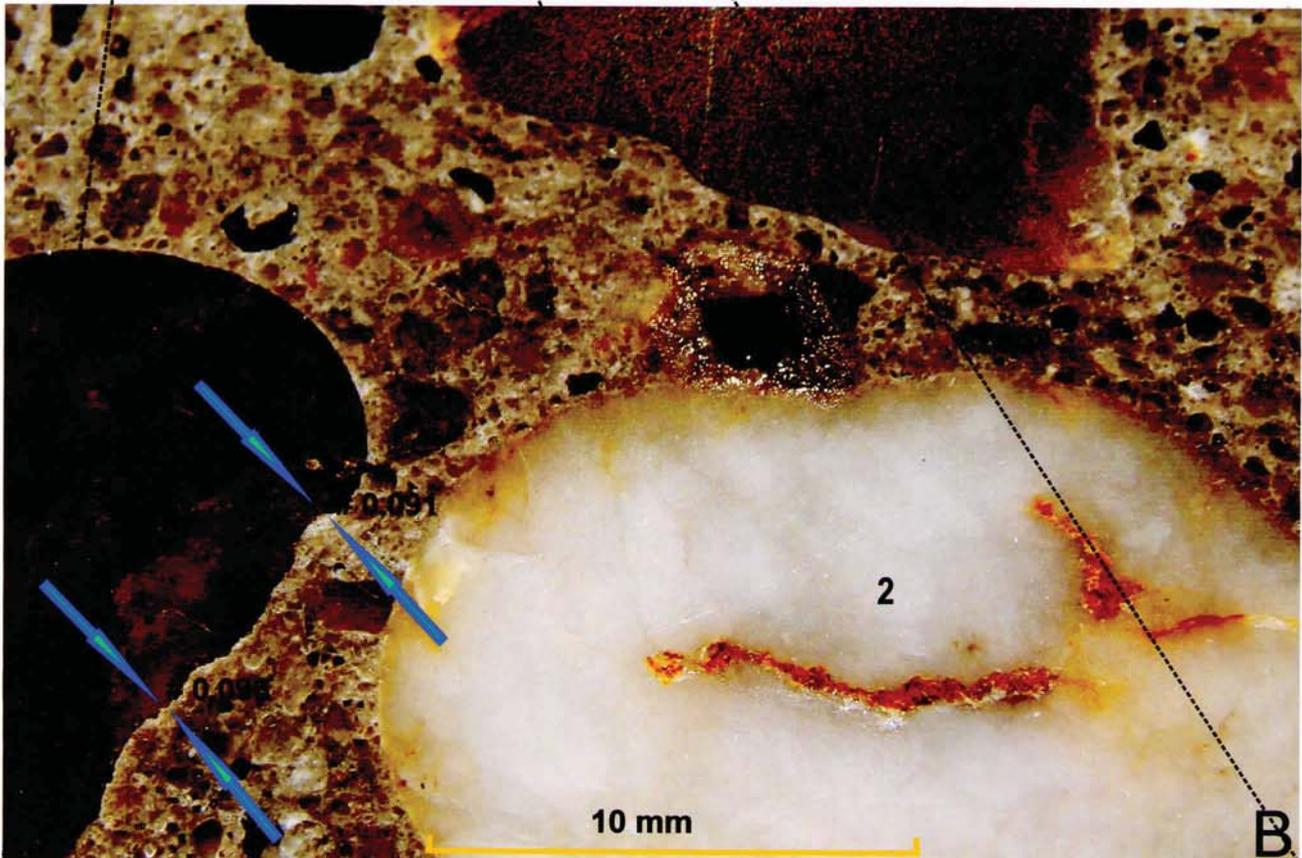
Gualedguaychú



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). En la fotografía (B) se indican (ej:# 0,091 mm) la dimensión, en su ancho, de la discontinuidad analizada.

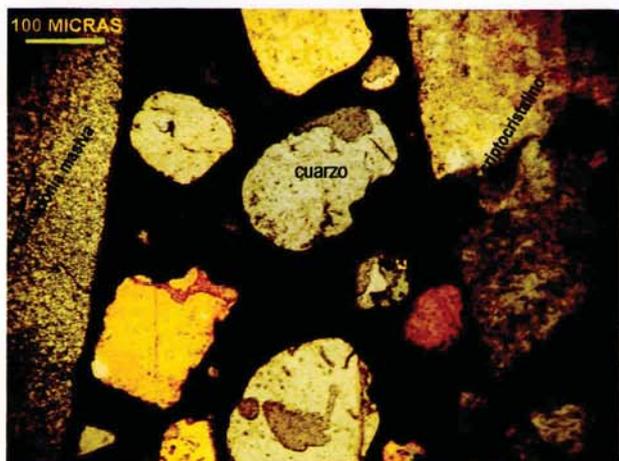
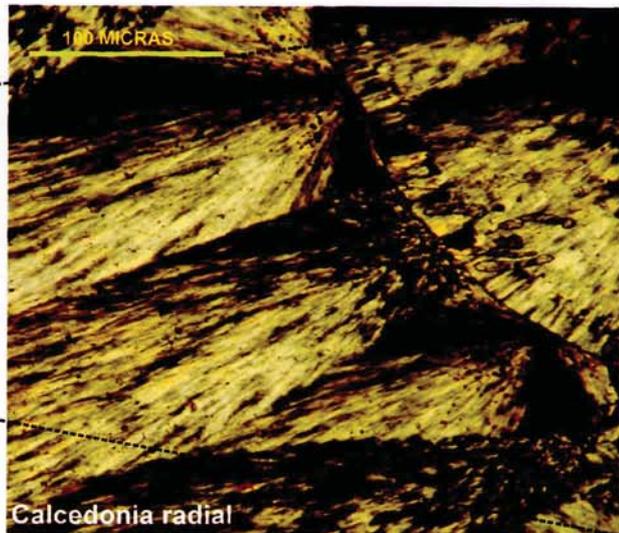
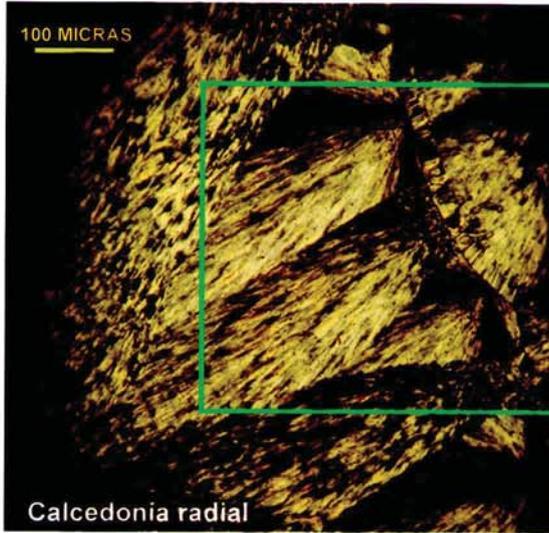
Composición del agregado:

- 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.*



OBSERVACIONES MICROSCOPICAS

Minerales y rocas del agregado Gualeguaychú





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

Número de Muestra: PGSM 50
Procedencia:
Colección: Dr. Carlos Prato
Ref. Laboratorio: 8799-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

- Cuarzo criptocristalino
- Hematitas y magnetitas conclomerádicas
- Calcedonias radiales
- Calcedonias masivas



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 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 muy frágiles. No se observaron ni basaltos ni areniscas.
4. Las discontinuidades son perigranulares y también atraviesan marcadamente la estructura, a tal punto, que rompen los granos del agregado.
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. Es posible observar aquí abundante calcedonia en el agregado fino, en ejemplares de 87 micras por ejemplo.



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

6. Las discontinuidades medidas en su ancho oscilan entre #0,669 mm en su mayor desarrollo bajando a filetes de apenas #0,097mm.
7. Hay presencia de cuarzos criptocristalinos que solo alcanzan 23 micras en su dimensión mayor.
8. Llama la atención la rotura perigranular de los individuos de calcedonia, mineral este muy frágil.

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.

Índice litomineralógico del testigo *PGSM 50*



Composición del agregado:

Basaltos: No se observaron

2- Cuarzo criptocristalino. *Potencialmente reactivo-RAS*

3- Hematitas y magnetitas. *Baja resistencia a la compresión*

4- Calcedonia radial. *Potencialmente reactiva-RAS. Con signos de trituración frágil*

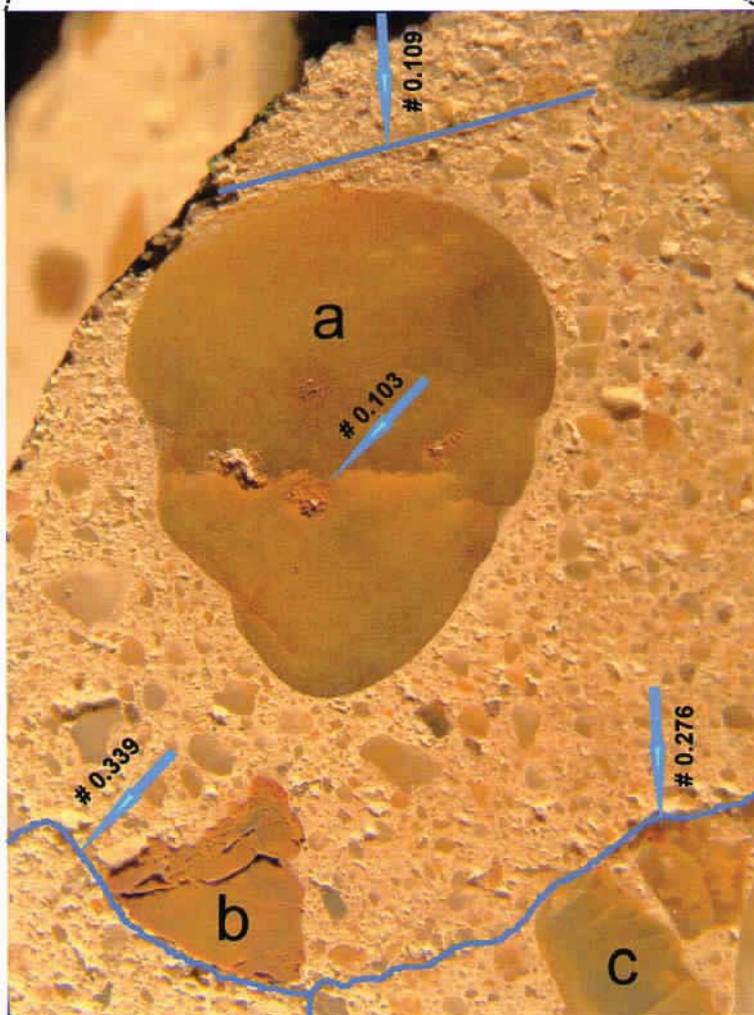
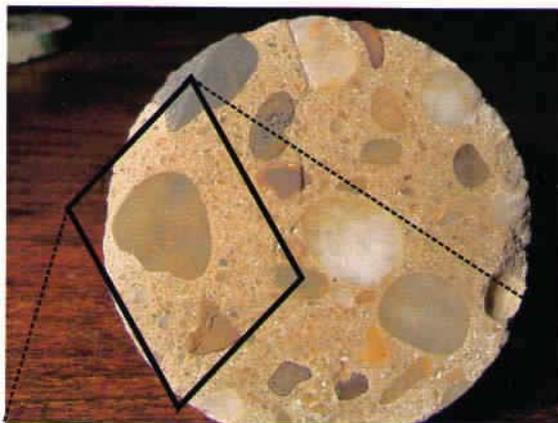
5- Calcedonia masiva. *Potencialmente reactiva-RAS. Visiblemente triturada por su fragilidad*

Areniscas: No se observaron



Visulización de partículas trituradas por su fragilidad

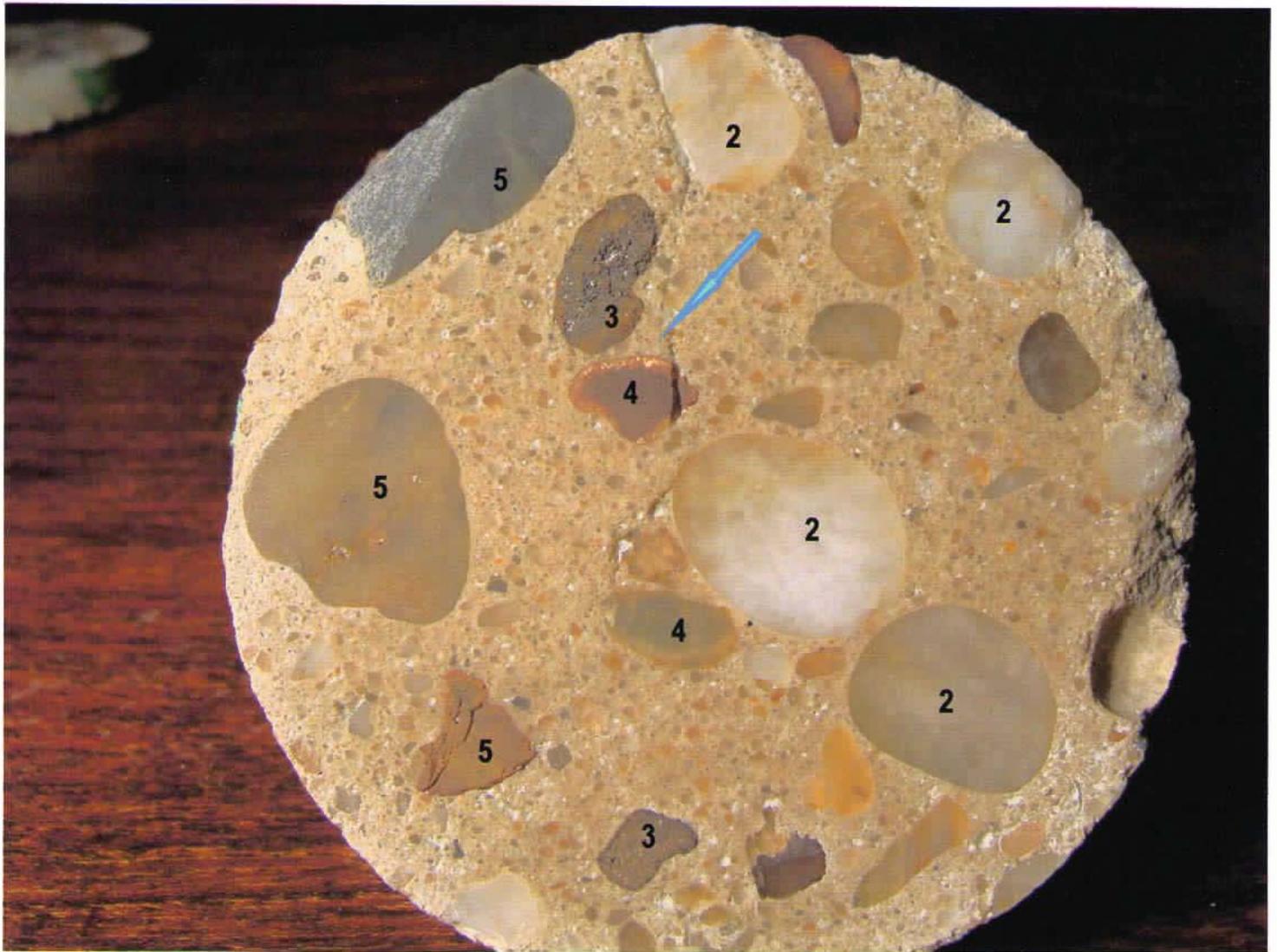
PGSM 50



En la fotografía ampliada es posible observar tres individuos triturados favorecidos naturalmente por su fragilidad. a) Calcedonia masiva. Este individuo está visiblemente cruzado por una microfisura producto de presiones que teniendo en cuenta la fragilidad de la calcedonia, la rompe. En b), las roturas son más marcadas que en "a" y en el perigrano es posible observar una microfisuración que también rodea a la calcedonia radiada y muy triturada, en parte pulverizada "c". Las discontinuidades están sobresaltadas en azul.



Indice litomineralógico del testigo PGSM 50



Composición del agregado:

Basaltos: No se observaron

2- Cuarzo criptocristalino. *Potencialmente reactivo-RAS*

3- Hematitas y magnetitas. *Baja resistencia a la compresión*

4- Calcedonia radial. *Potencialmente reactiva-RAS. Con signos de trituración frágil*

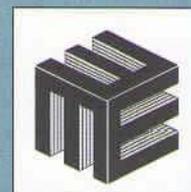
5- Calcedonia masiva. *Potencialmente reactiva-RAS. Visiblemente triturada por su fragilidad*

Areniscas: No se observaron





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:

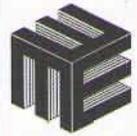
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS
U.N.C.


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 (mm) | Relación | Coef. | Secc. |
|----------------------------|----------|------------------|--------|----------------|-----------------------|------------|-------|-----------------|
| S/LABO | S/SOLIC. | S/SOLIC: | (mm) | (mm) | H (mm) | H / ϕ | K | cm ² |
| 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.

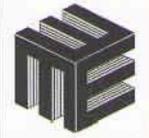
| Identificación de testigos | | Fecha de ensayo | CARGA DE ROTURA | | TENSION DE ROTURA | | TENSION CORREGIDA | |
|----------------------------|----------|-----------------|-----------------|------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| S/LABO | S/SOLIC. | | 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.

Patricia A. 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.




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 PLGSM





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. Resumen de ensayos no destructivos realizados al PLGSM

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

2. Medición del Recubrimiento (Pachometría)

2.1. Infraestructura

| Recubrimientos Medidos - Infraestructura PLGSM | | | |
|---|-------------|------------------------|--------------|
| Pto. (Pila) | Rec. Medido | Pto. (Pila) | Rec. Medido |
| 1 (1) | 1,40 | 7 (19) | 3,10 |
| 2 (2) | 3,00 | 8 (20) | 2,90 |
| 3 (3) | 3,00 | 9 (21) | 3,10 |
| 4 (4) | 3,70 | 10 (29) | 3,00 |
| 5 (17) | 3,10 | 11 (57) | 1,90 |
| 6 (18) | 3,10 | | |
| | | Prom. | 3,18 |
| | | S | 0,295 |
| | | Coef. Variación | 0,093 |

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

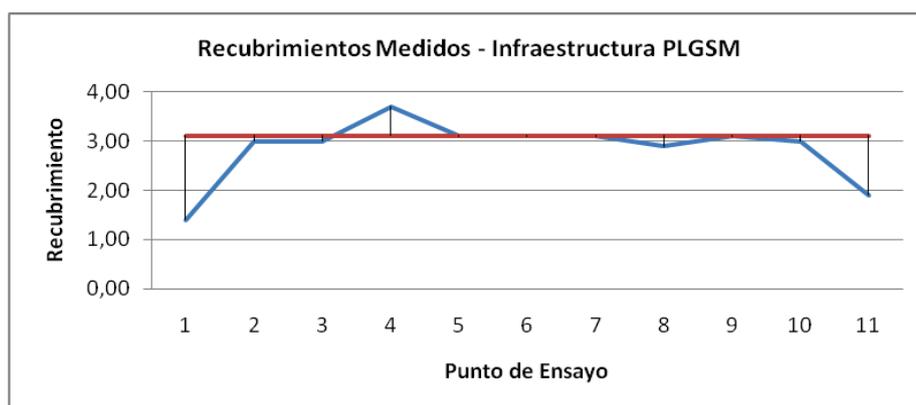


Ilustración 1. Grafica de los valores de recubrimiento medidos en la infraestructura del PLGSM, correspondiente a los valores de la Tabla 1. La línea roja de la grafica indica el promedio de la muestra.



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”

2.2. Superestructura

| Recubrimientos Medidos - Superestructura PLGSM | | | | | | | |
|--|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| Pto. (Tramo) | Rec. Medido | Pto. (Tramo) | Rec. Medido | Pto. (Tramo) | Rec. Medido | Pto. (Tramo) | Rec. Medido |
| 1 (1) | 1,50 | 12 (20) | 2,10 | 23 (29) | 2,00 | 34 (46) | 1,60 |
| 2 (1) | 1,90 | 13 (22) | 1,90 | 24 (31) | 2,10 | 35 (47) | 1,80 |
| 3 (4) | 1,50 | 14 (23) | 2,00 | 25 (32) | 2,20 | 36 (48) | 2,00 |
| 4 (4) | 1,80 | 15 (23) | 1,90 | 26 (34) | 2,00 | 37 (49) | 2,10 |
| 5 (10) | 2,10 | 16 (24) | 2,20 | 27 (35) | 2,00 | 38 (50) | 2,00 |
| 6 (10) | 1,90 | 17 (24) | 1,50 | 28 (37) | 2,10 | 39 (51) | 2,00 |
| 7 (13) | 1,80 | 18 (25) | 2,10 | 29 (38) | 2,20 | 40 (52) | 1,90 |
| 8 (14) | 1,90 | 19 (25) | 1,80 | 30 (40) | 1,90 | 41 (53) | 2,00 |
| 9 (16) | 1,90 | 20 (26) | 1,90 | 31 (41) | 2,10 | 42 (54) | 2,20 |
| 10 (17) | 2,00 | 21 (28) | 2,90 | 32 (43) | 1,80 | 43 (55) | 2,10 |
| 11 (19) | 2,00 | 22 (28) | 1,90 | 33 (44) | 1,90 | 44 (56) | 2,10 |
| Prom. | | | | | | | 1,968 |
| S | | | | | | | 0,228 |
| Coef. Variación | | | | | | | 0,116 |

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

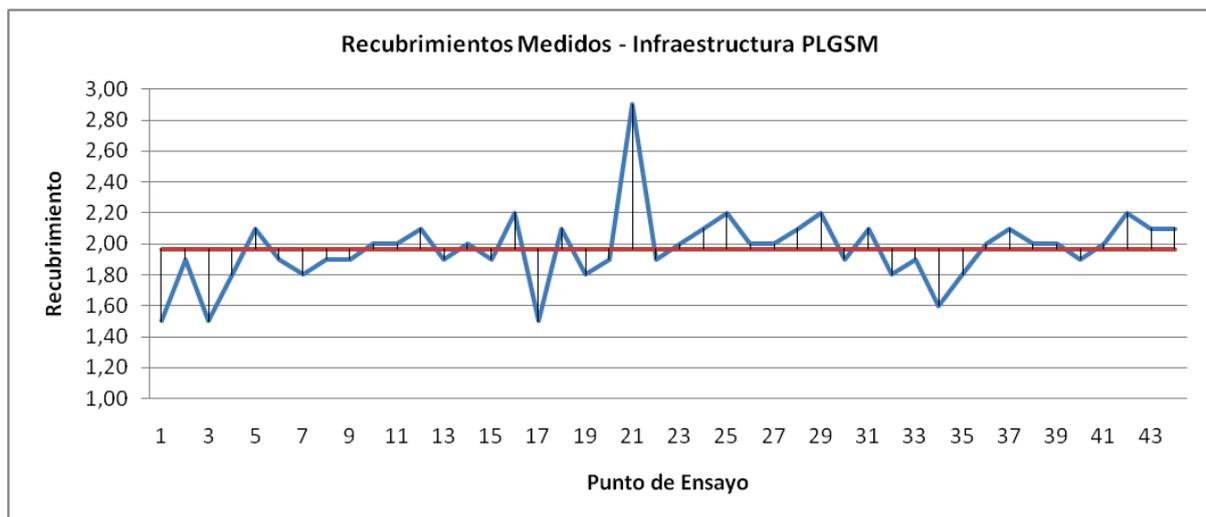


Ilustración 2. Grafica de los valores de recubrimiento medidos en la infraestructura del PLGSM, correspondiente a los valores de la Tabla 2. La línea roja de la grafica indica el promedio de la muestra.



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”

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

3.1. Infraestructura

| Velocidades Medidas - Infraestructura PLGSM - Pilas Pantallas | | | | |
|--|----------------|--------------|------------------------|-------------|
| Pto. | Vel. Medida | Pto. | Vel. Medida | |
| 1 (pila 2) | 4138 | 11(pila 20) | 4672 | |
| 2 (pila 2) | 4138 | 12 (pila 21) | 4662 | |
| 3 (pila 3) | 4718 | 13 (pila 21) | 4736 | |
| 4(pila 3) | 4673 | 14 (pila 23) | 4294 | |
| 5 (pila 4) | 4575 | 15 (pila 23) | 4241 | |
| 6 (pila 4) | 4561 | 16 (pila 24) | 4283 | |
| 7 (pila 17) | 4196 | 17 (pila 24) | 4138 | |
| 8 (pila 18) | 4291 | 18 (pila 25) | 4283 | |
| 9 (pila 18) | 4323 | 19 (pila 25) | 4376 | |
| 10 (pila 20) | 4476 | 20 (pila 29) | 4704 | |
| | | | Prom. | 4409 |
| | | | S | 220 |
| | | | Coef. Variación | 0.05 |

Tabla 3. Tabla resumen de velocidades de propagación de onda medidas en la infraestructura del PLGSM – Pilas Pantalla. Los valores resaltados corresponden a los máximos y mínimos.

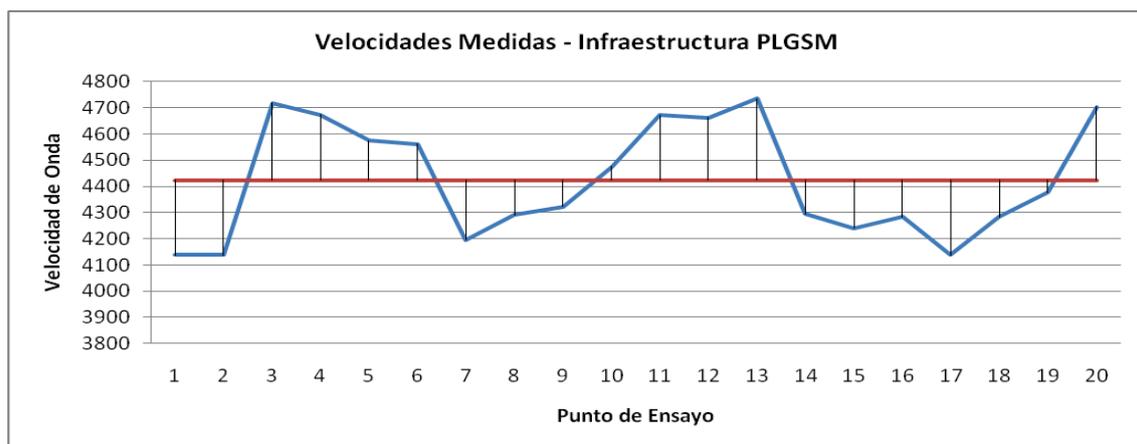


Ilustración 3. Grafica de los valores de propagación de onda medias en la infraestructura del PLGSM – Pilas Pantalla, correspondiente a los valores de la Tabla 3. La línea roja de la grafica indica el promedio de la muestra.



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”

| Velocidades Medidas - Infraestructura PLGSM Pilas con Columnas | |
|---|--------------------|
| Pto. | Vel. Medida |
| 1 (pila 30) | 3811 |
| 2 (pila 32) | 3823 |
| 3 (pila 34) | 3597 |
| 5 (pila 36) | 4054 |
| 6 (pila 38) | 3422 |
| 7 (pila 39) | 3960 |
| 8 (pila 39) | 4046 |
| 9 (pila 42) | 3657 |
| 10 (pila 42) | 3902 |
| 11 (pila 45) | 3670 |
| 12 (pila 47) | 3456 |
| Prom. | 3763 |
| S | 221 |
| Coef. Variación | 0,06 |

Tabla 4. Tabla resumen de velocidades de propagación de onda medidas en la infraestructura del PLGSM – Pilas con Columnas. Los valores resaltados corresponden a los máximos y mínimos.

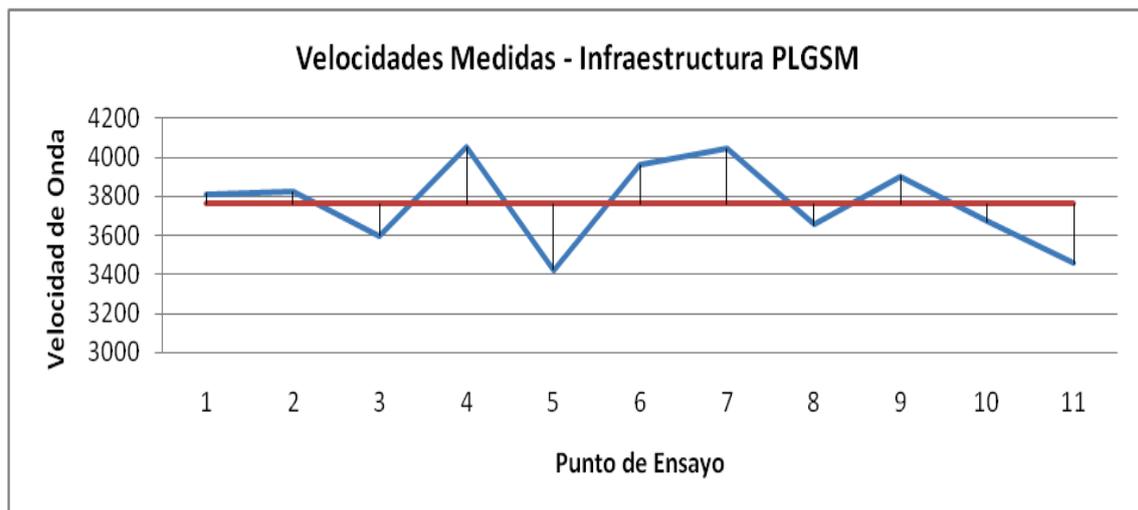


Ilustración 4. Grafica de los valores de propagación de onda medias en la infraestructura del PLGSM – Pilas con Columnas, correspondiente a los valores de la Tabla 4. La línea roja de la grafica indica el promedio de la muestra.

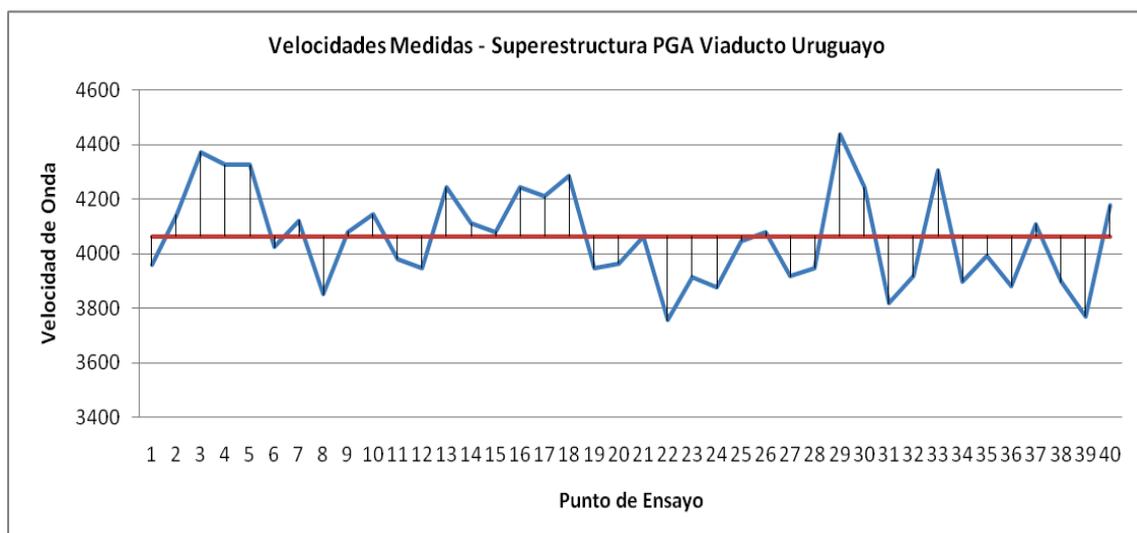


Obra: “Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay”

3.2. Superestructura

| Velocidades Medidas - Superestructura PLGSM - Viaductos | | | | | | | |
|---|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|------------------------|-------------|
| Pto. | Vel. Medida | Pto. | Vel. Medida | Pto. | Vel. Medida | Pto. | Vel. Medida |
| 1 (tramo 1) | 3957 | 12(tramo 23) | 3948 | 23 (cabezal 29) | 3755 | 34 (tramo 44) | 4307 |
| 2 (tramo 1) | 4142 | 13 Cabezal 23) | 4046 | 24 (cabezal 29) | 3915 | 35 (tramo 46) | 3899 |
| 3 (tramo 1) | 4373 | 14 (tramo 24) | 4242 | 25 (cabezal 29) | 3875 | 36 (tramo 47) | 3994 |
| 4 (Cabezal 2) | 4324 | 15 Cabezal 24) | 4111 | 26 (tramo 31) | 4046 | 37 (tramo 48) | 3882 |
| 5 (tramo 4) | 4326 | 16 (tramo 25) | 4079 | 27 (tramo 32) | 4079 | 38 (tramo 49) | 4108 |
| 6 (Cabezal 5) | 4025 | 17 (Cabezal 25) | 4242 | 28 (tramo 34) | 3916 | 39 (tramo 50) | 3897 |
| 7 (tramo 14) | 4120 | 18 (tramo 26) | 4210 | 29(tramo 35) | 3948 | 40 (tramo 51) | 3770 |
| 8 (tramo 17) | 3851 | 19 (Cabezal 26) | 4286 | 30 (tramo 37) | 4438 | 41 (tramo 54) | 4177 |
| 9 (cabezal 17) | 4079 | 20 (tramo 28) | 3948 | 31 (tramo 40) | 4242 | 42 (tramo 55) | 3750 |
| 10 (tramo 19) | 4144 | 21 (tramo 28) | 3965 | 32 (tramo 41) | 3818 | 43 (tramo 56) | 4432 |
| 11 Cabezal 20) | 3981 | 22 (tramo 29) | 4064 | 33 (tramo 43) | 3916 | 44 (tramo 56) | 4129 |
| | | | | | | Prom. | 4120 |
| | | | | | | S | 167 |
| | | | | | | Coef. Variación | 0,04 |

Tabla 5. Tabla resumen de velocidades de propagación de onda medidas en la superestructura del PLGSM– Viaductos. 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 PLGSM – Viaductos, correspondiente a los valores de la Tabla 5. La línea roja de la grafica indica el promedio de la muestra.

| Velocidades Medidas - Superestructura PLGSM Puente Principal | | | |
|---|-------------|------|-------------|
| Pto. | Vel. Medida | Pto. | Vel. Medida |
| 1 | 4165 | 11 | 4096 |
| 2 | 4335 | 12 | 4153 |
| 3 | 4248 | 13 | 4153 |
| 4 | 4056 | 14 | 4218 |
| 5 | 4056 | 15 | 4156 |
| 6 | 4196 | 16 | 4156 |
| 7 | 4196 | 17 | 4056 |
| 8 | 4305 | 18 | 4153 |
| 9 | 4269 | 19 | 4305 |
| 10 | 4269 | | |
| Prom. | | | 4210 |
| S | | | 96 |
| Coef. Variación | | | 0,02 |

Tabla 6. Tabla resumen de velocidades de propagación de onda medidas en la superestructura del PLGSM – Puente Principal. Los valores resaltados corresponden a los máximos y mínimos.

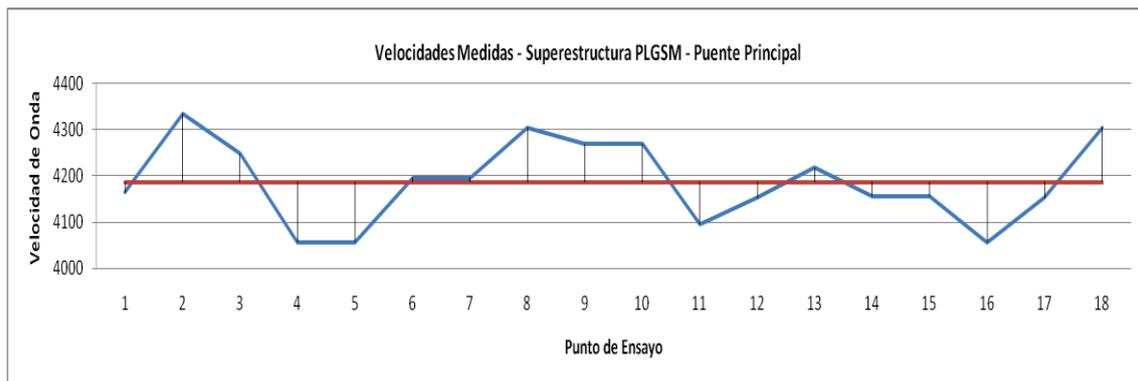


Ilustración 6. Grafica de los valores de propagación de onda medias en la superestructura del PLGSM – Puente Principal, correspondiente a los valores de la Tabla 6. La línea roja de la grafica indica el promedio de la muestra.



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 – PLGSM





Comisión Administradora del Río Uruguay

CARU

**Análisis Detallado de Nivelación de Tablero del
Puente Principal – Puente Libertador General San
Martín Conexión internacional Puerto Unzué
(Argentina) - Fray Bentos (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 PLGSM..... | 3 |
| 4. ESTIMACIÓN DE DEFORMACIONES DIFERIDAS EN EL TIEMPO DEBIDO A <i>CREEP</i> O FLUENCIA LENTA DEL HORMIGÓN | 6 |
| 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 Libertador General San Martín (PLGSM).

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 arribar a conclusiones sobre el estado general 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 PLGSM 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 PLGSM

Para la nivelación del tablero del puente principal del PLGSM 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”

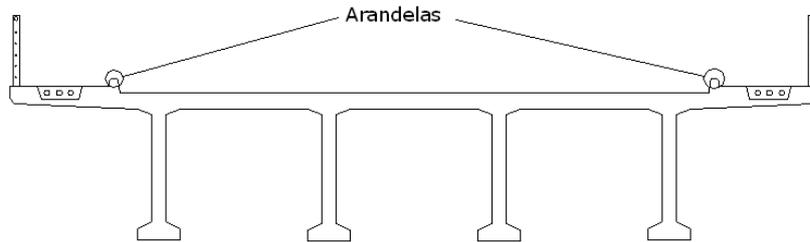


Figura 1. Esquema de la ubicación de los puntos fijos colocados sobre el tablero del PLGSM.

Sobre el puente principal se relevaron los niveles de las progresivas coincidentes con los ejes de las pilas principales (Pila 10 y Pila 11), los niveles de cuatro progresivas intermedias a los extremos de los voladizos y el eje de pilas principales, y los niveles del centro y extremos del tramo isostático central. De esta manera, se nivelaron 50 puntos sobre el puente principal del PLGSM. 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.

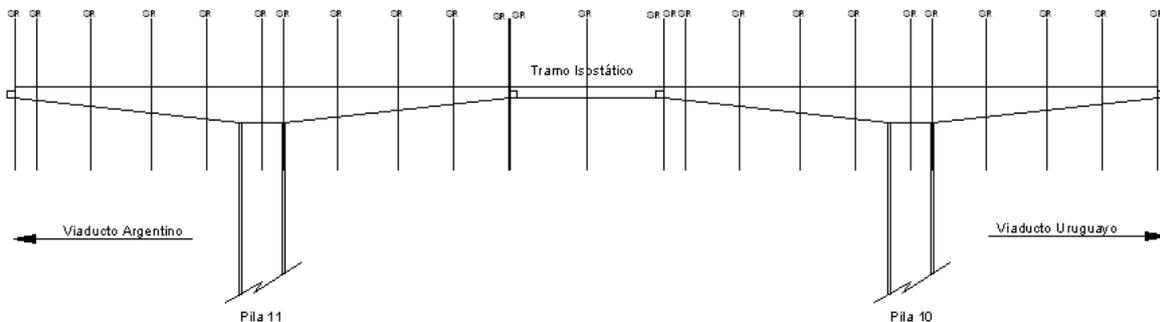


Figura 2. Esquema Puente Principal, se encuentran indicadas las secciones donde se tomaron mediciones de nivel.

En la Tabla 1 se presenta la nivelación realizada a la estructura del puente principal del PLGSM, 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.

| Punto | Progresiva | Cota de Rasante | Observaciones |
|-------|------------|-----------------|---------------|
| 520 | 4885,350 | 121.3348 | Junta Extrema |
| 521 | 4885,350 | 43,969 | Junta Extrema |





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 |
|-------|------------|-----------------|---------------|
| 530 | 4864,518 | 43,958 | |
| 531 | 4864,686 | 44,740 | |
| 540 | 4844,112 | 44,740 | |
| 541 | 4844,318 | 45,360 | |
| 550 | 4823,635 | 45,358 | |
| 551 | 4824,153 | 45,889 | |
| 560 | 4803,443 | 45,878 | |
| 561 | 4803,505 | 46,369 | |
| 570 | 4796,350 | 46,365 | Pila 10 |
| 571 | 4796,350 | 46,503 | Pila 10 |
| 580 | 4782,055 | 46,515 | |
| 581 | 4782,233 | 46,719 | |
| 590 | 4761,709 | 46,729 | |
| 591 | 4761,966 | 46,940 | |
| 600 | 4741,576 | 46,940 | |
| 601 | 4741,530 | 47,092 | |
| 610 | 4721,112 | 47,081 | |
| 611 | 4721,556 | 47,164 | |
| 620 | 4707,299 | 47,152 | Junta |
| 621 | 4707,467 | 47,138 | Junta |
| 630 | 4706,038 | 47,140 | Junta |
| 631 | 4706,073 | 47,133 | Junta |
| 640 | 4686,350 | 47,137 | Eje del PP |
| 641 | 4686,350 | 47,202 | Junta |
| 650 | 4666,000 | 47,176 | Junta |
| 651 | 4666,000 | 47,254 | Junta |
| 660 | 4665,700 | 47,253 | Junta |
| 661 | 4665,700 | 47,258 | |
| 670 | 4644,644 | 47,255 | |
| 671 | 4644,664 | 47,277 | |
| 680 | 4624,265 | 47,252 | |
| 681 | 4624,453 | 47,109 | |
| 690 | 4603,990 | 47,090 | |
| 691 | 4603,521 | 46,887 | |
| 700 | 4583,573 | 46,864 | |
| 701 | 4583,548 | 46,588 | |
| 710 | 4576,350 | 46,590 | Pila 11 |
| 711 | 4576,350 | 46,465 | Pila 11 |
| 720 | 4562,231 | 46,460 | |
| 721 | 4562,535 | 46,218 | |
| 730 | 4542,016 | 46,190 | |
| 731 | 4541,870 | 45,756 | |
| 740 | 4521,504 | 45,716 | |
| 741 | 4521,244 | 45,208 | |
| 750 | 4500,935 | 45,200 | |
| 751 | 4501,081 | 44,603 | |





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 |
|-------|------------|-----------------|---------------|
| 760 | 4487,208 | 44,601 | Junta Extrema |
| 761 | 4487,223 | 44,110 | Junta Extrema |

Tabla 1. Nivelación actual del tablero del puente principal – PLGSM. 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 PLGSM 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 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 PLGSM). 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 35 tramos. En la Figura 3 se observa una imagen del modelo numérico desarrollado.

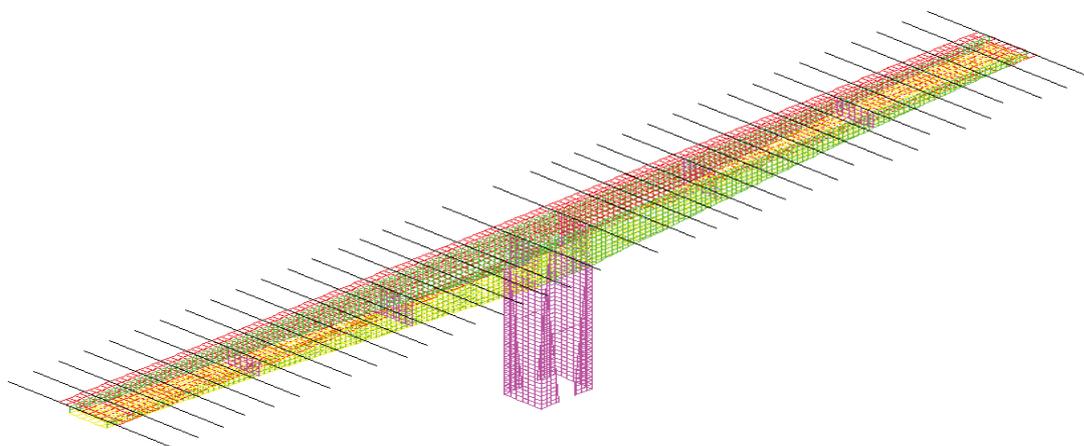


Figura 3. Modelo numérico desarrollado para el puente principal del PLGSM. Las líneas negras que se observan en el modelo representan las 36 secciones tomadas.

Las características de los cables de postesado se obtuvieron de los planos y memorias de cálculo del puente. Estos elementos son barras roscadas de 32 mm de diámetro, con una tensión de tesado inicial de 7000 kg/cm^2 . Se consideraron las pérdidas iniciales por fricción y las pérdidas por retracción y fluencia del hormigón. 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



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”

elevado módulo de elasticidad que presenta la estructura (4500000 tn/m^2 , valor obtenido en mediciones ultrasónicas, tal como se describe en el Informe de Evaluación del PLGSM).

Los resultados de la modelación numérica indican que podría esperarse una flecha a tiempo infinito de aproximadamente 15 cm en los extremos de los voladizos de las vigas cajón del puente principal.

5. Análisis de los resultados

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

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 la rasante al final de la construcción hubiera sido la de proyecto, y el perfil longitudinal del puente principal correspondiente a la nivelación realizada en el año 2000. En el gráfico se encuentran indicadas las diferencias de cota registradas entre las distintas nivelaciones.

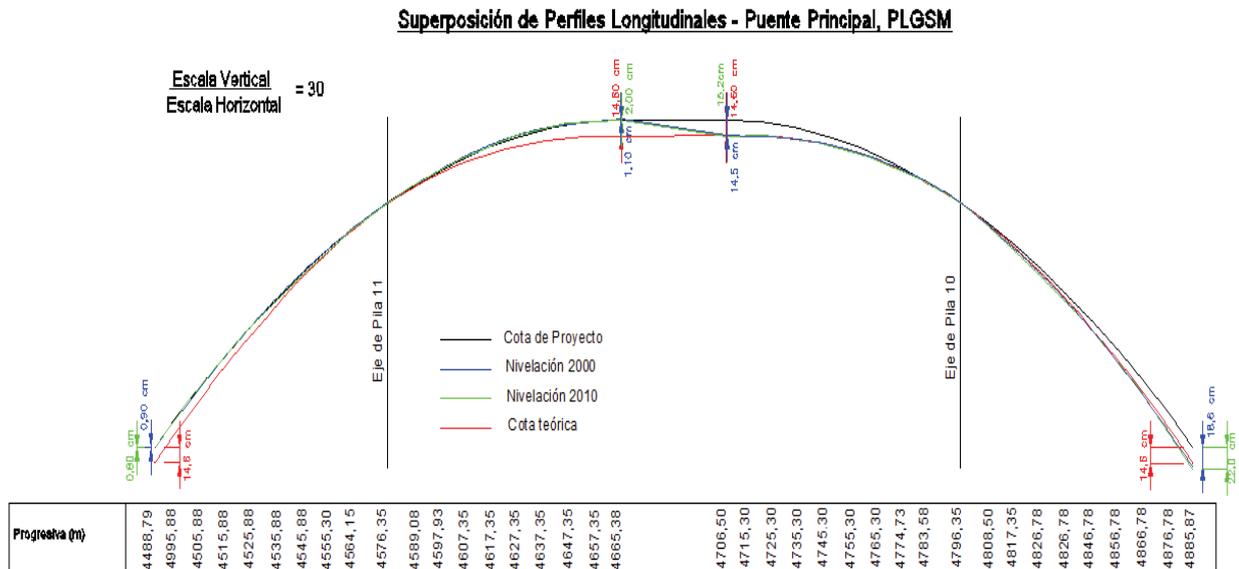


Figura 4. Superposición de Perfiles longitudinales

Para realizar la comparación de los diferentes perfiles se tomó como punto fijo la Pila 10, 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 actual y el perfil longitudinal correspondiente a la nivelación del año 2000, se observa una correspondencia casi exacta, mostrando una





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”

diferencia máxima de 3,4 cm en el extremo del voladizo del lado Uruguayo de la pila 10.

- Si se compara el perfil longitudinal de proyecto con las nivelaciones del 2000 y 2010, se observa que los extremos de la viga ménsula de la pila 10 presenta descensos con respecto a la misma, de 14,5 cm y 15,2 cm respectivamente para el voladizo del lado Argentino y 18,6 cm y 22,0 cm para el voladizo del lado Uruguayo. Estos resultados son consistentes con el comportamiento a tiempo infinito estimado con el modelo numérico del puente descrito anteriormente. El análisis de elementos finitos desarrollado indica que pueden esperarse descensos de los extremos de las vigas ménsulas, como consecuencia del fenómeno de fluencia lenta de la viga principal del puente. A pesar de que el comportamiento predicho es compatible con la nivelación, las magnitudes de flechas estimadas con el modelo son menores a las medidas. Esto podría indicar que parte de las diferencias de niveles (cotas de proyecto vs. cotas actuales) señaladas se deberían a imprecisiones del proceso constructivo. Esta conclusión se respalda en informes de inspecciones anteriores que indican la existencia de diferencias constructivas en la sección de arranque de la ménsula principal de la pila 10.
- Por otro lado, los extremos de los voladizos de la viga principal de la pila 11 mostraron diferencias negativas con respecto a las cotas de proyecto (los niveles actuales estarían por encima de los teóricos). La magnitud de esta diferencia es de -2,0 cm el extremo del lado Uruguayo y -0,8 cm el extremo del lado Argentino. Este comportamiento podría indicar que, a la luz de los problemas acaecidos durante la construcción de la pila 10 (se construyó antes que la pila 11, según los antecedentes analizados), se corrigieron algunos aspectos del proyecto de la viga principal y podría haberse dotado a la ménsula de la pila 11 de una contraflecha, lo que explicaría los niveles actuales.

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 PLGSM, 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 comparación de la nivelación del tablero del puente realizada con las nivelaciones existentes pone en evidencia diferencias originadas durante 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 y que se predijeron con éxito con los modelos numéricos elaborados en su momento.





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 acuerdo a estos análisis se concluye que las deformaciones diferidas en el tiempo por efecto de fluencia lenta se encontrarían estabilizadas, aunque en nivelaciones futuras podría surgir cambios en la flechas del puente, especialmente en los extremos de las vigas en ménsula.
- Cabe destacar que no se observaron en los distintos elementos que conforman el puente principal del PLGSM, fisuras, grietas o indicios de la ocurrencia de flechas significativas en el tablero, lo que concuerda con las estimaciones realizadas.
- La comparación de nivelaciones muestra que no habría descensos apreciables 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 PLGSM 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

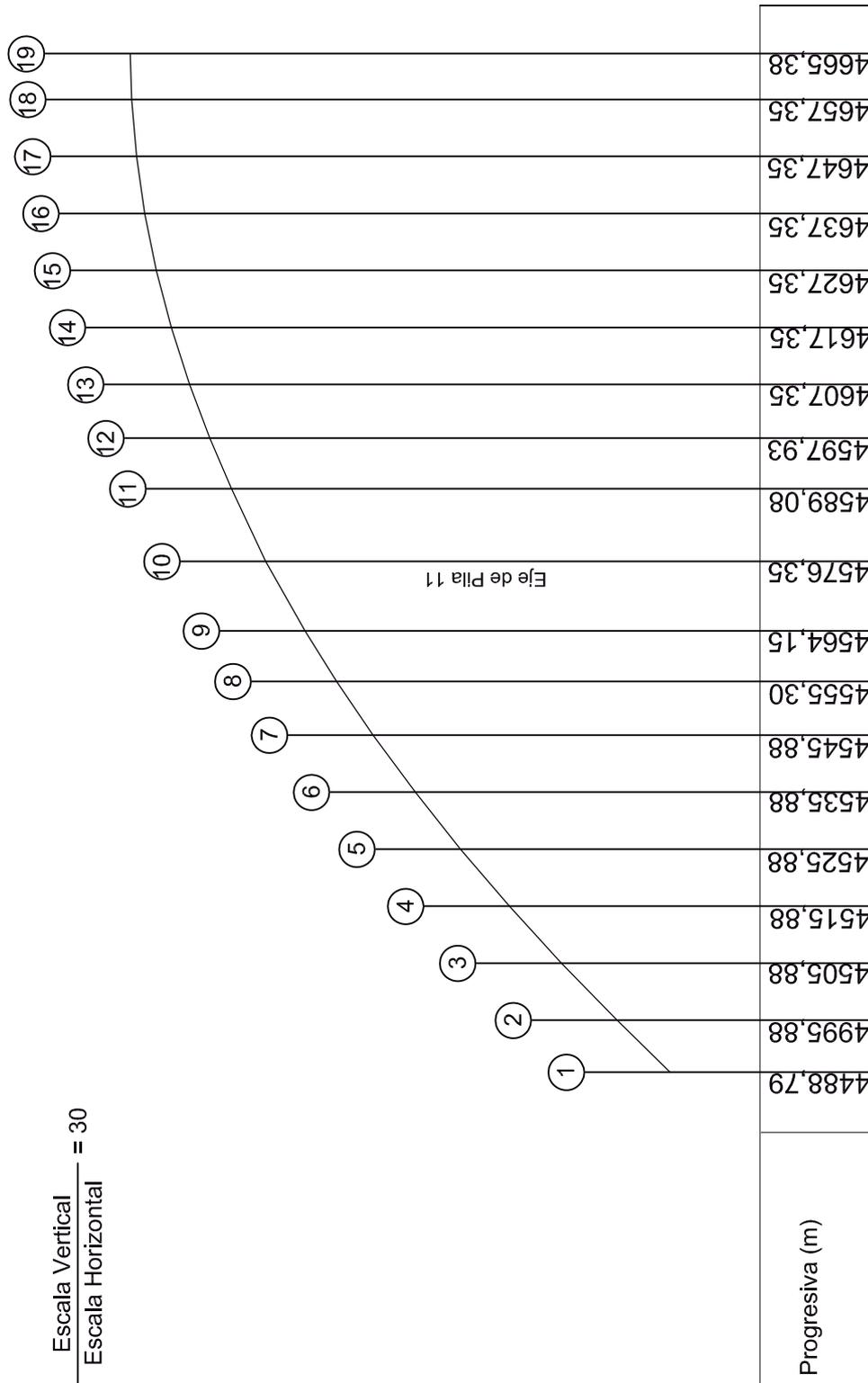
Perfiles Longitudinales de Nivelación





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, PLGSM

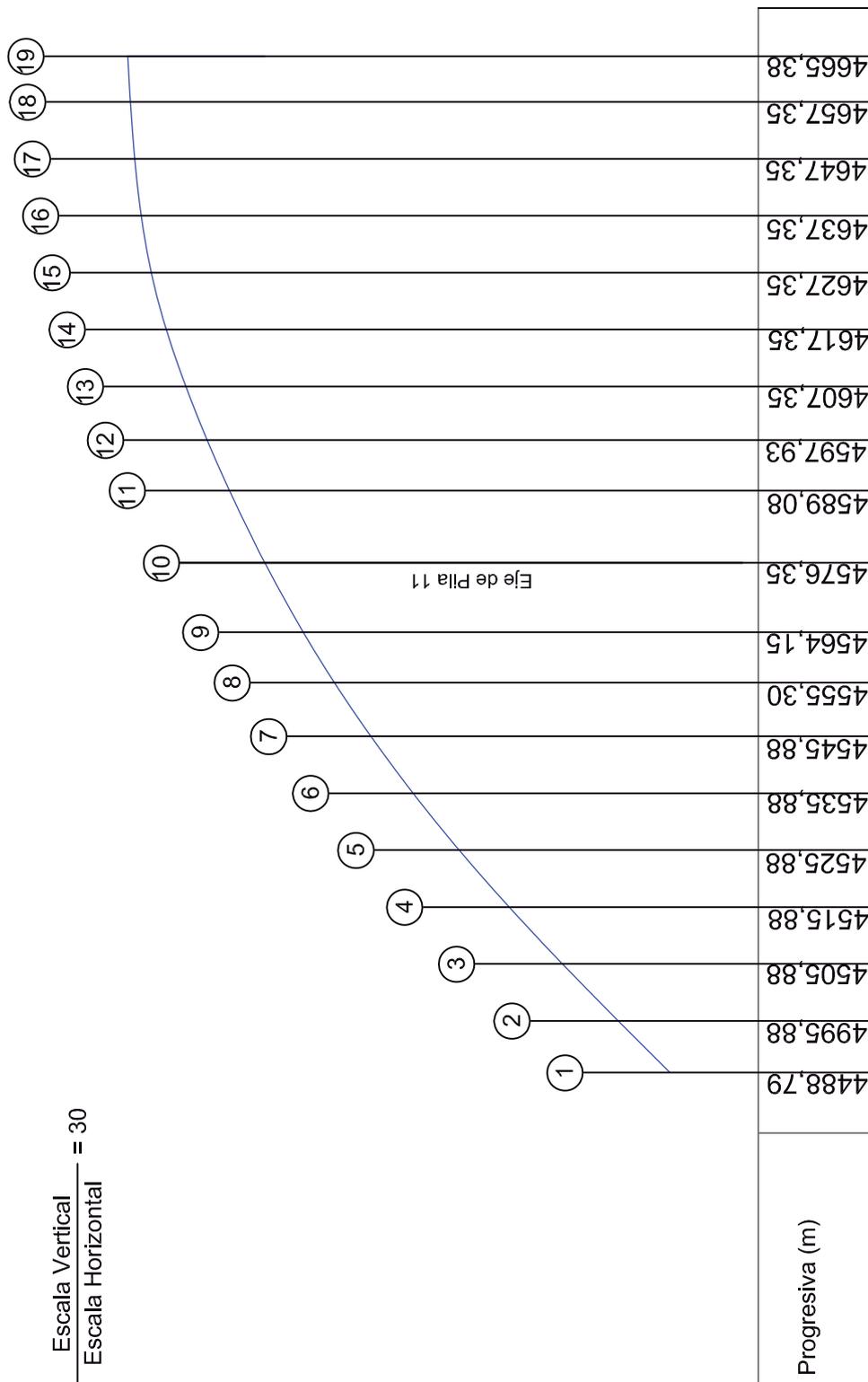




Obra: "Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay"

Perfil Longitudinal Año 2000 - Puente Principal, PLGSM

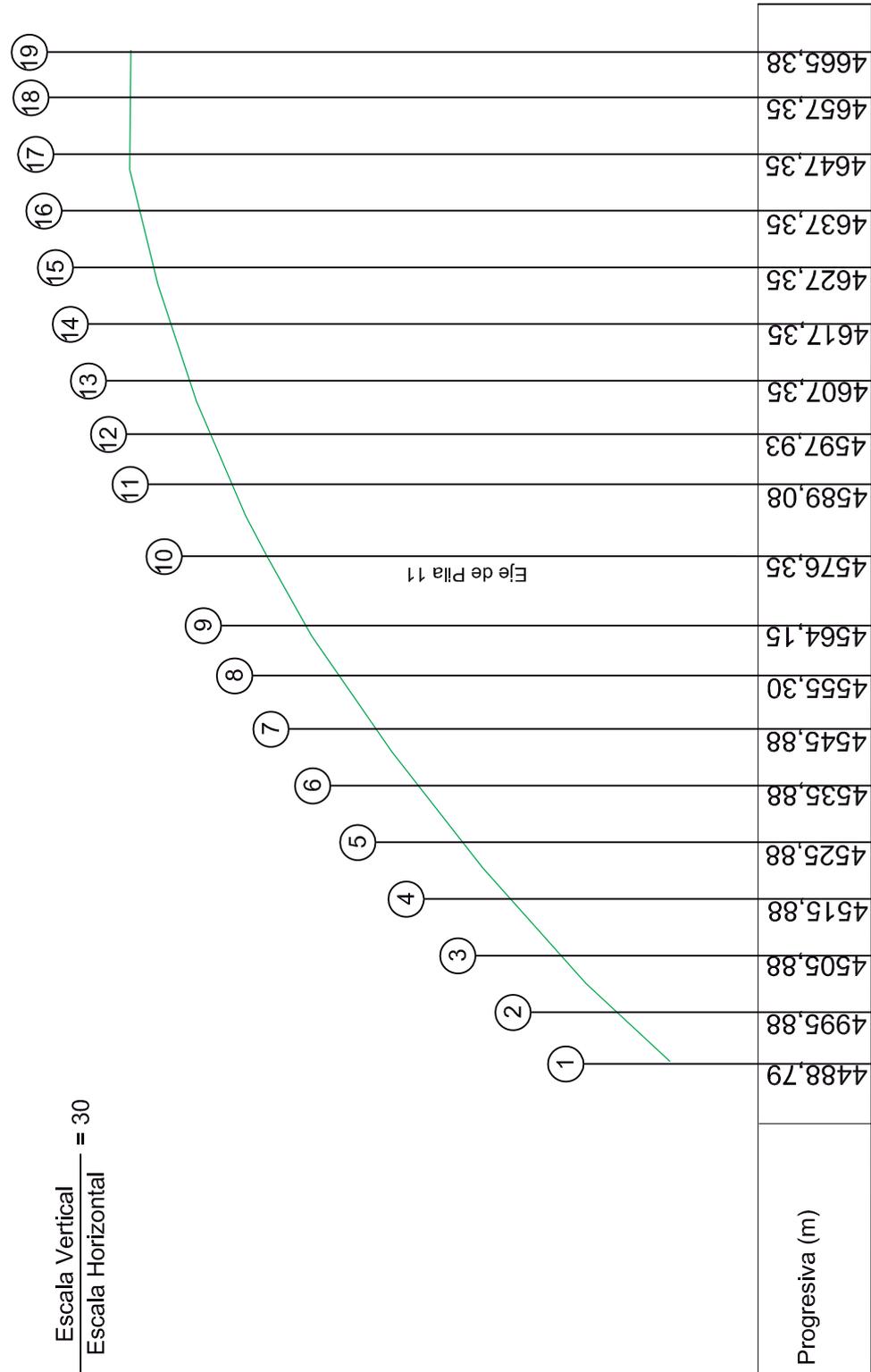
$$\frac{\text{Escala Vertical}}{\text{Escala Horizontal}} = 30$$





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 Año 2010 - Puente Principal, PLGSM

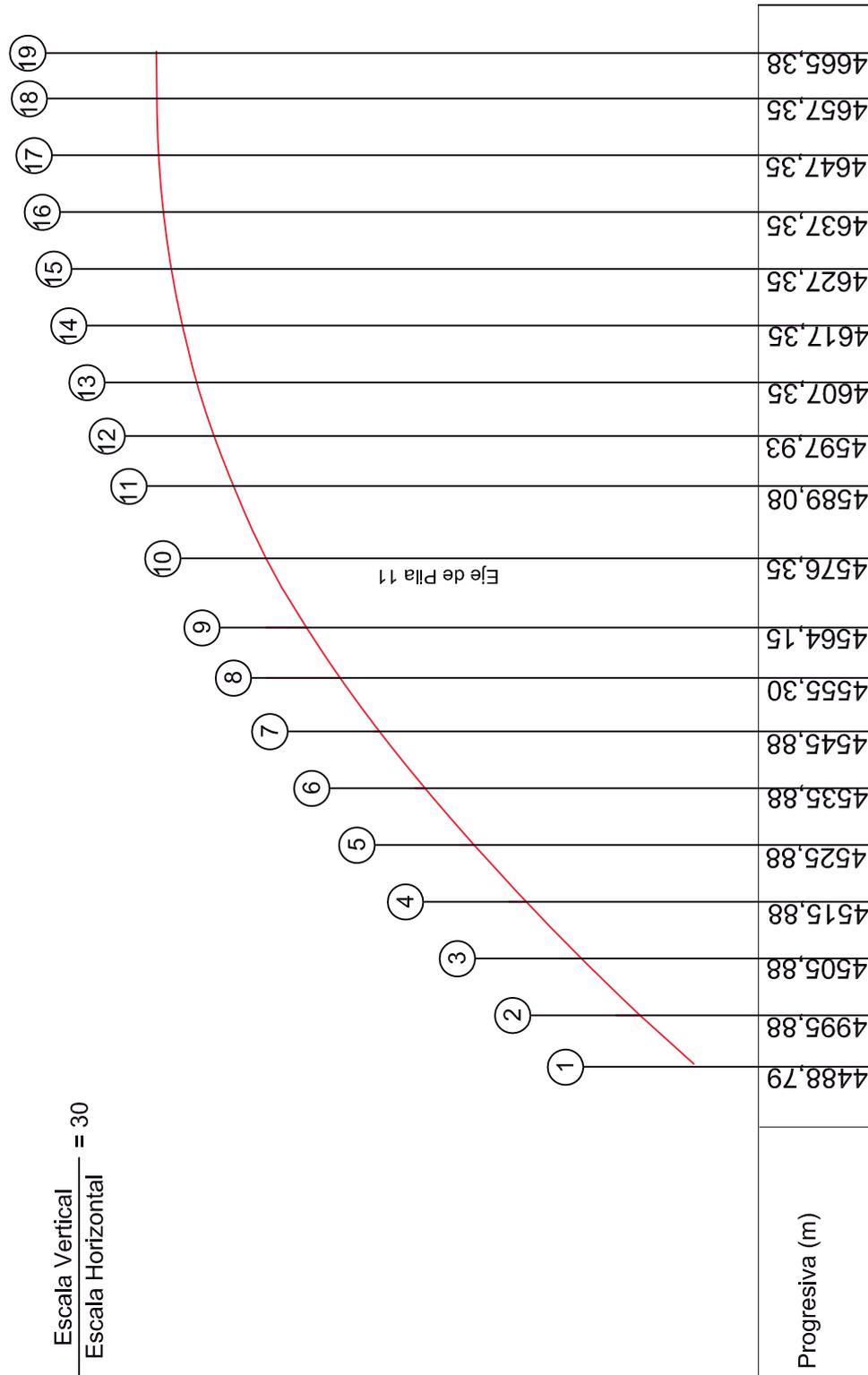




Obra: "Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay"

Perfil Longitudinal Teórico - Puente Principal, PLGSM

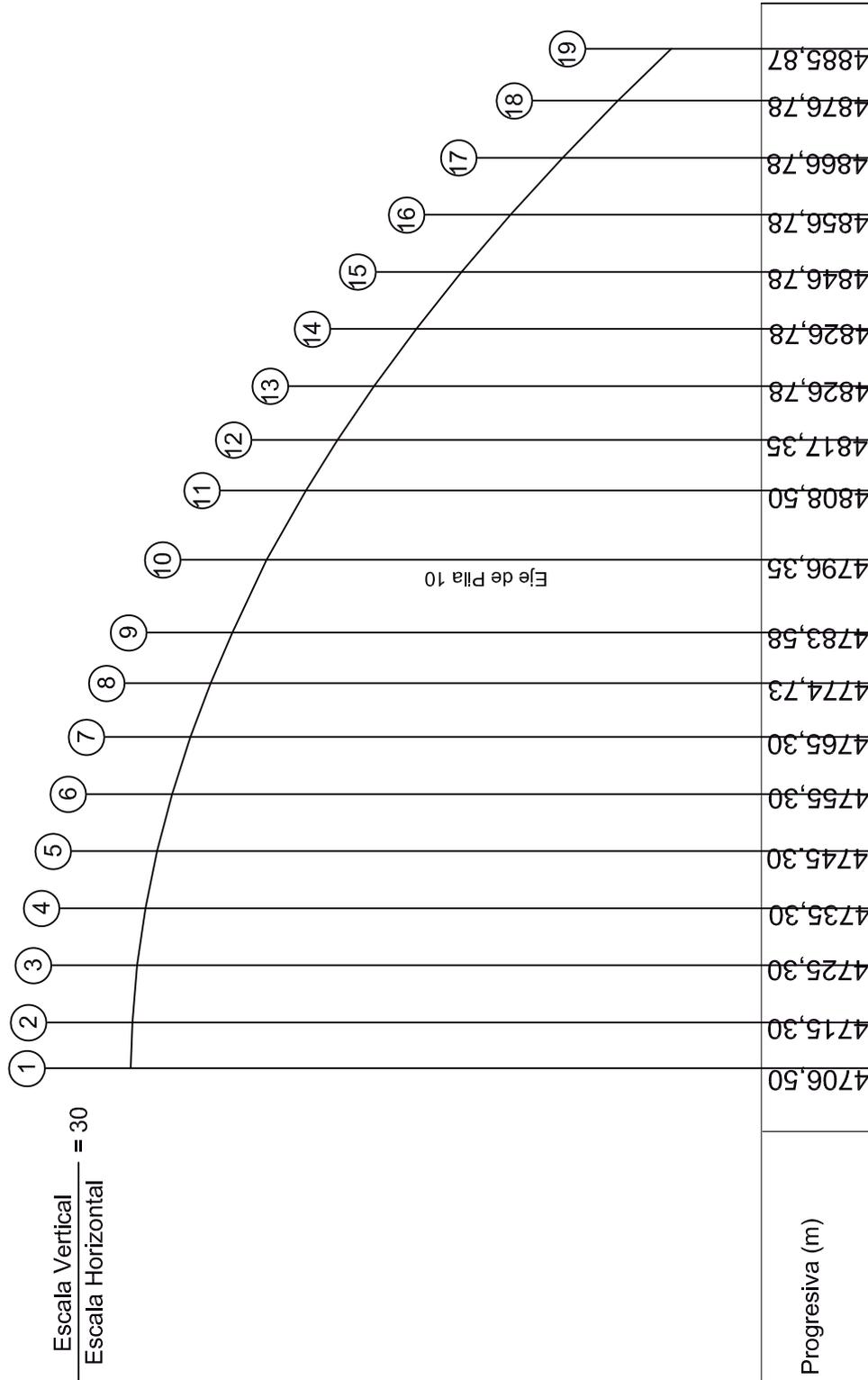
$$\frac{\text{Escala Vertical}}{\text{Escala Horizontal}} = 30$$





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"

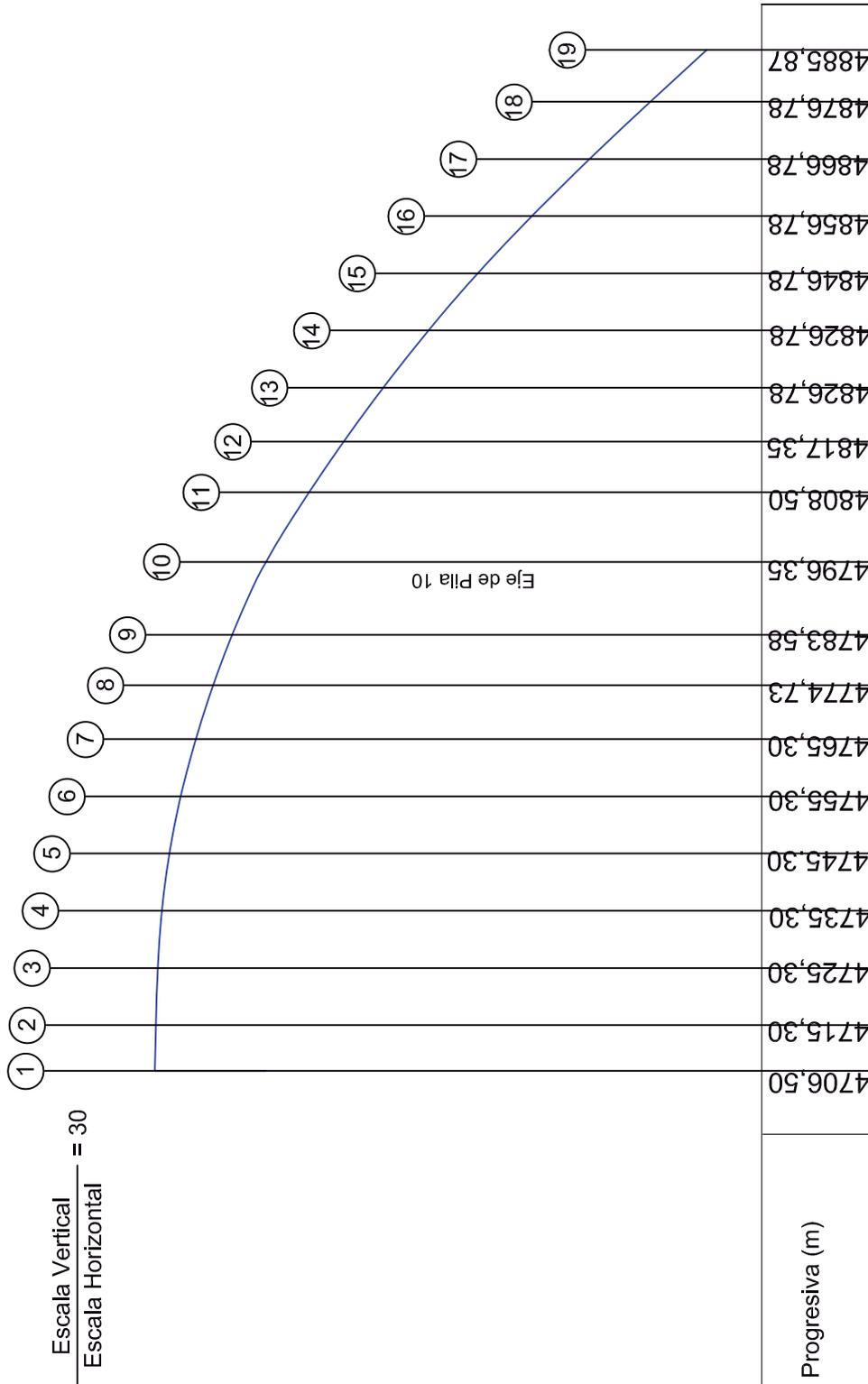
Perfil Longitudinal de Proyecto - Puente Principal, PLGSM





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"

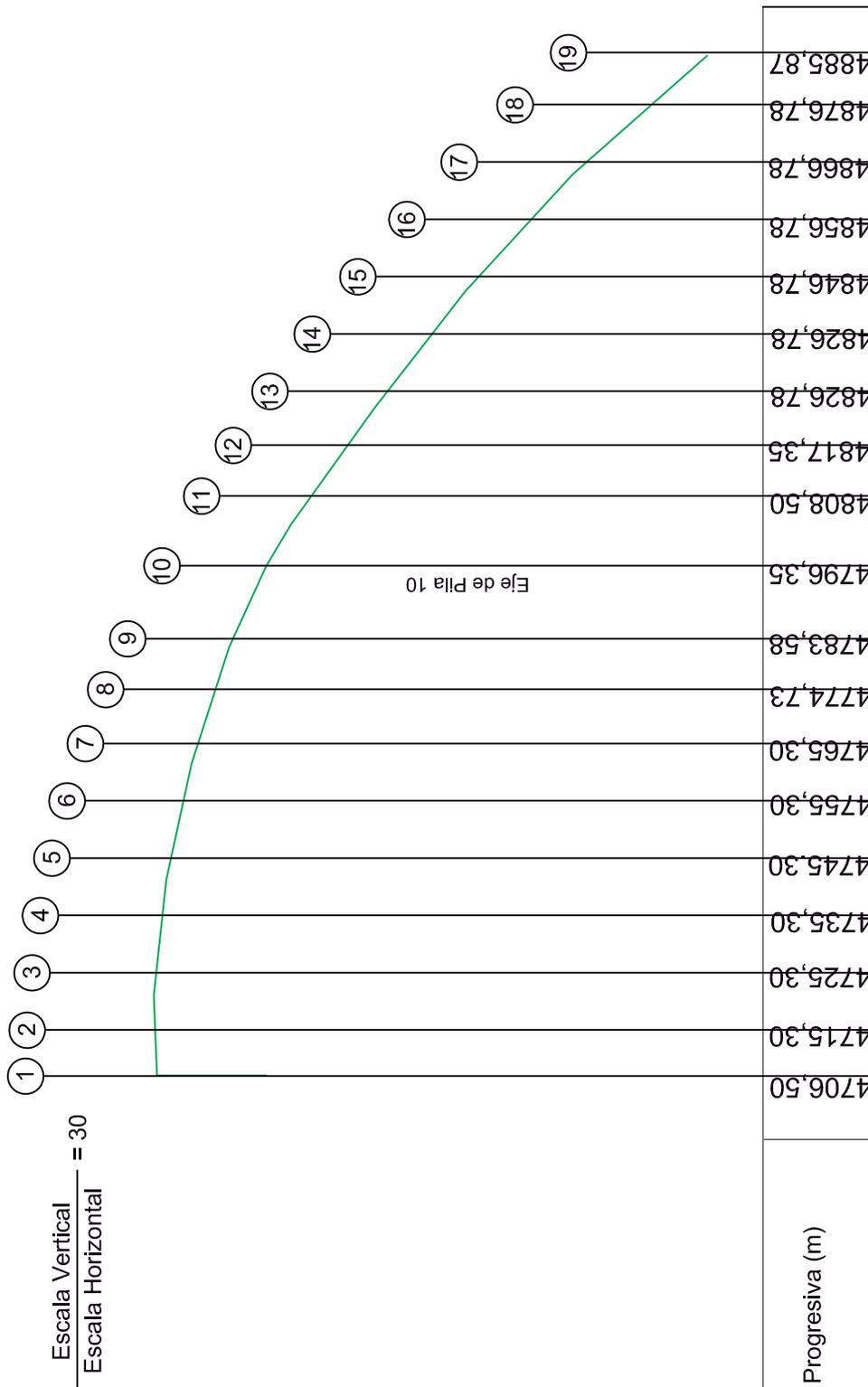
Perfil Longitudinal Año 2000 - Puente Principal, PLGSM





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"

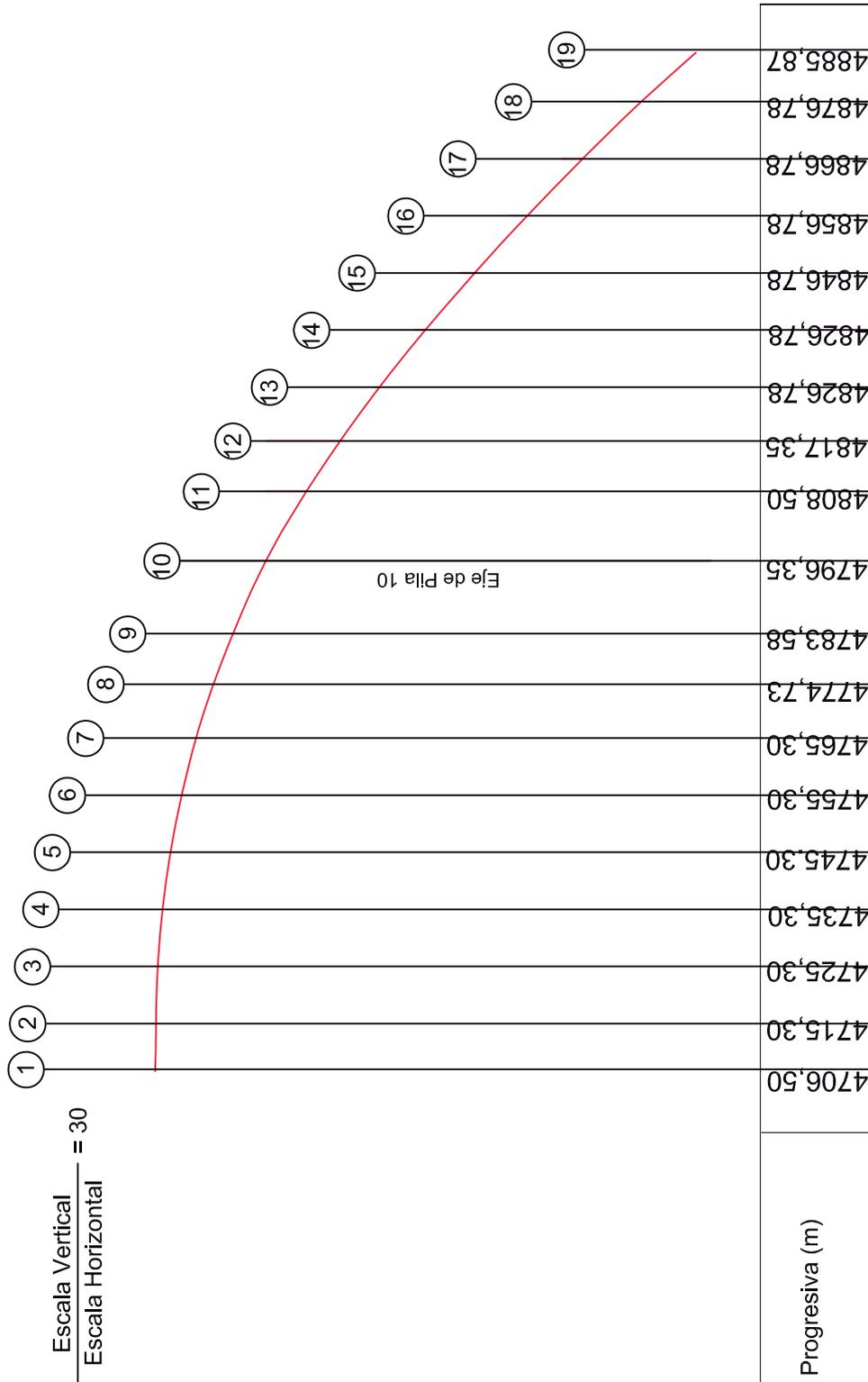
Perfil Longitudinal Año 2010 - Puente Principal, PLGSM





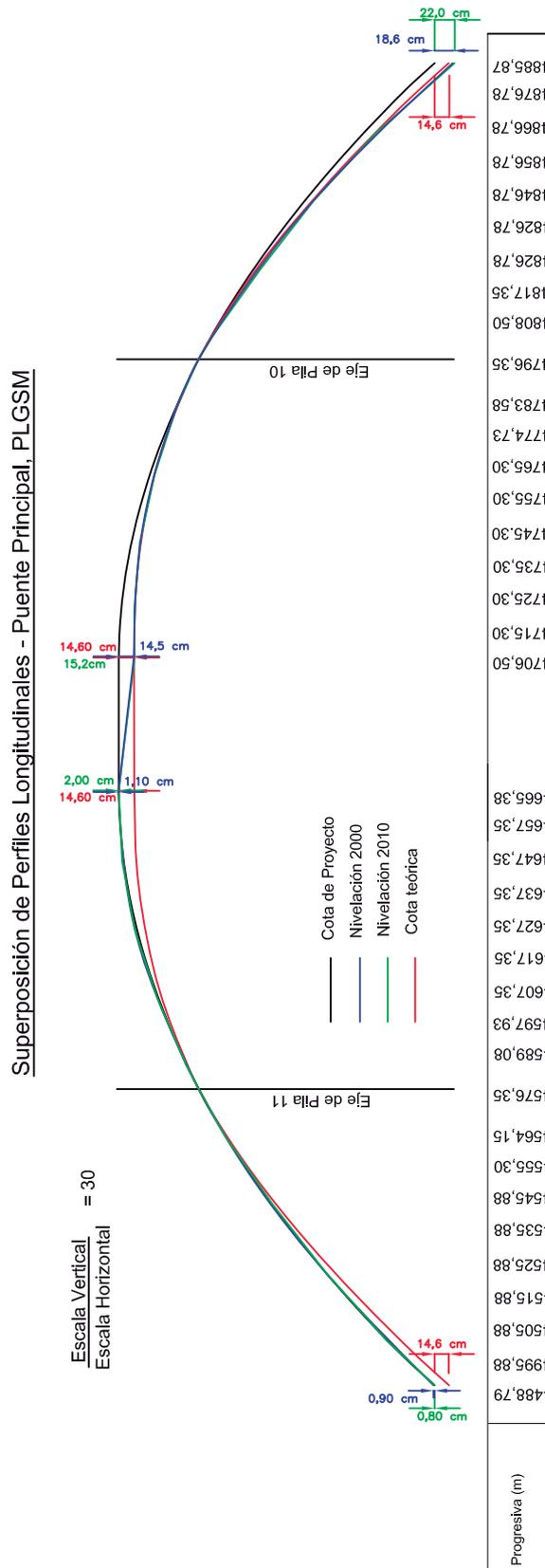
Obra: "Contratación de Servicios de Consultoría para realizar una inspección Principal de los Puentes General Artigas y Libertador Gral. San Martín, ambos sobre el río Uruguay u bajo la administración de la Comisión Administradora del Río Uruguay"

Perfil Longitudinal Teórico - Puente Principal, PLGSM





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"





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 PLGSM





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 del los registros obtenidos en el tablero del PLGSM

1.1 Puente Principal

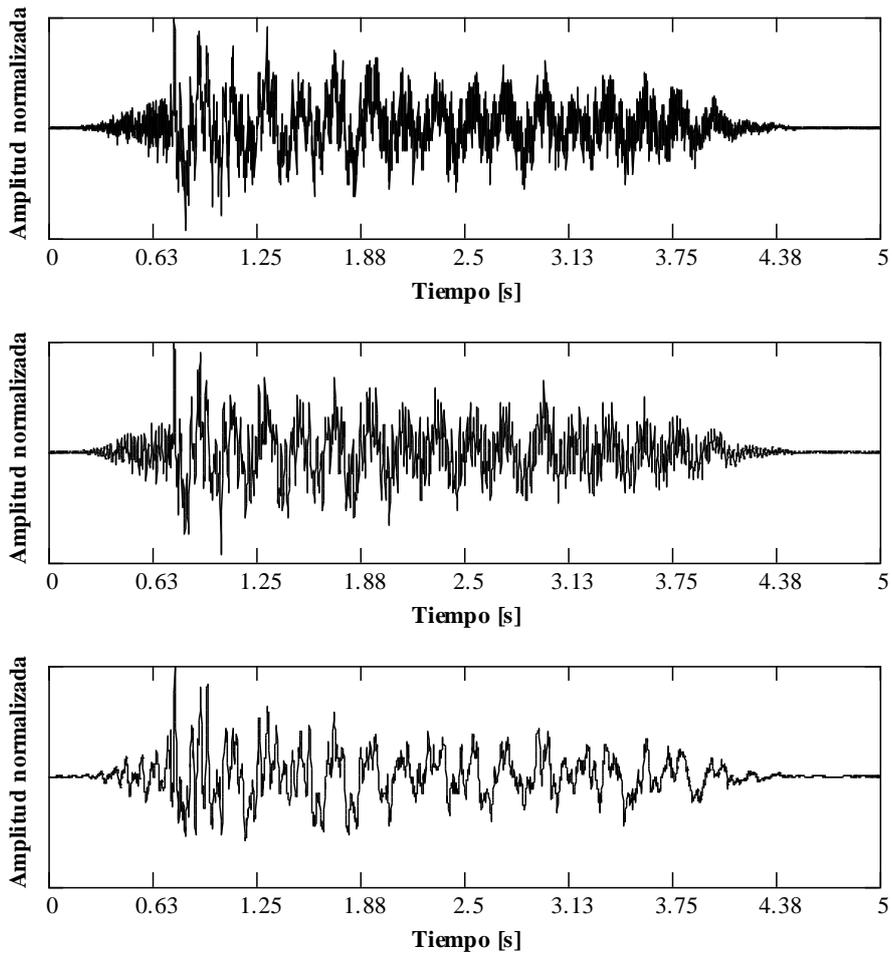


Figura 1. Acelerogramas registrados en la sección central del tramo isostático central, sobre el eje longitudinal del tablero, con impulsos centrados sobre el tablero



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”

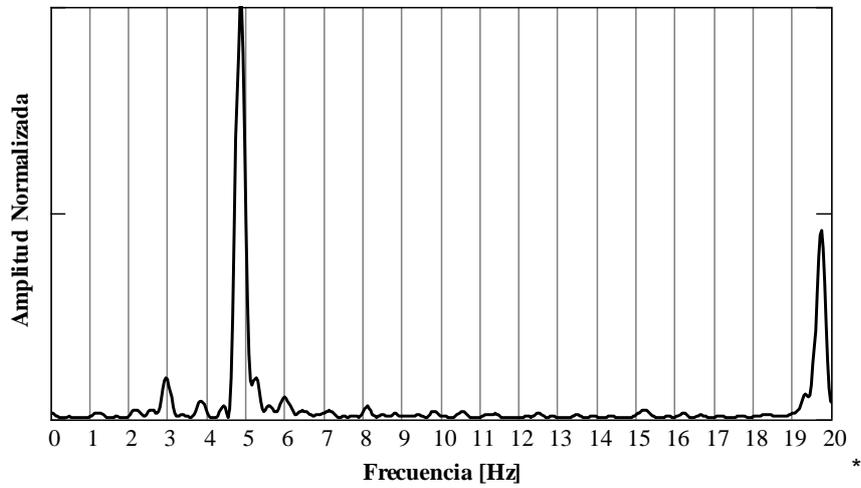


Figura 2. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 1

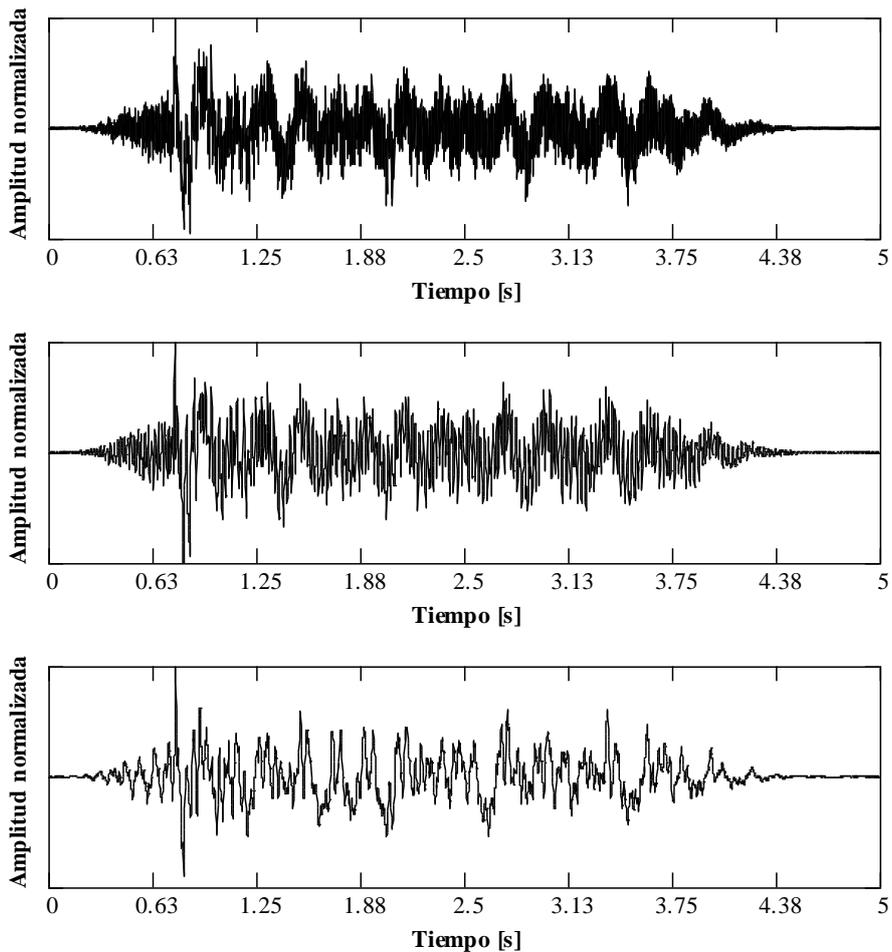


Figura 3. Acelerogramas registrados en la sección central del tramo isostático central, sobre el lateral de la viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

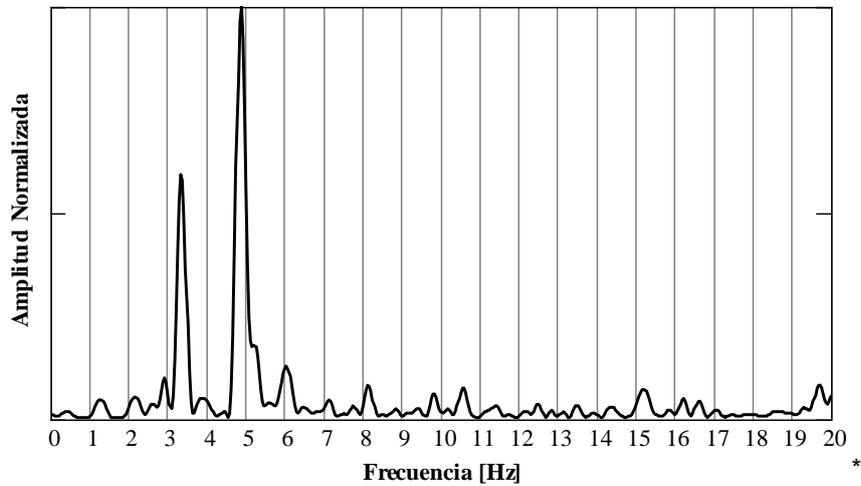


Figura 4. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 3

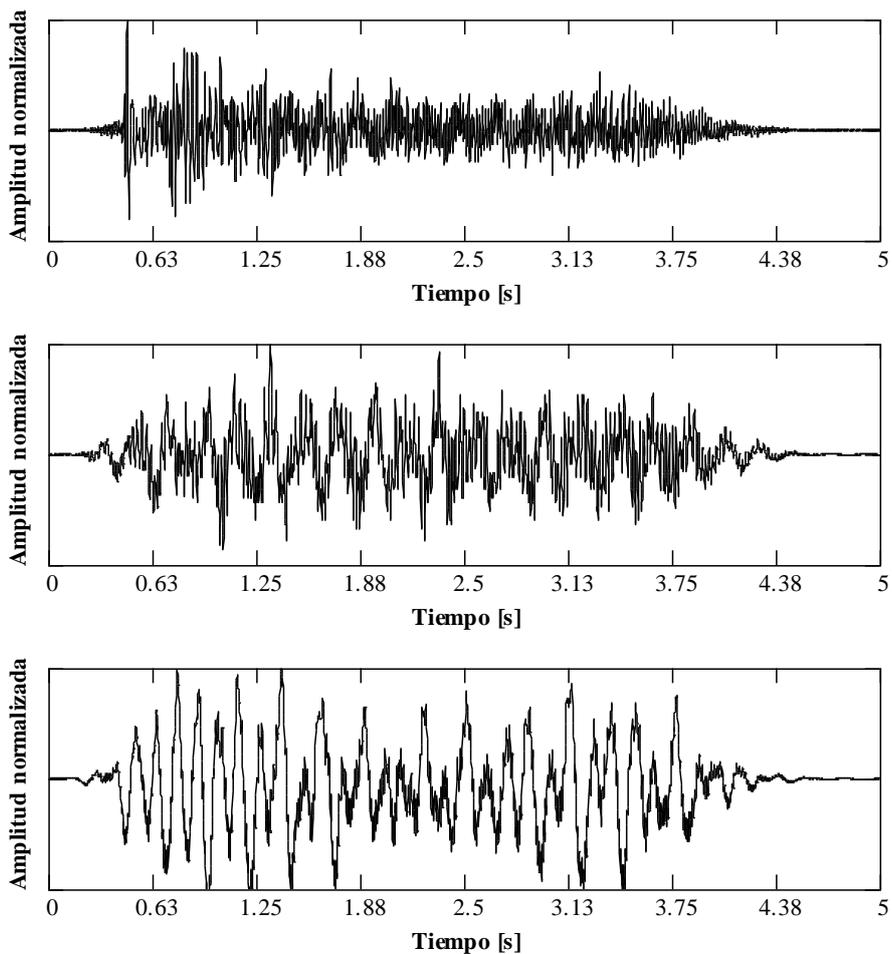


Figura 5. Acelerogramas registrados en la sección central del puente principal lado Argentina, sobre el eje longitudinal del tablero, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

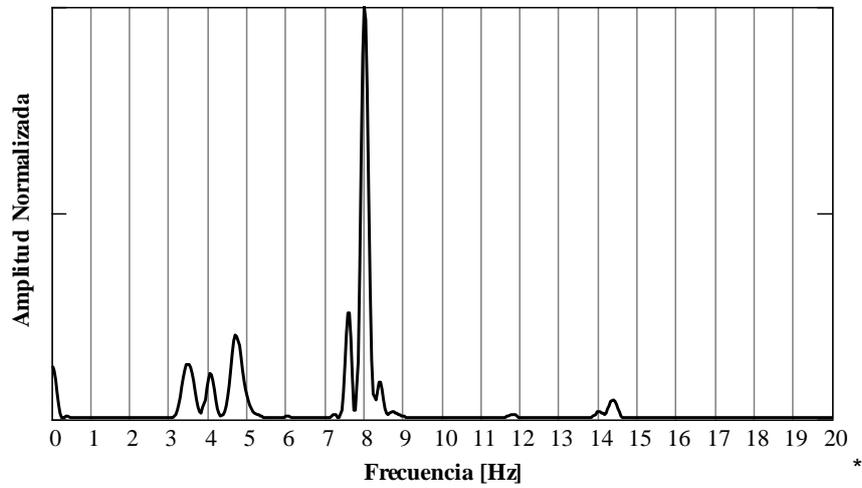


Figura 6. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 5

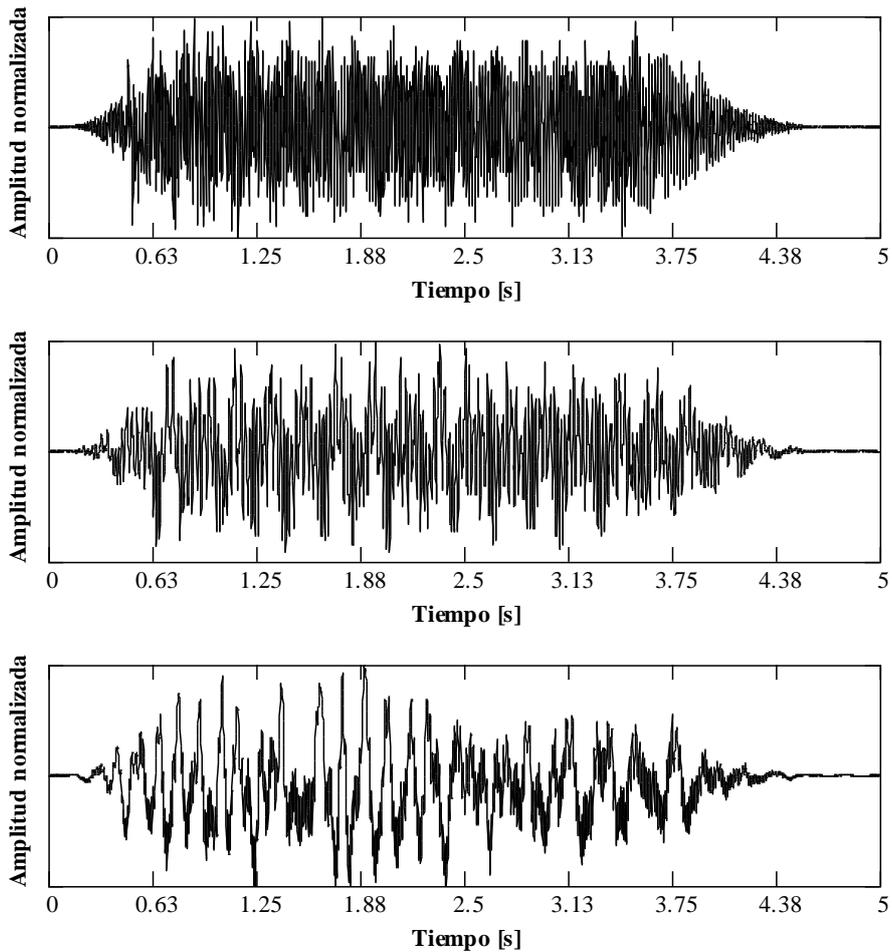


Figura 7. Acelerogramas registrados en la sección central del puente principal lado Argentina, sobre el lateral de la viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

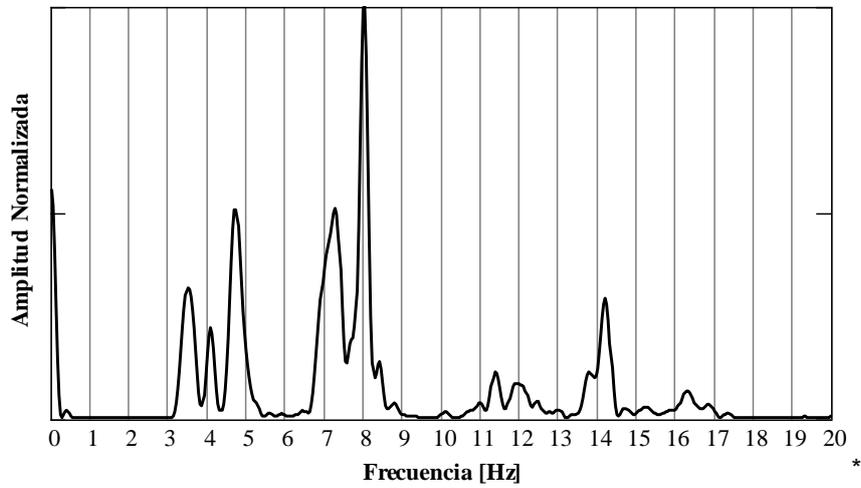


Figura 8. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 7

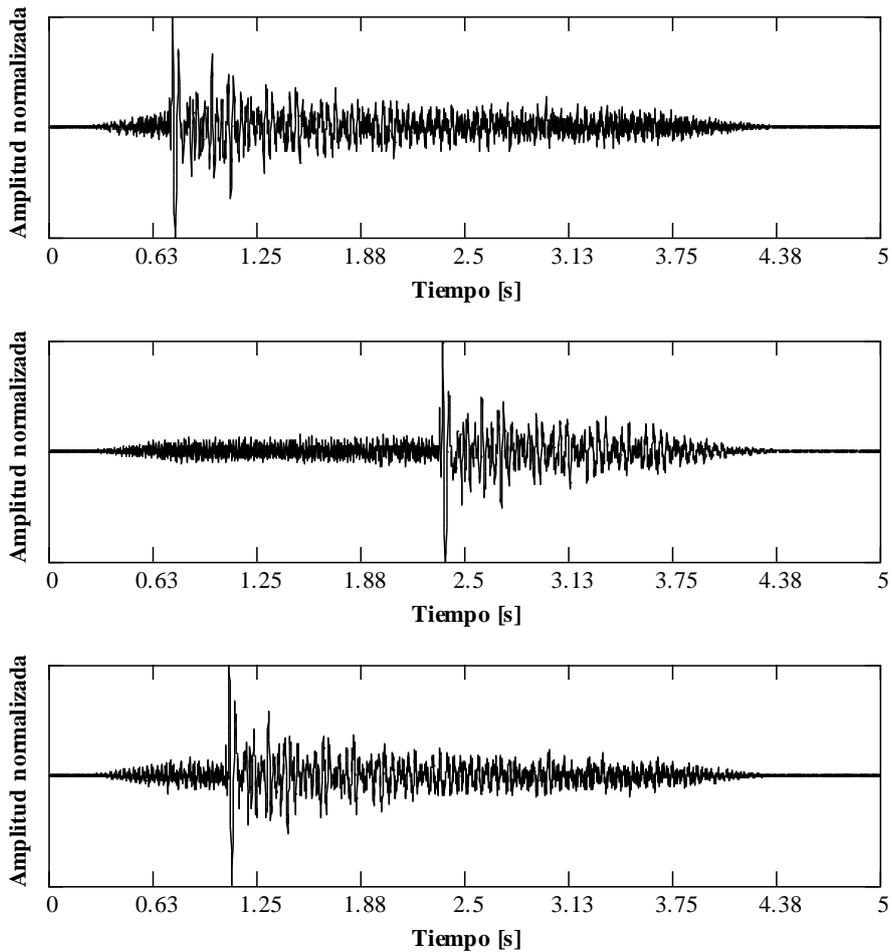


Figura 9. Acelerogramas registrados en la sección central del puente principal lado Argentina, sobre el eje longitudinal del tablero, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

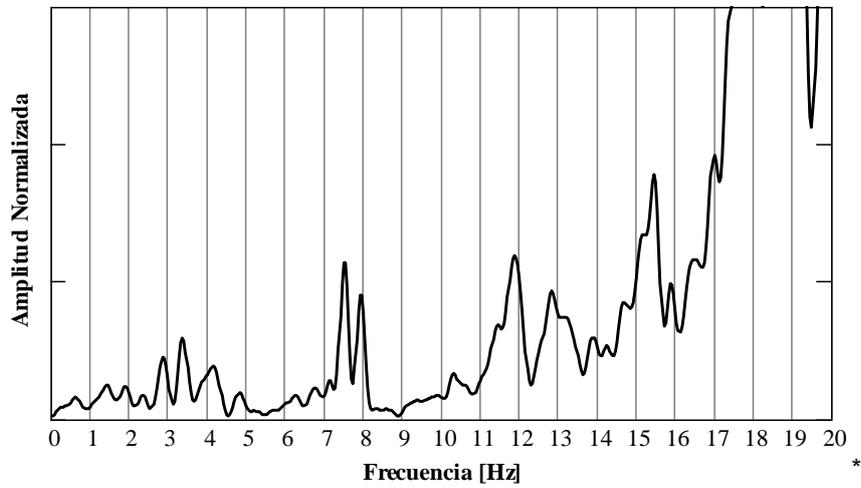


Figura 10. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 9

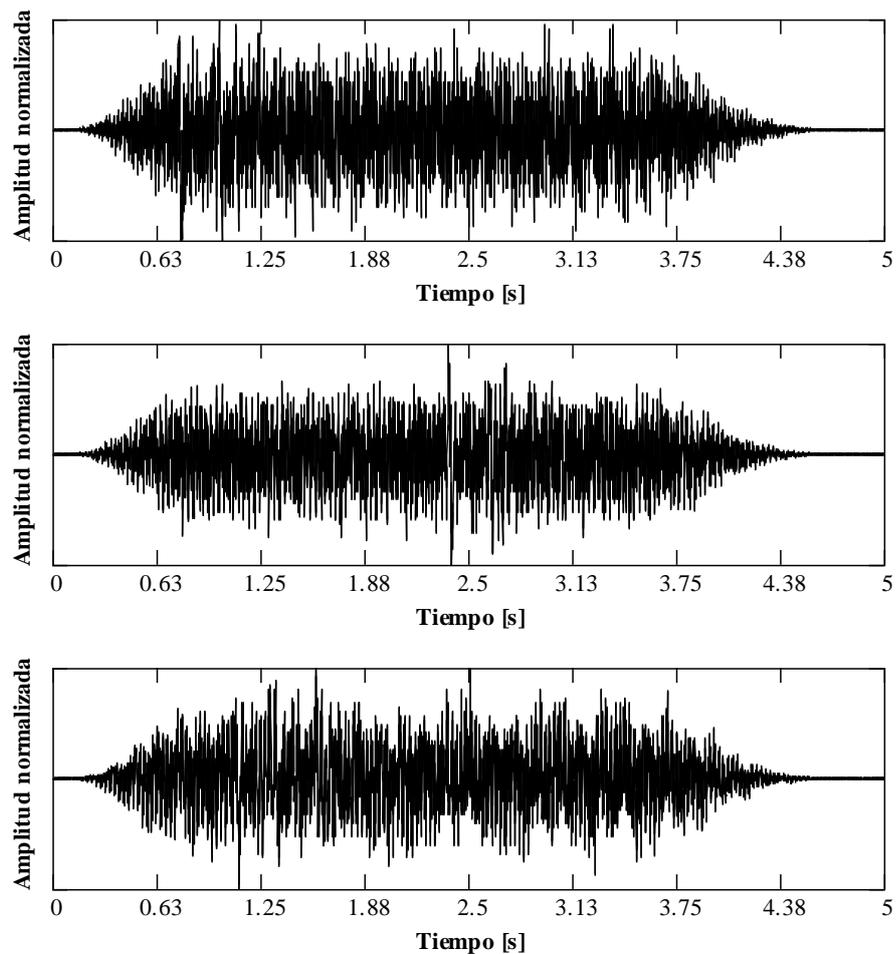


Figura 11. Acelerogramas registrados en la sección central del puente principal lado Argentina, sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

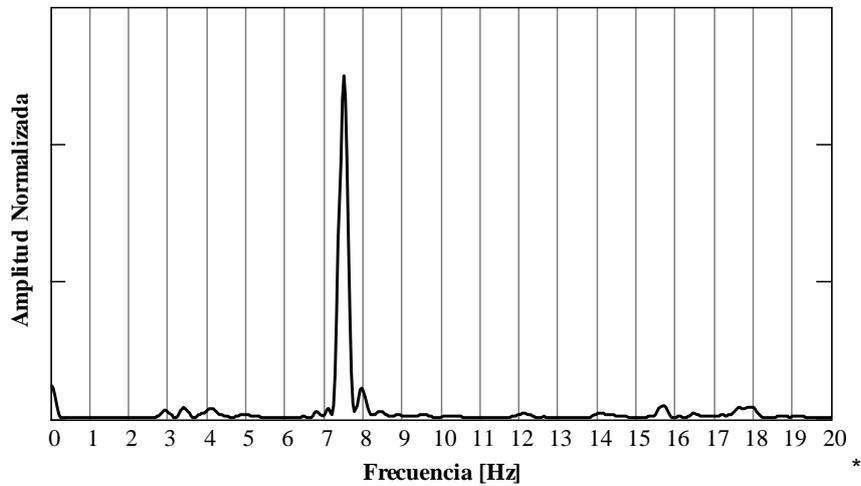


Figura 12. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 11

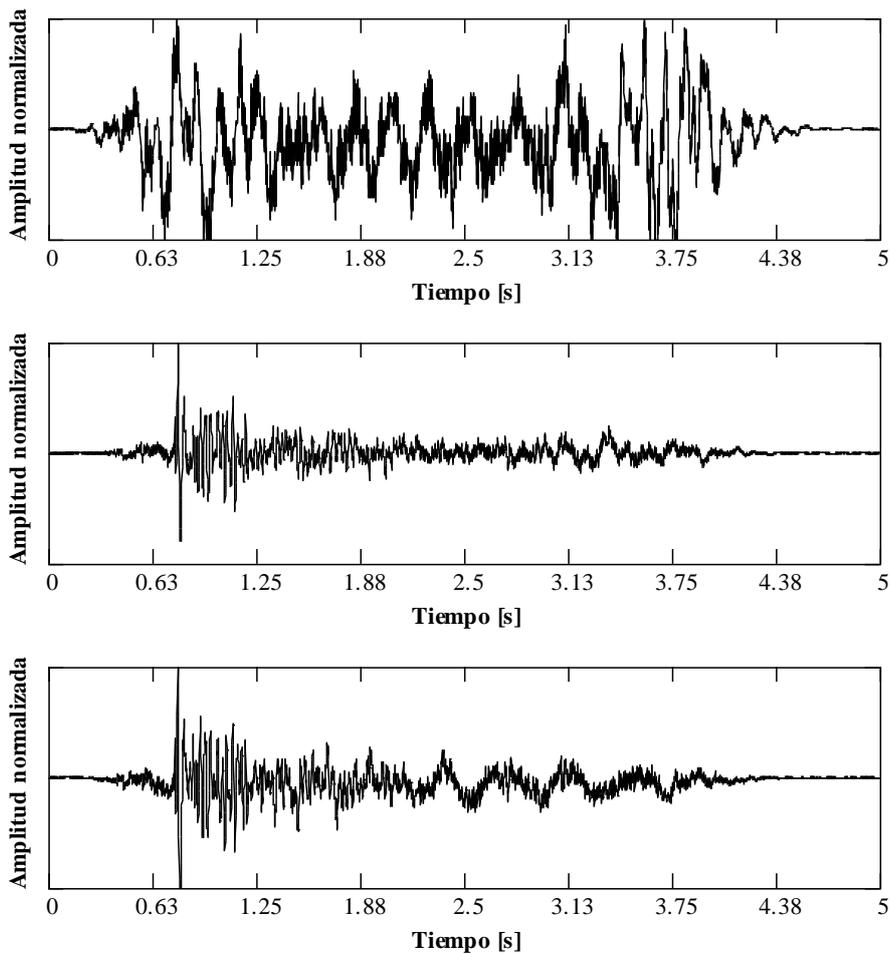


Figura 13. Acelerogramas registrados en la sección lateral del puente principal lado Argentina, sobre el eje longitudinal del tablero, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

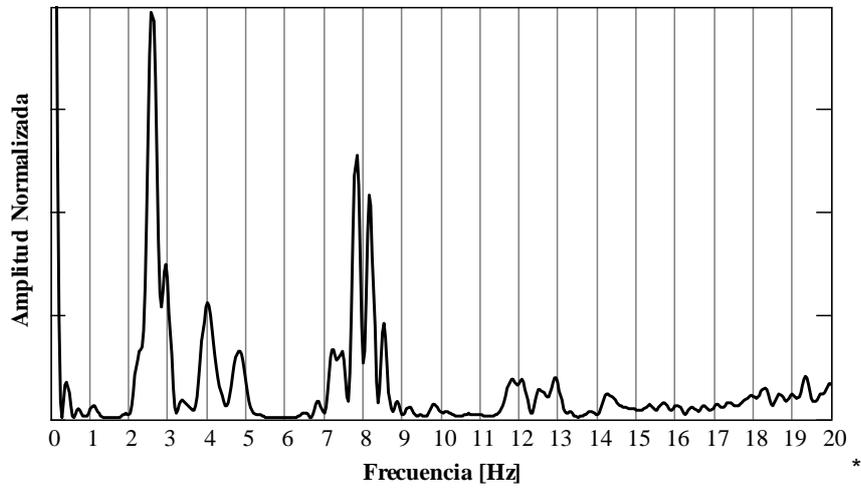


Figura 14. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 13

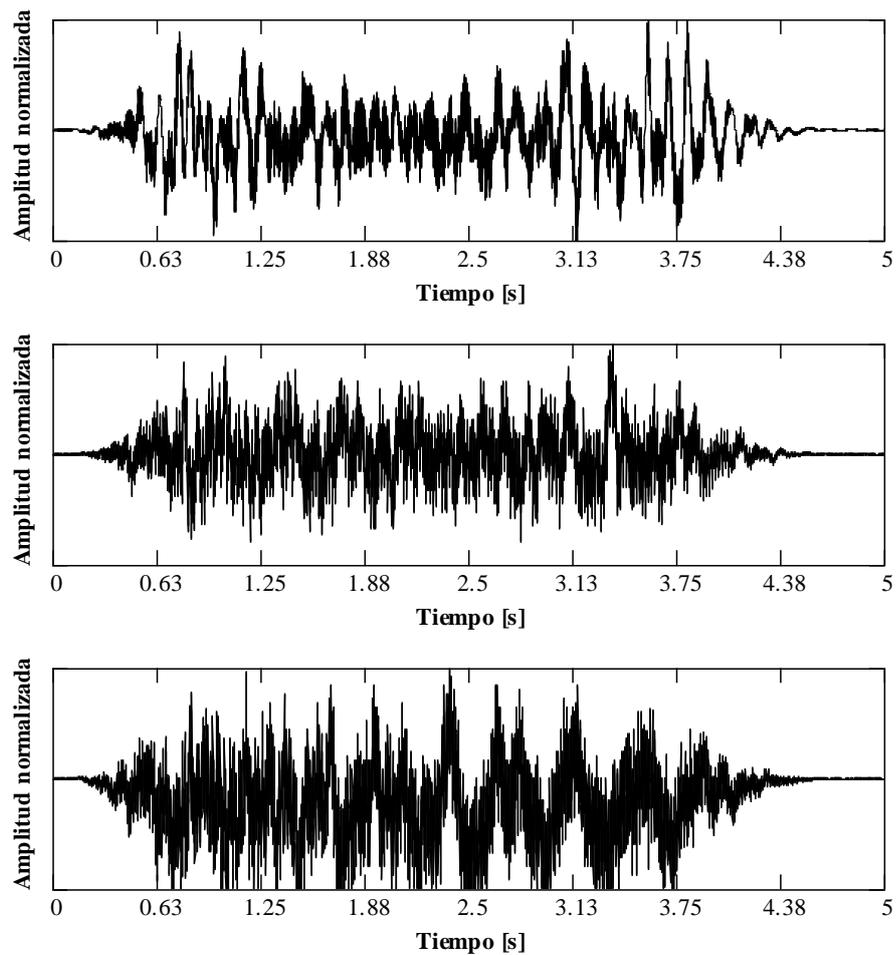


Figura 15. Acelerogramas registrados en la sección lateral del puente principal lado Argentina, sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

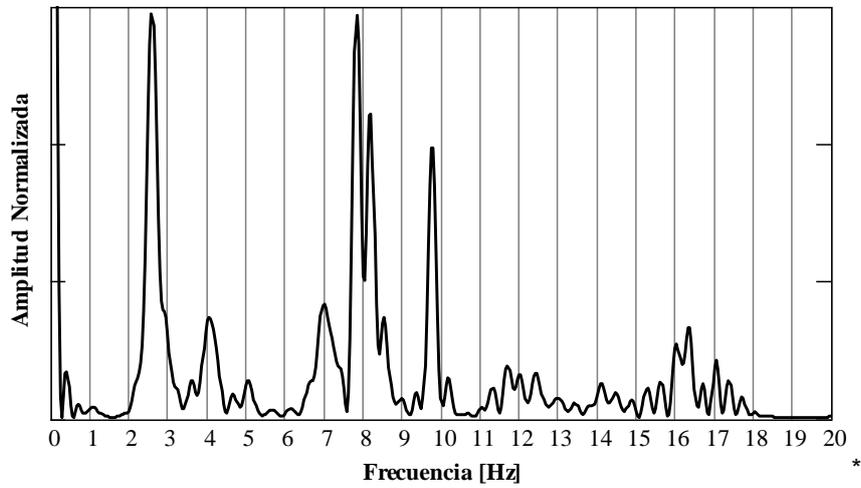


Figura 16. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 15

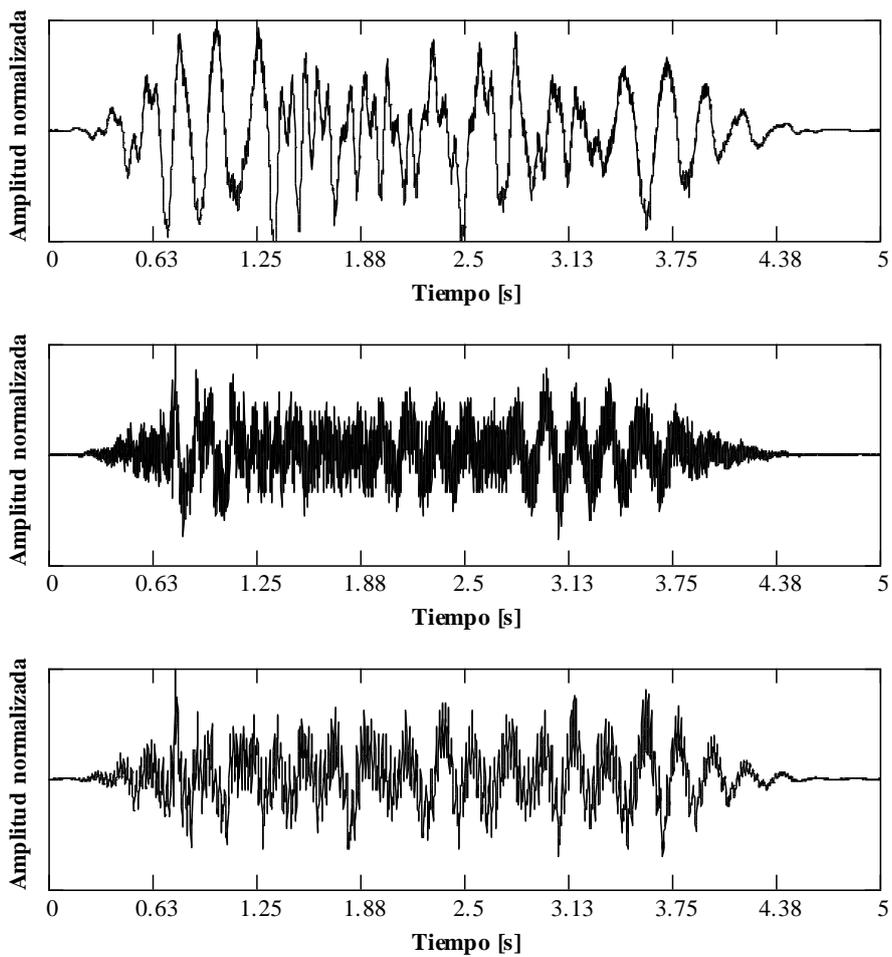


Figura 17. Acelerogramas registrados en la sección lateral del puente principal lado Argentina, sobre el eje longitudinal del tablero, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

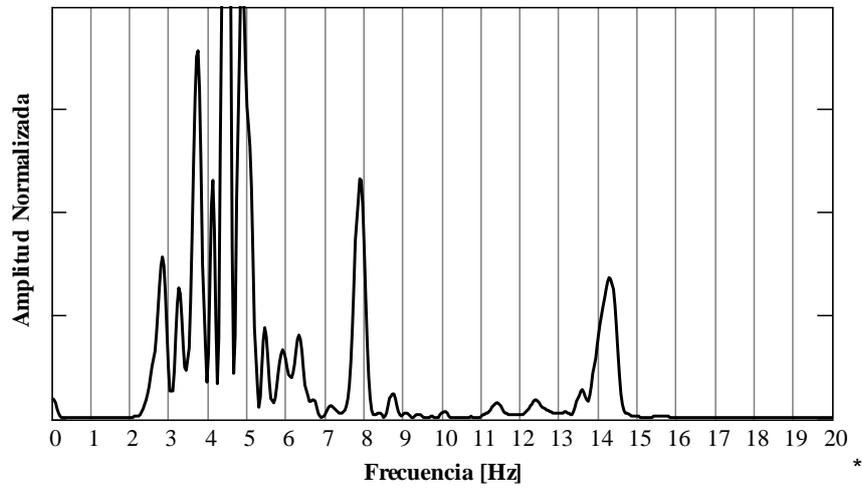


Figura 18. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 17

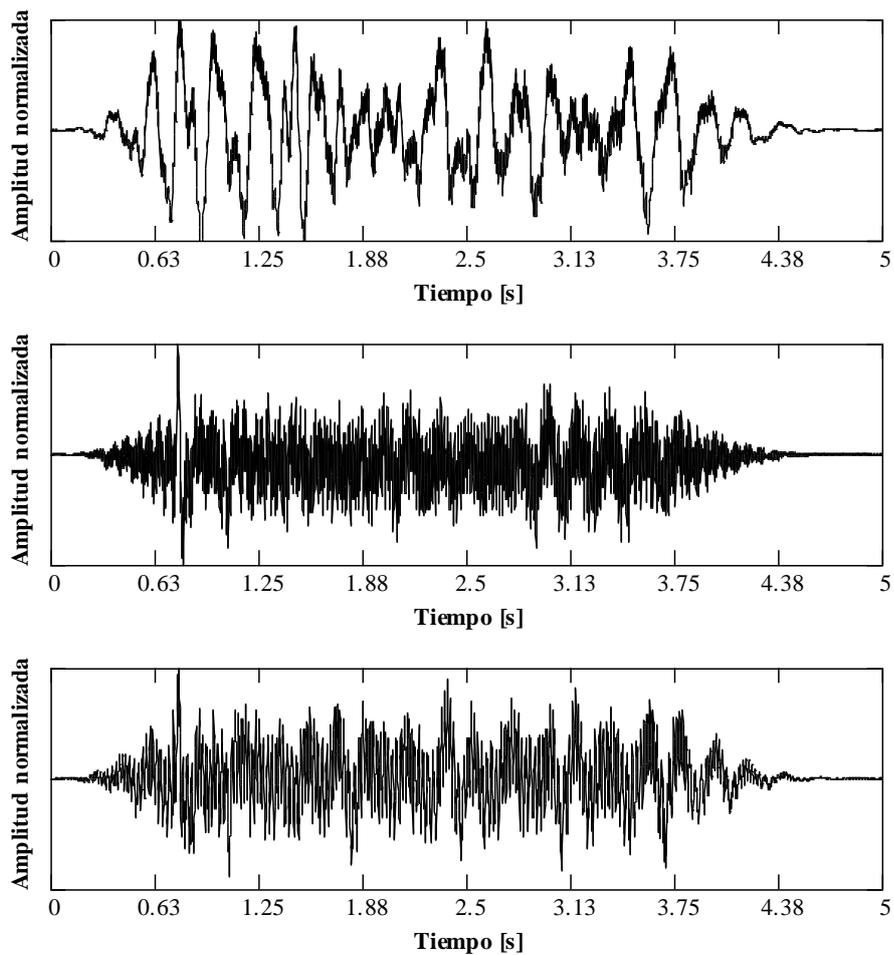


Figura 19. Acelerogramas registrados en la sección lateral del puente principal lado Argentina, sobre el lateral de la viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

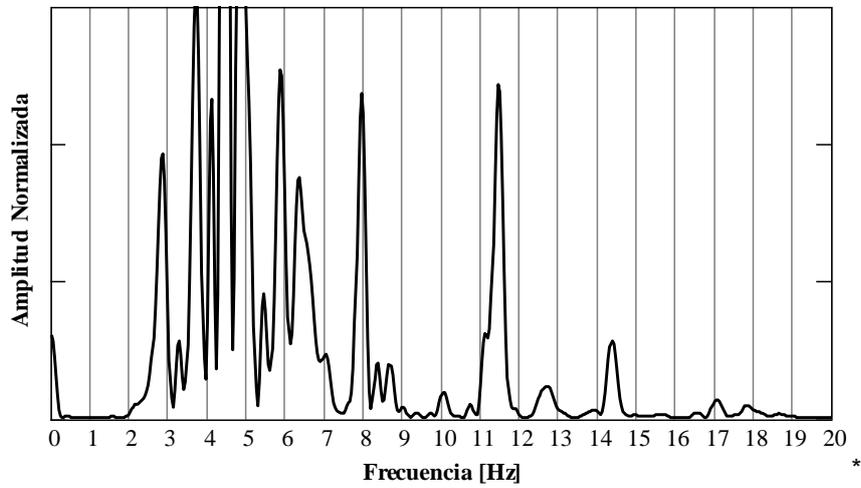


Figura 20. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 19

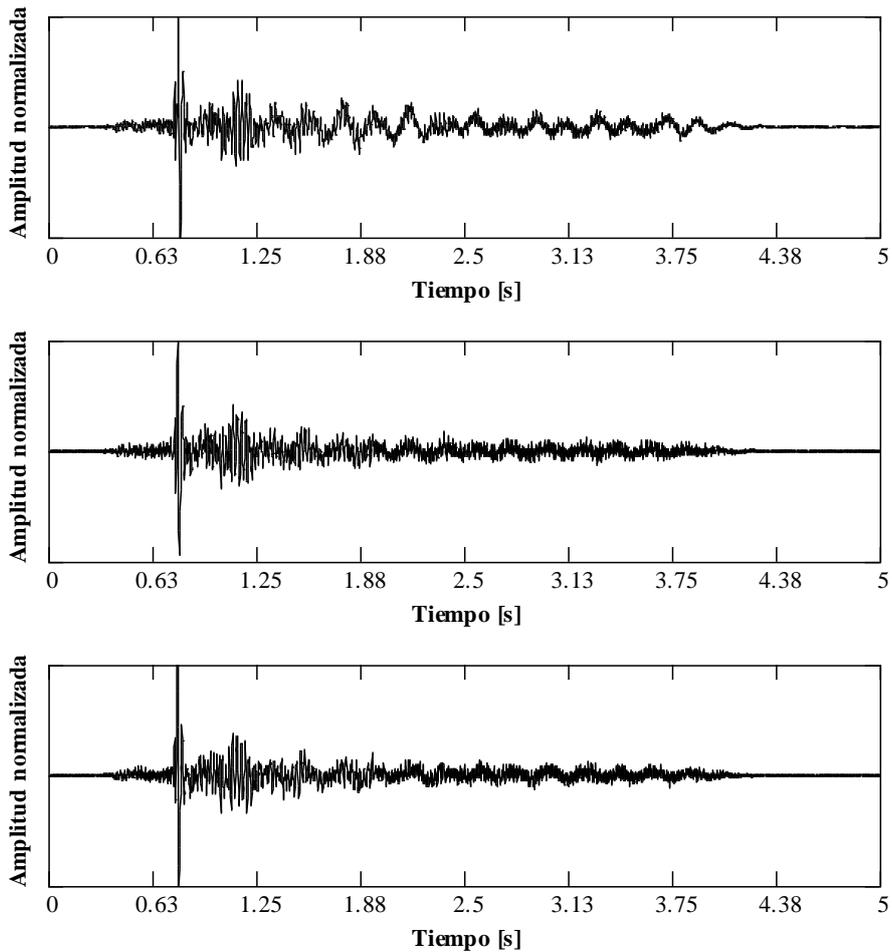


Figura 21. Acelerogramas registrados en la sección central del puente principal lado Uruguay, sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el eje del tablero





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”

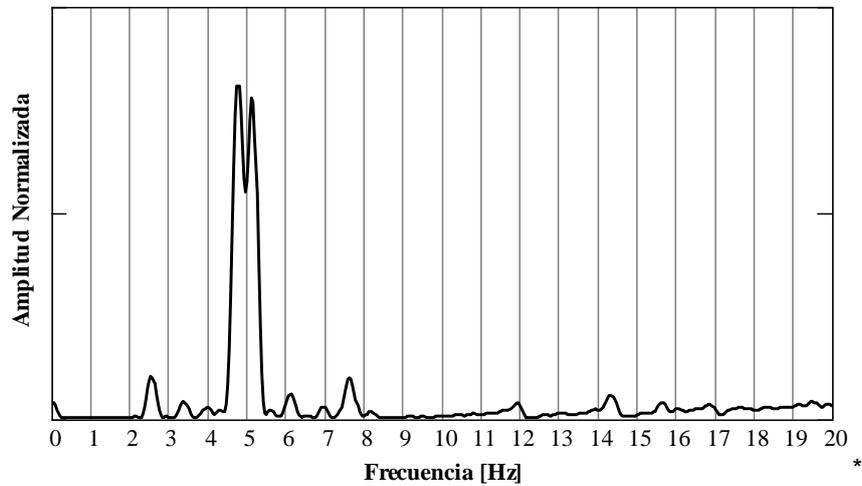


Figura 22. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 21

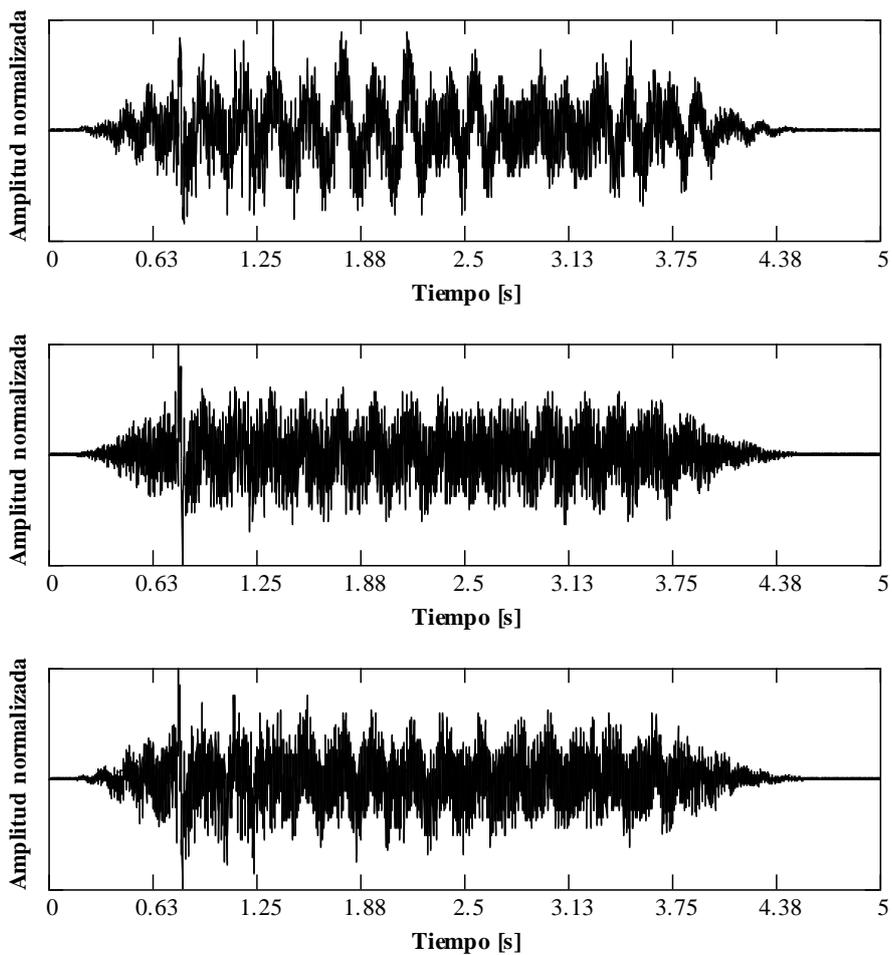


Figura 23. Acelerogramas registrados en la sección central del puente principal lado Uruguay, sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el eje del tablero





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”

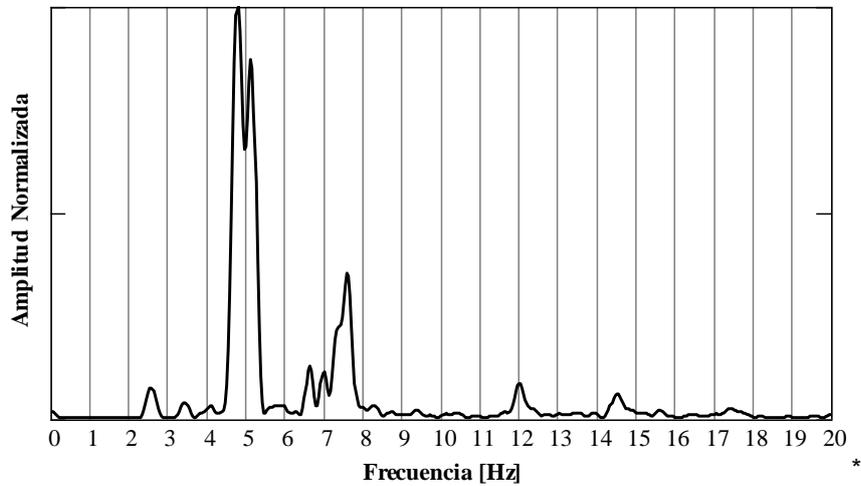


Figura 24. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 23

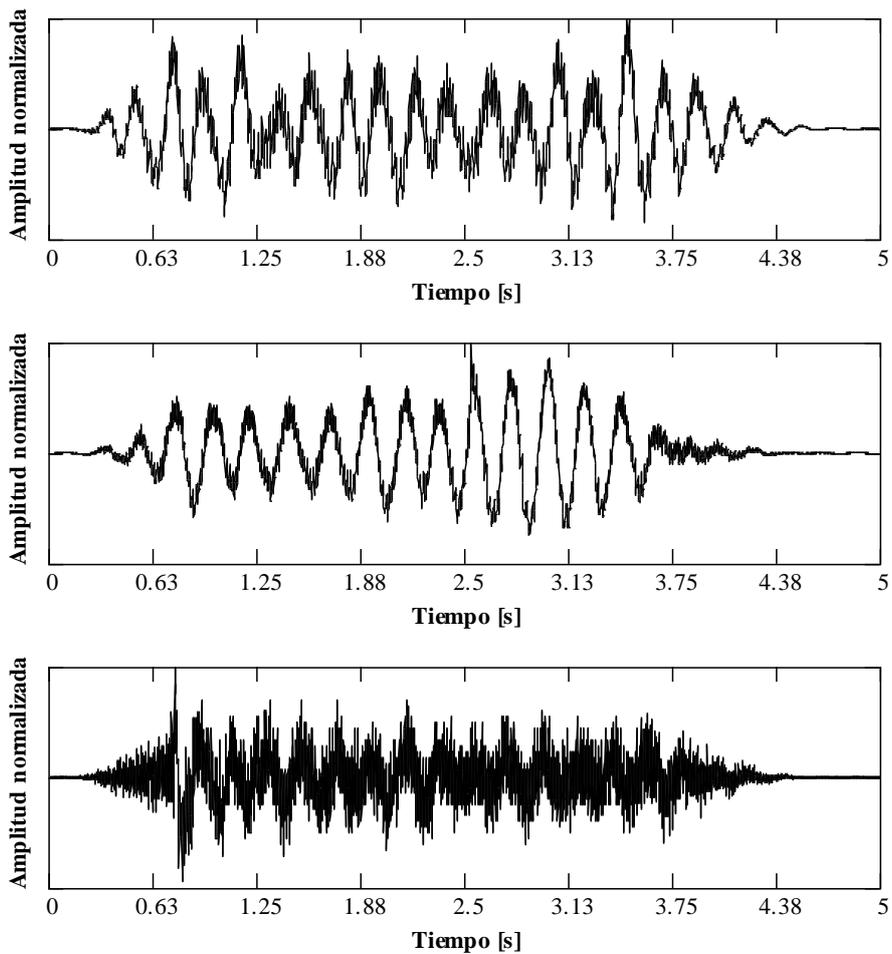


Figura 25. Acelerogramas registrados en la sección central del puente principal lado Uruguay, sobre el eje longitudinal, con impulsos en el lateral del tablero





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”

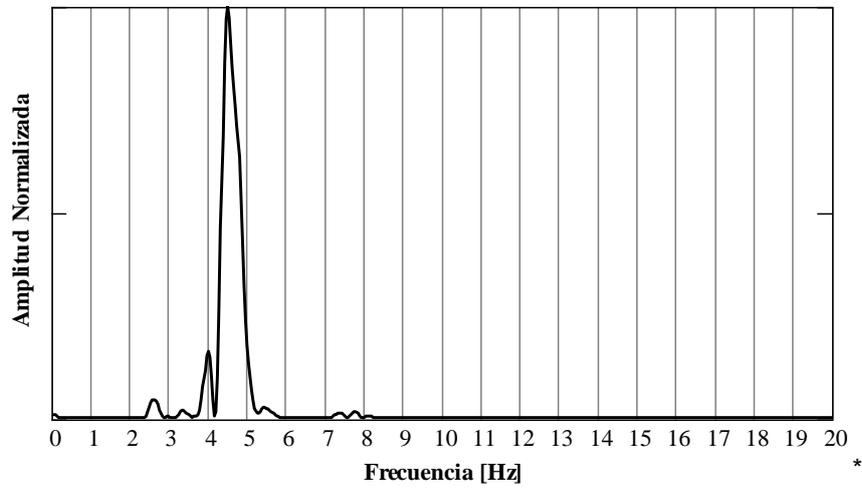


Figura 26. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 25

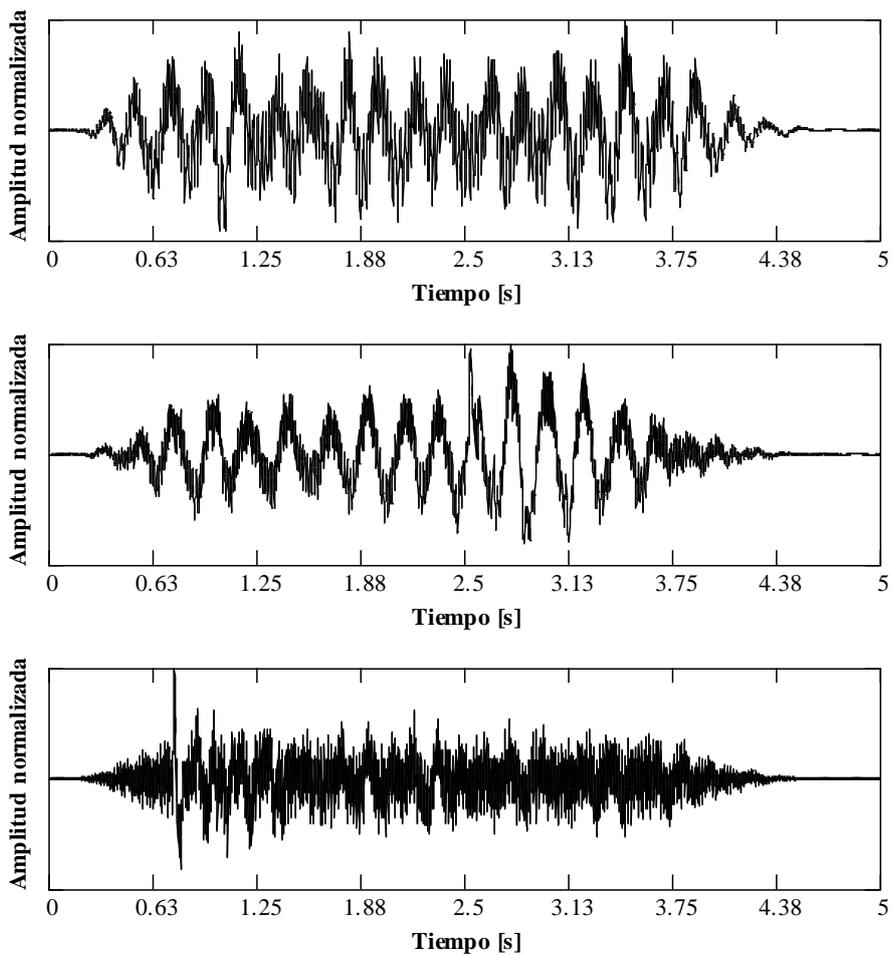


Figura 27. Acelerogramas registrados en la sección central del puente principal lado Uruguay, sobre el lateral de viga, con impulsos en el lateral del tablero





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”

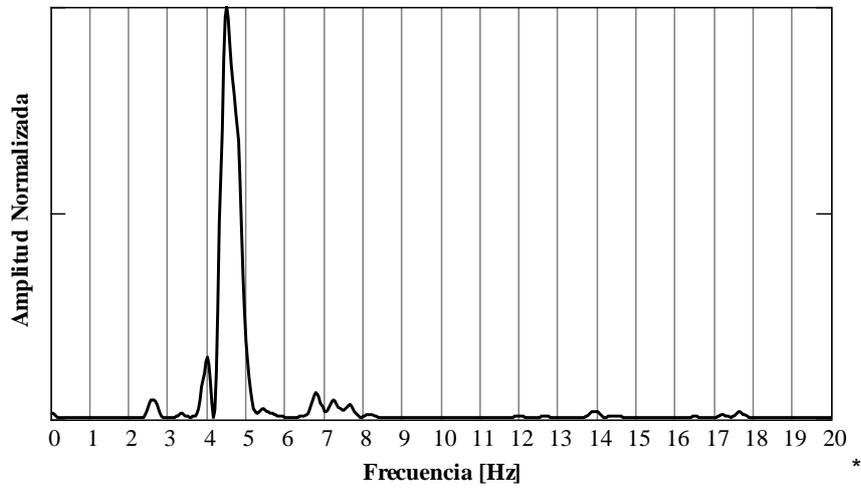


Figura 28. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 27

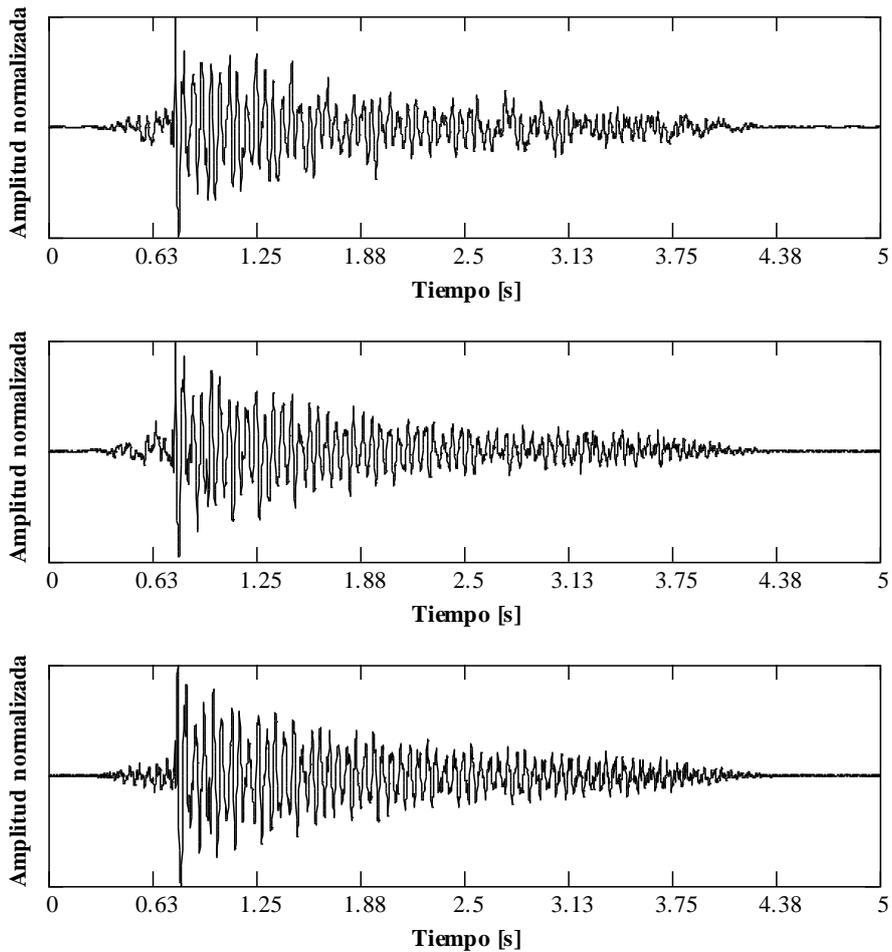


Figura 29. Acelerogramas registrados en la sección lateral del puente principal lado Uruguay, sobre el eje longitudinal, con impulsos en el eje del tablero





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”

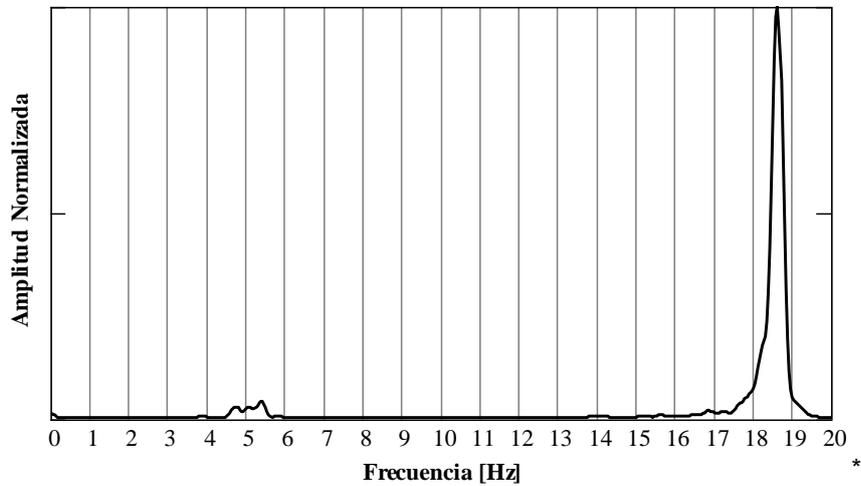


Figura 30. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 29

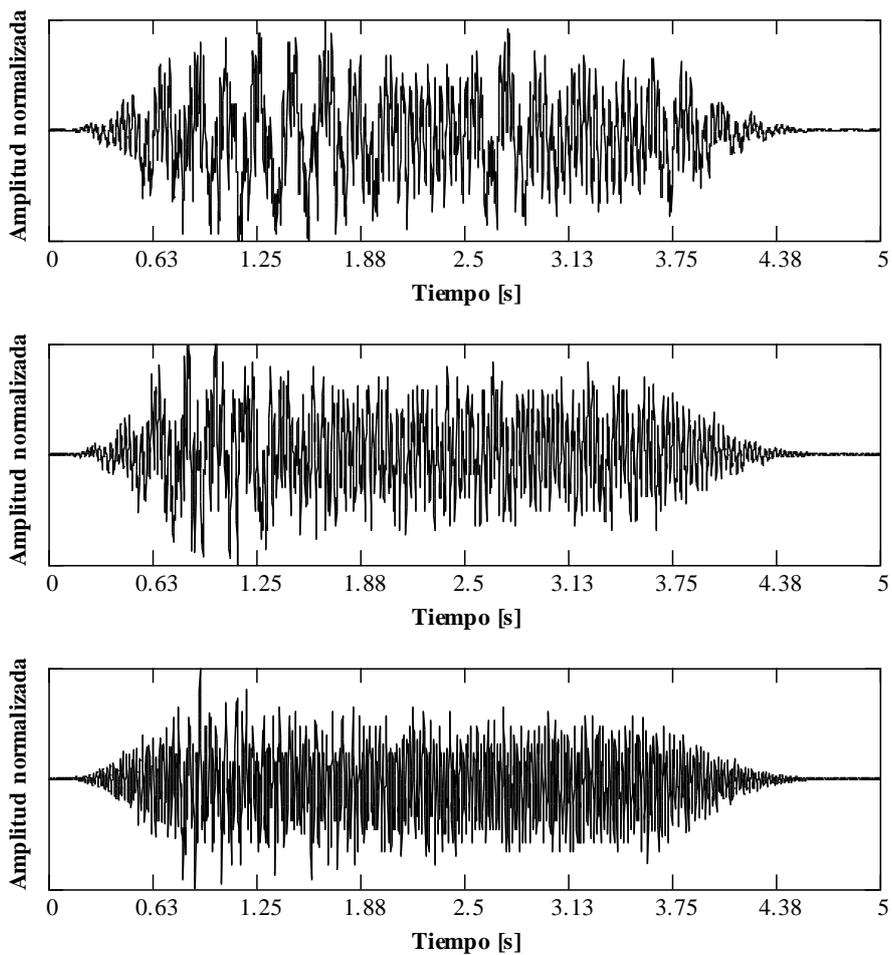


Figura 31. Acelerogramas registrados en la sección lateral del puente principal lado Uruguay, sobre el lateral de viga, con impulsos en el eje del tablero





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”

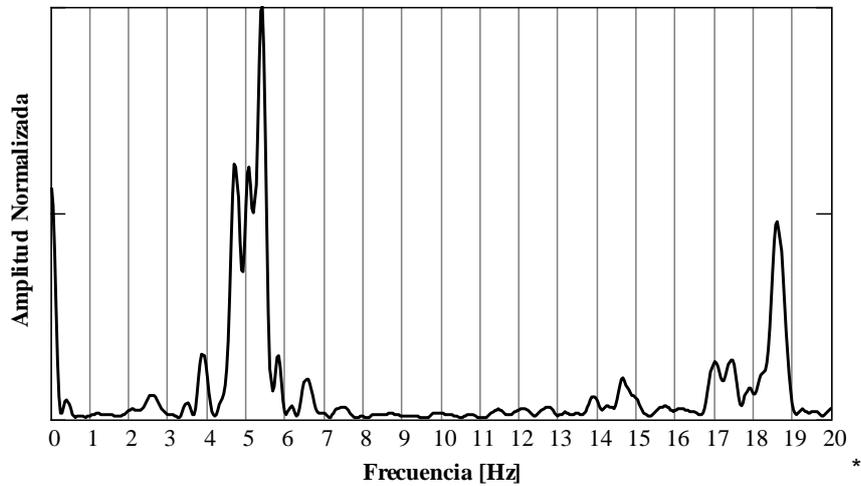


Figura 32. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 31

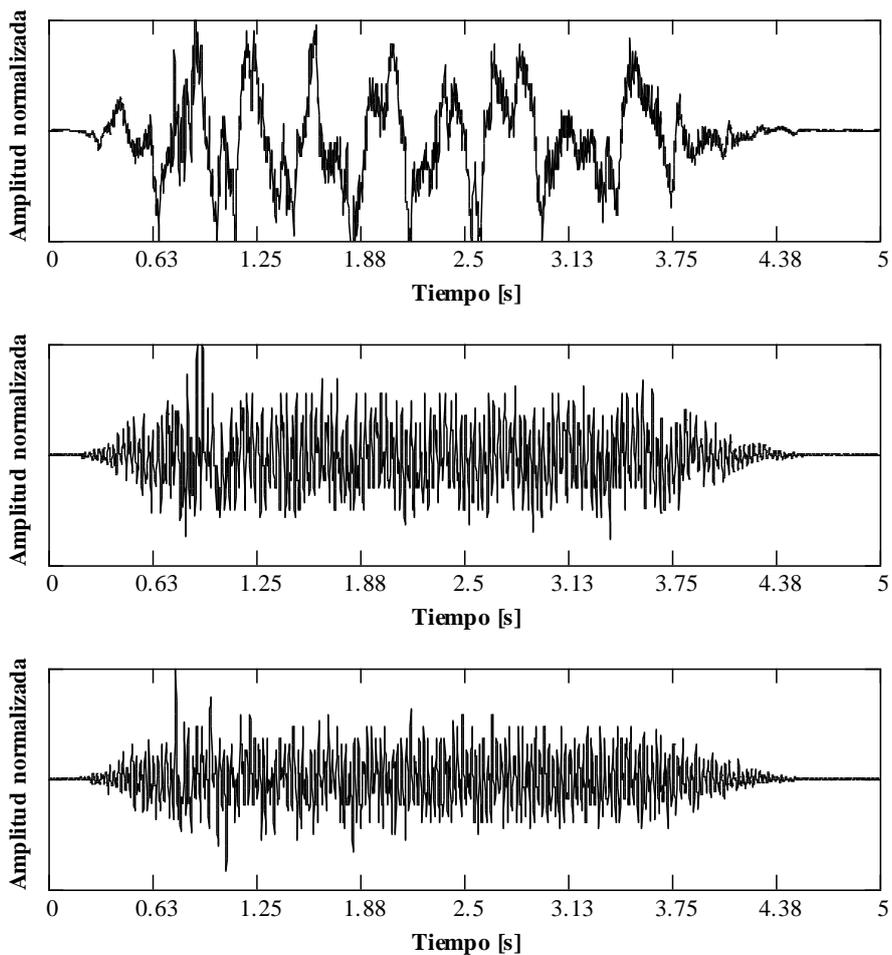


Figura 33. Acelerogramas registrados en la sección lateral del puente principal lado Uruguay, sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

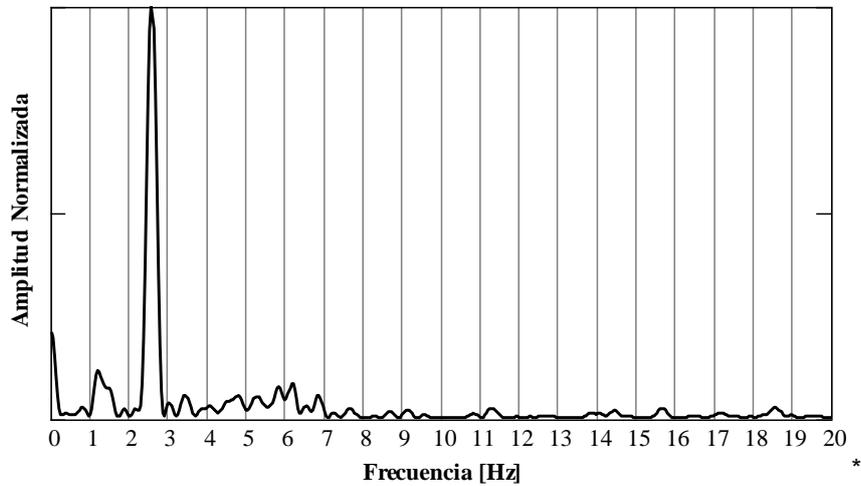


Figura 34. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 33

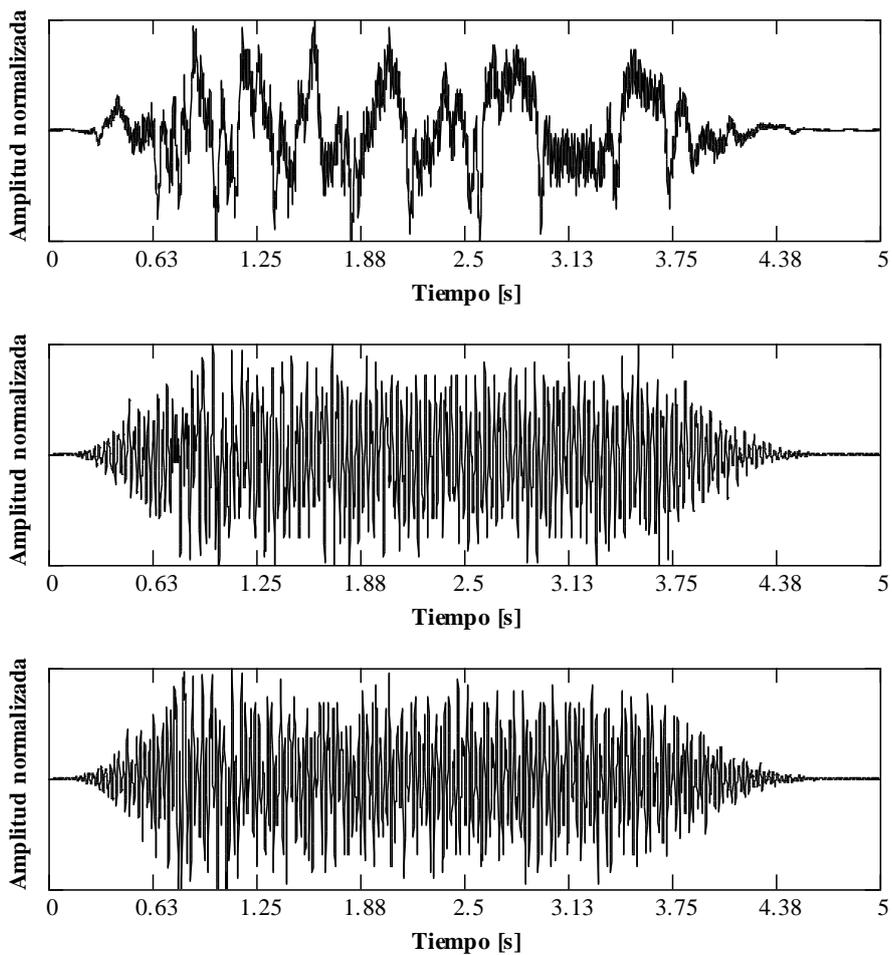
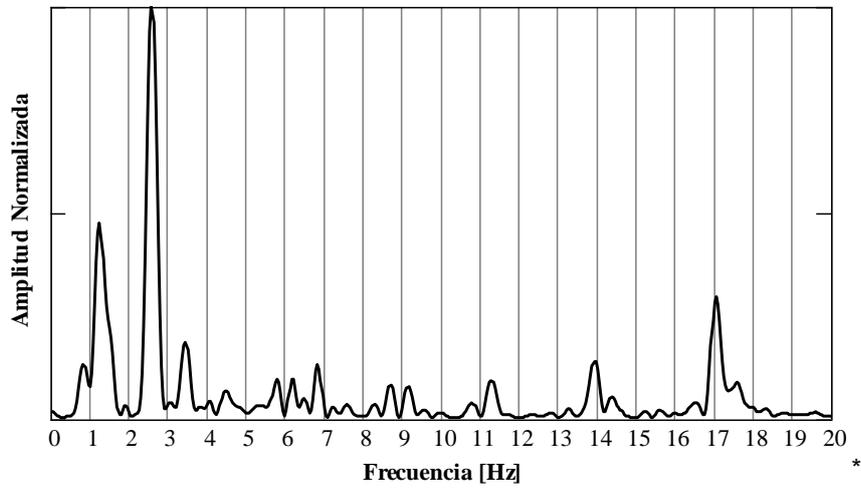


Figura 35. Acelerogramas registrados en la sección lateral del puente principal, sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





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 36. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 35
Figura 37.*

1.2. Viaducto Uruguayo

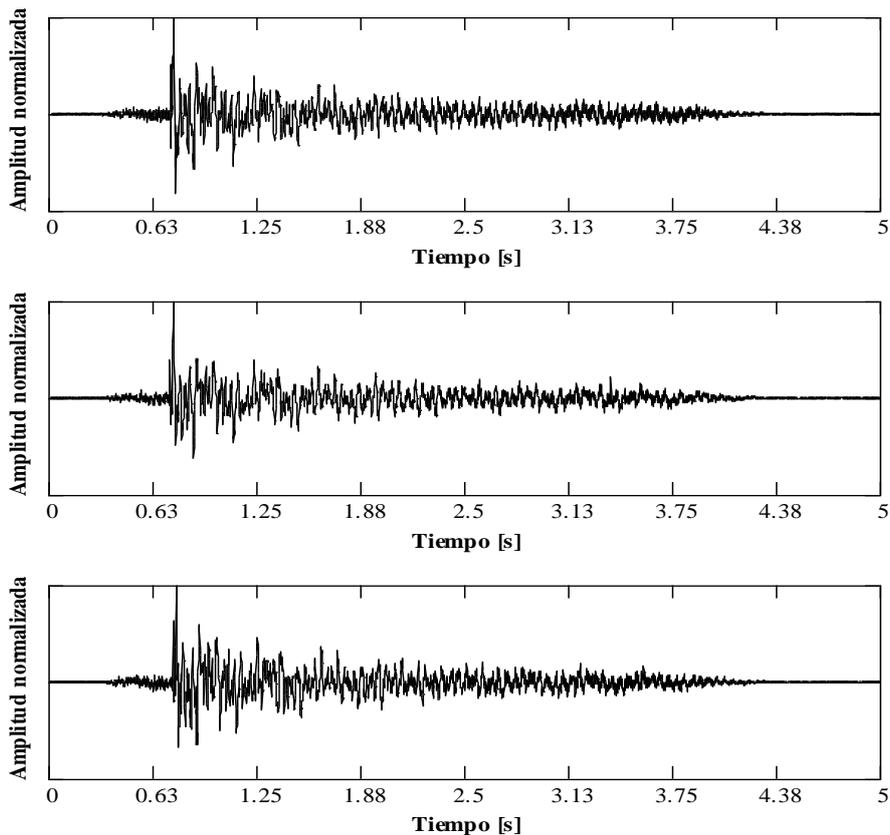


Figura 38. Acelerogramas registrados en el tramo 1 del viaducto, sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

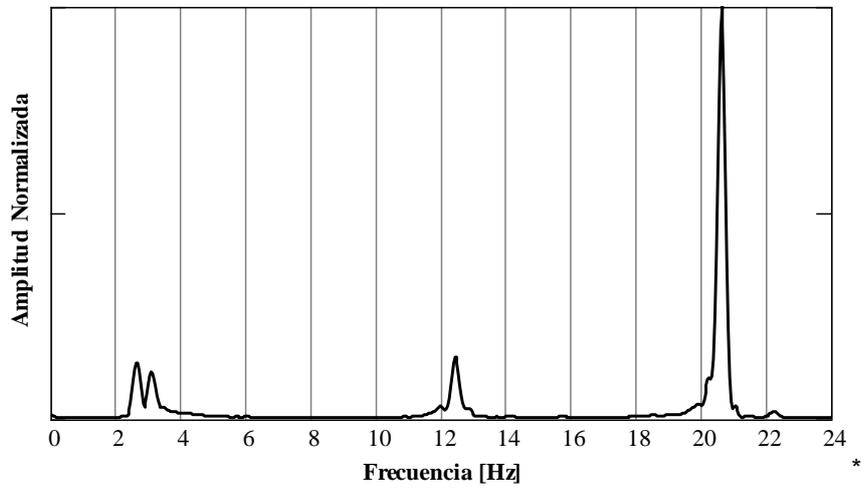


Figura 39. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 37

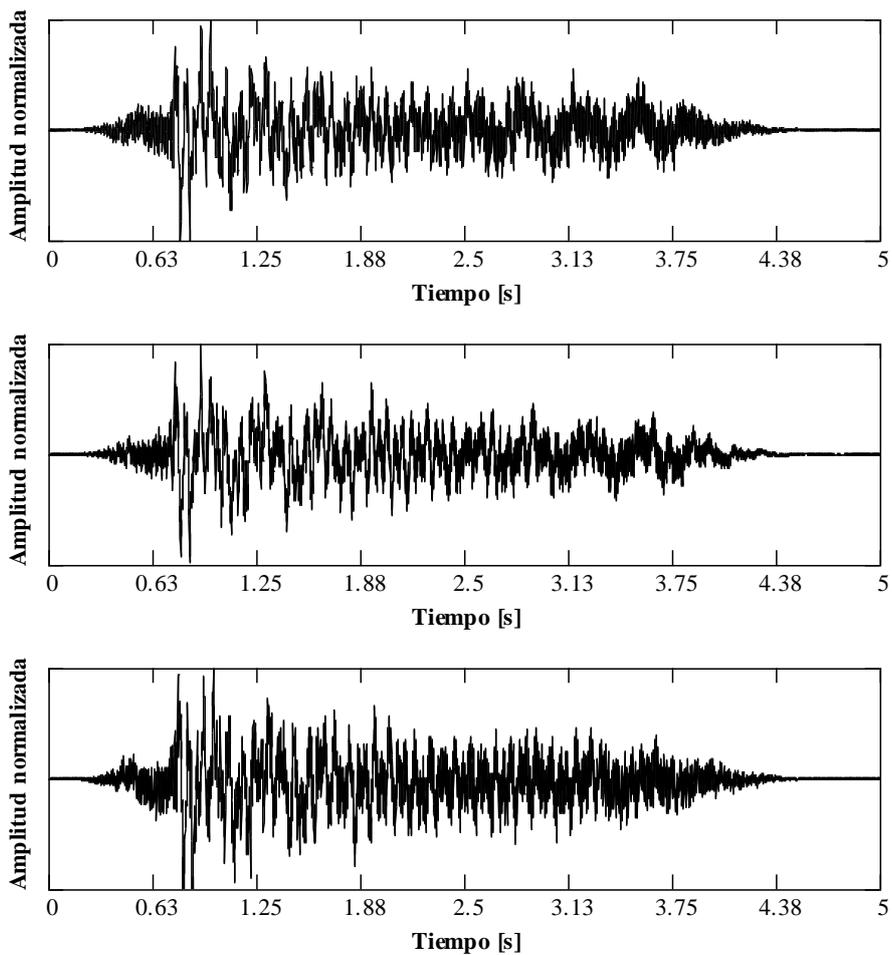


Figura 40. Acelerogramas registrados en el tramo I del viaducto, sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

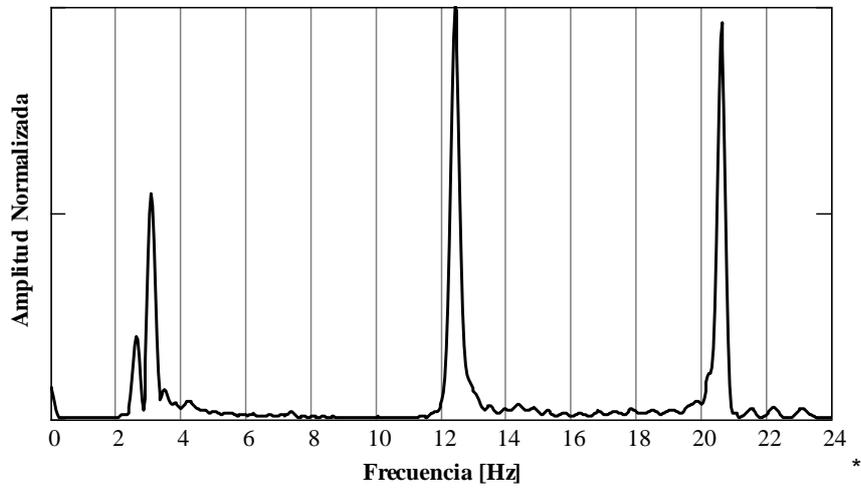


Figura 41. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 39

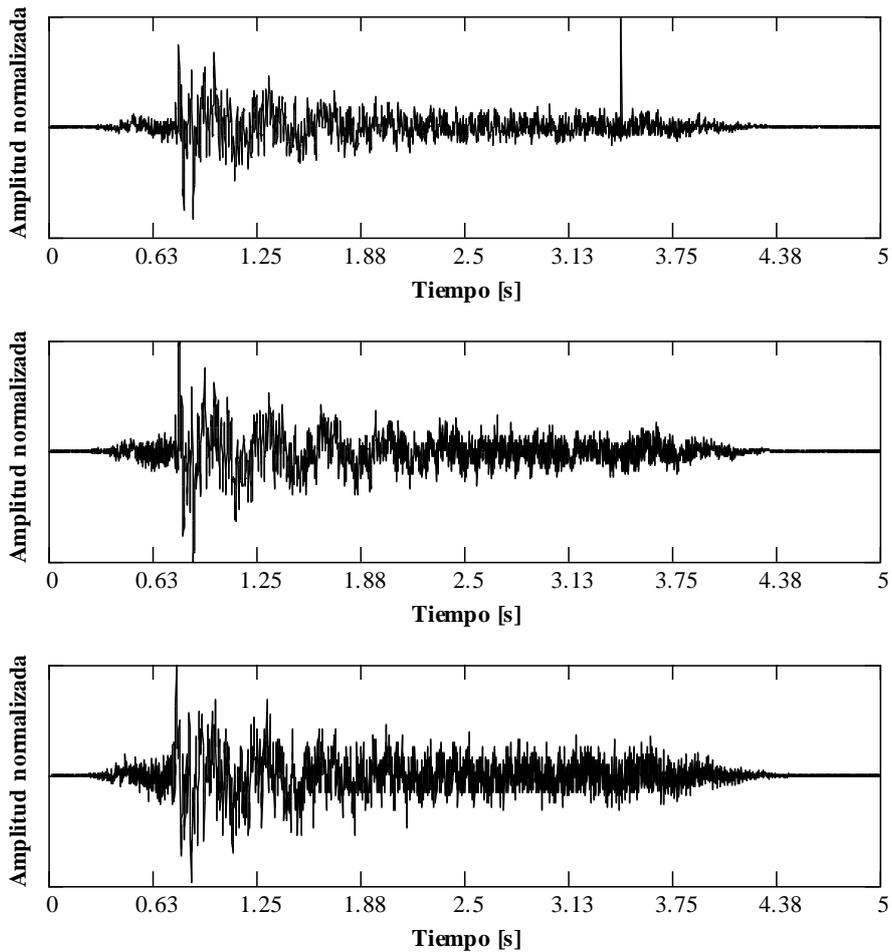


Figura 42. Acelerogramas registrados en el tramo 2 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

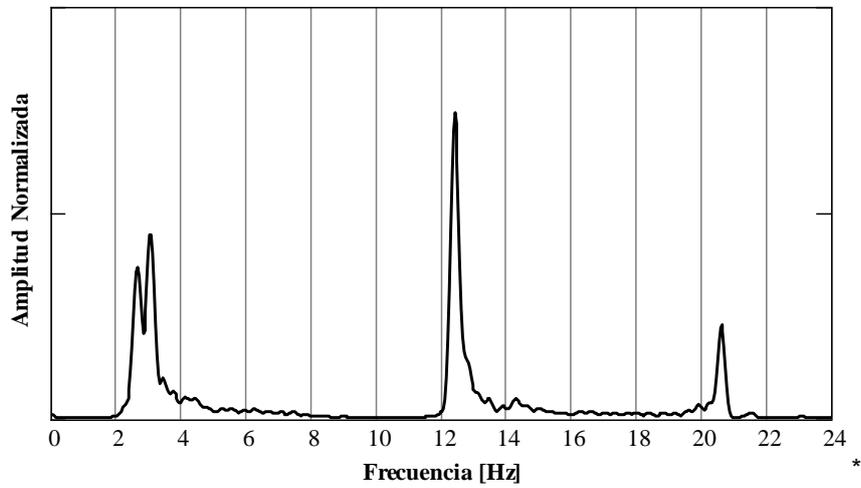


Figura 43. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 41

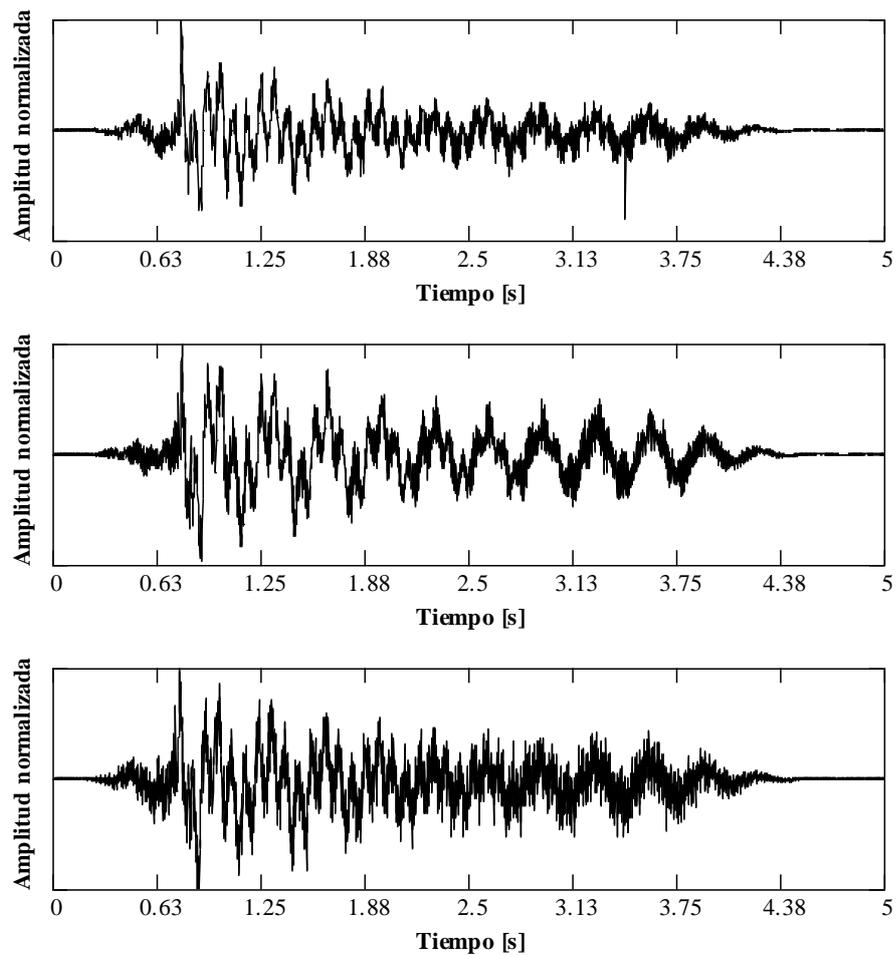


Figura 44. Acelerogramas registrados en el tramo 2 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

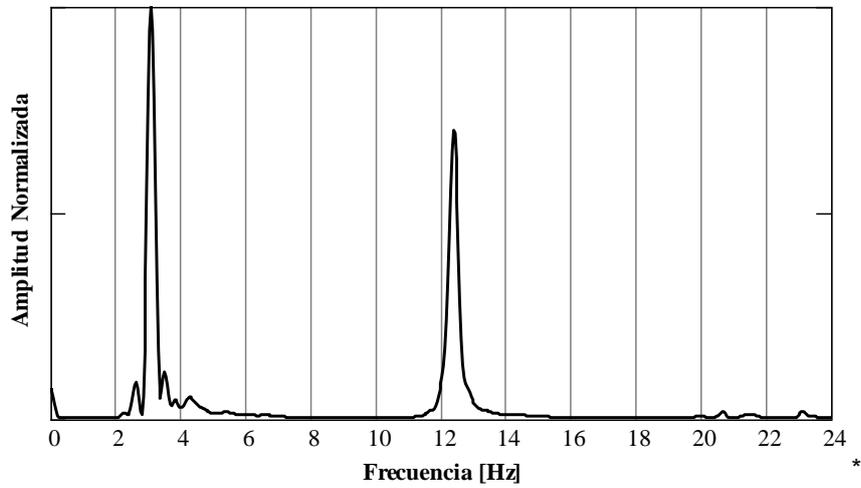


Figura 45. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 43

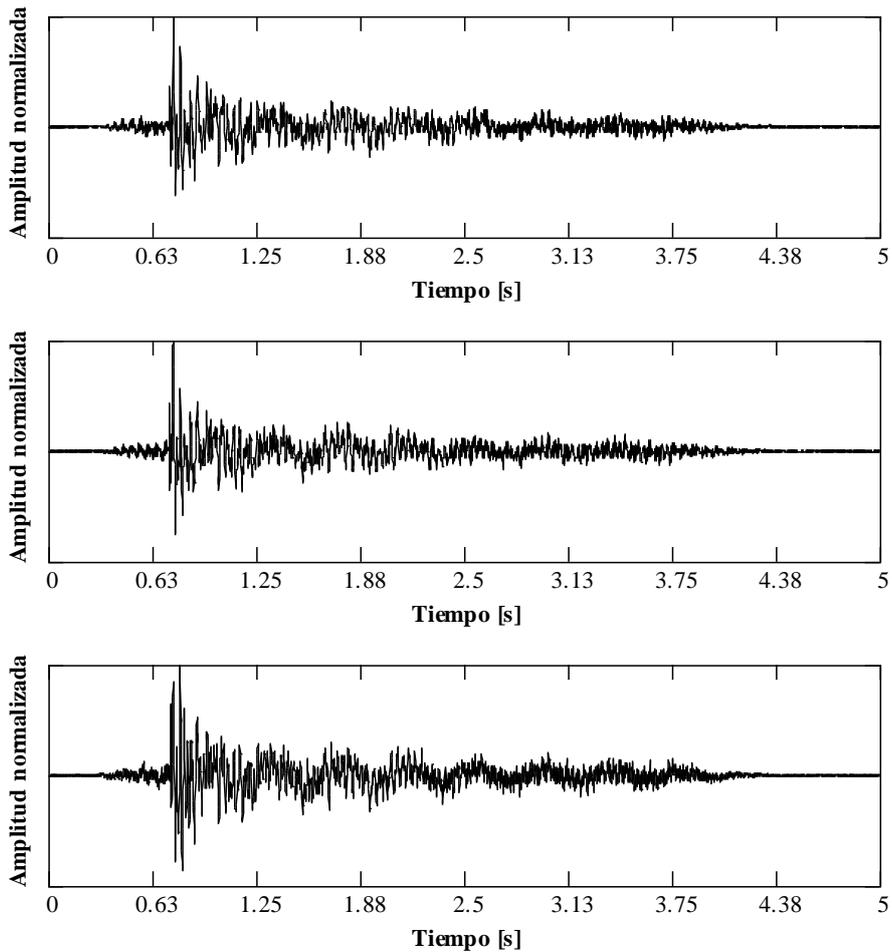


Figura 46. Acelerogramas registrados en el tramo 4 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

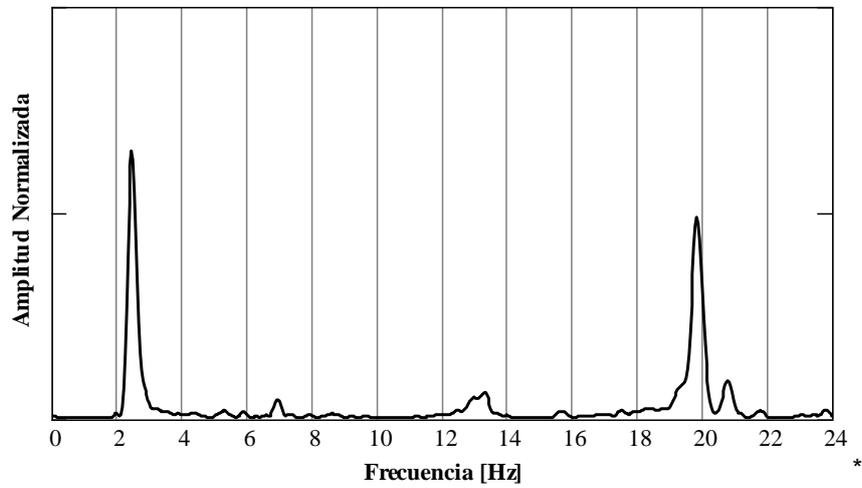


Figura 47. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 45

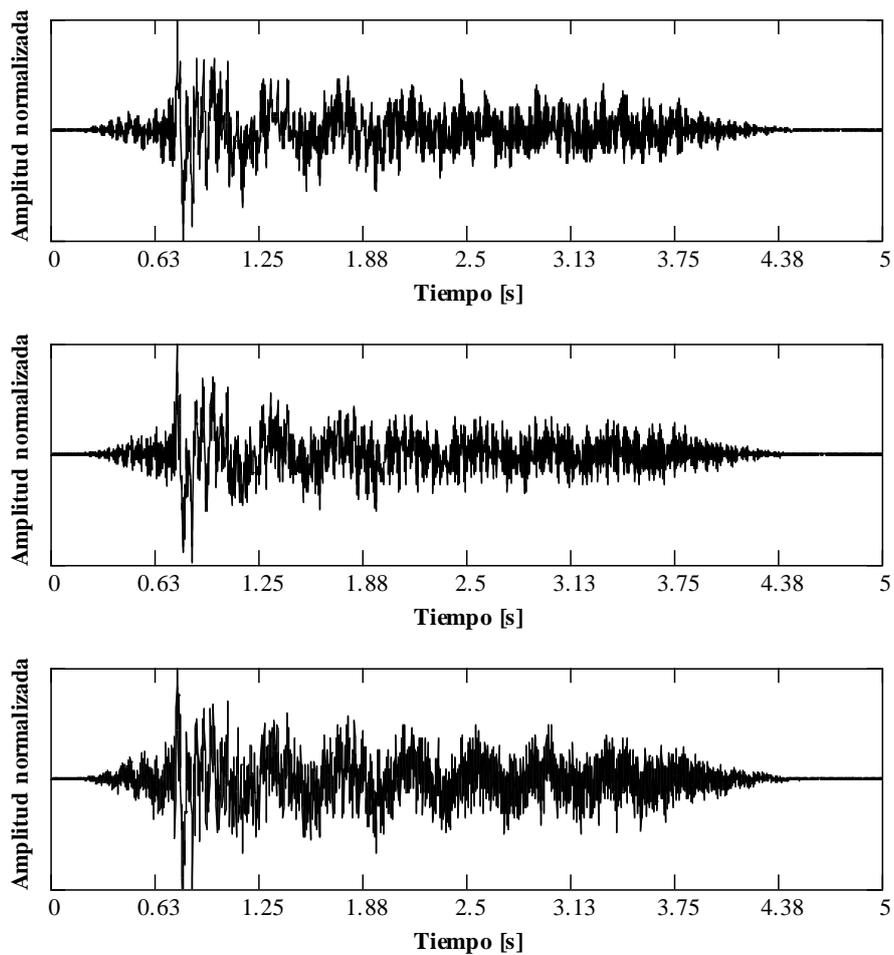


Figura 48. Acelerogramas registrados en el tramo 4 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

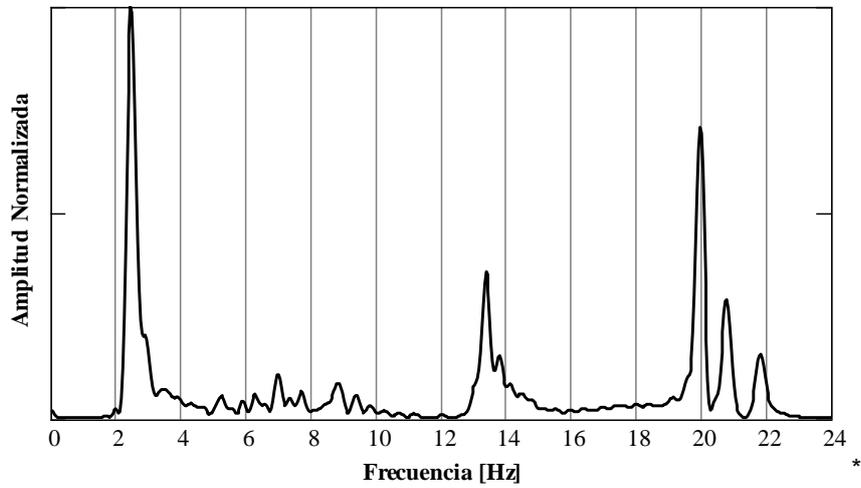


Figura 49. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 47

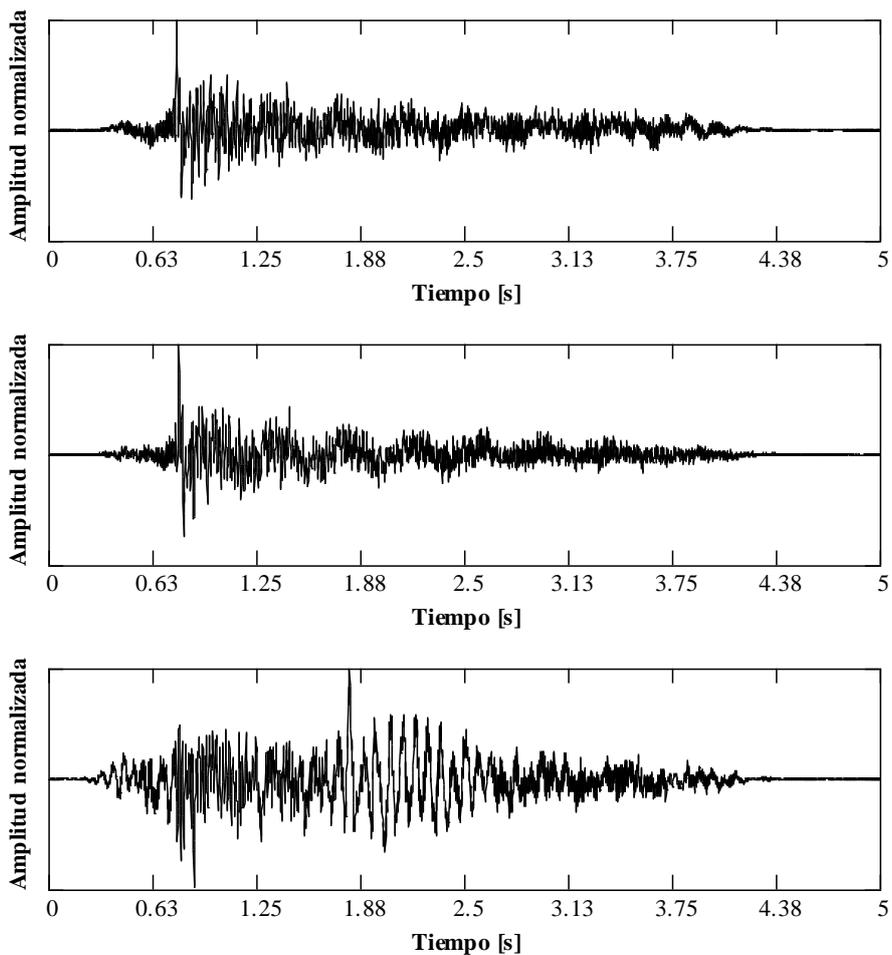


Figura 50. Acelerogramas registrados en el tramo 4 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

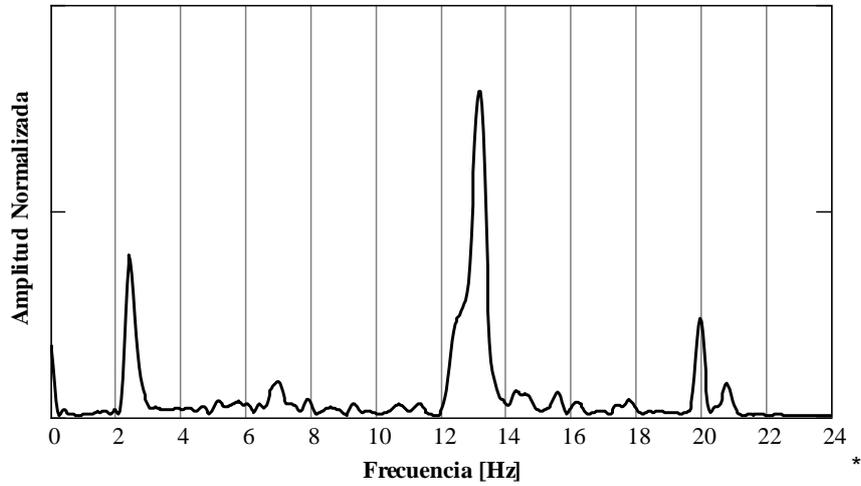


Figura 51. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 49

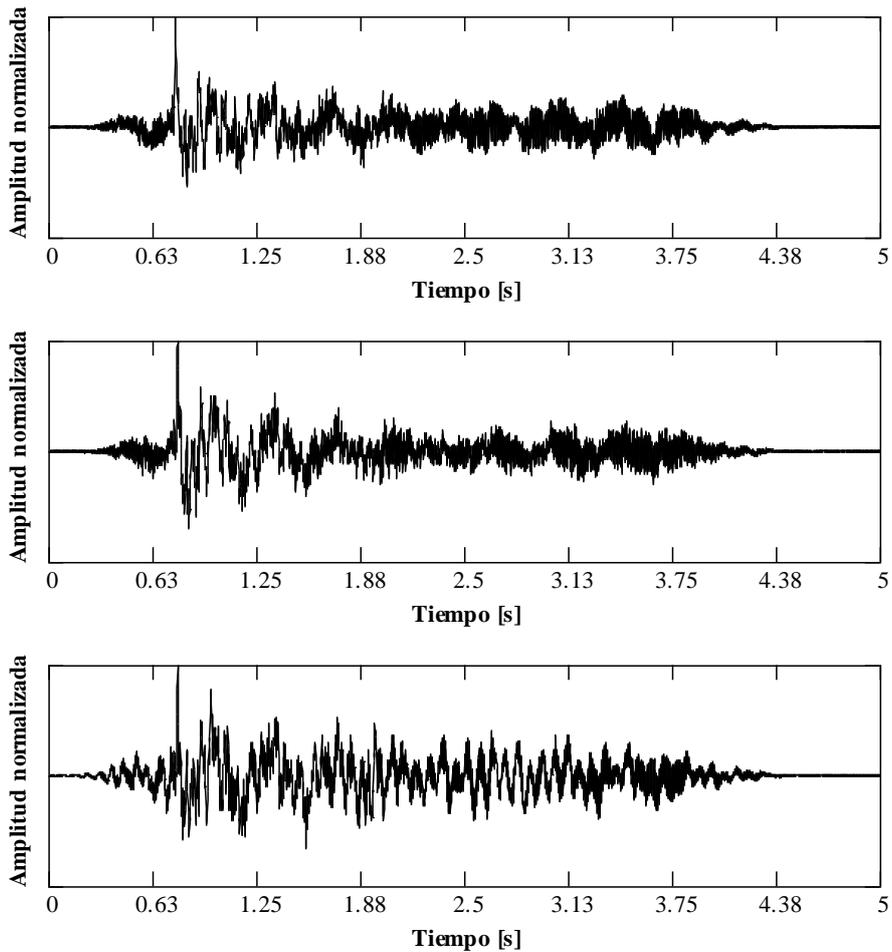


Figura 52. Acelerogramas registrados en el tramo 4 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

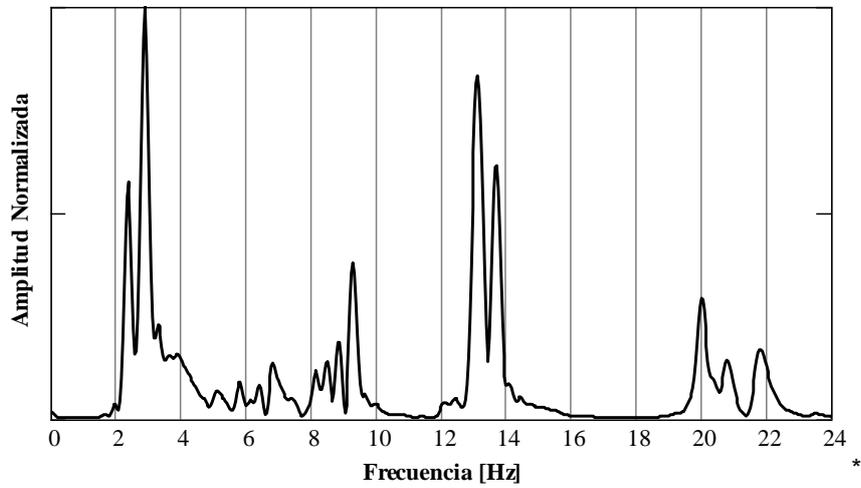


Figura 53. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 51

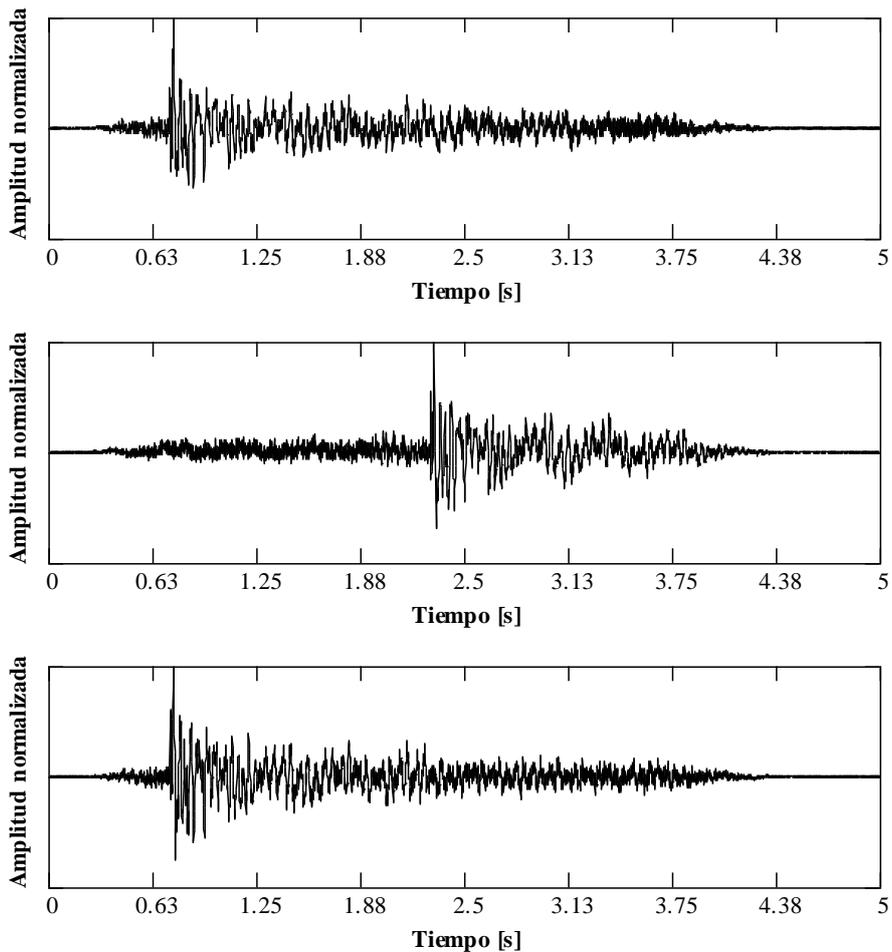


Figura 54. Acelerogramas registrados en el tramo 7 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

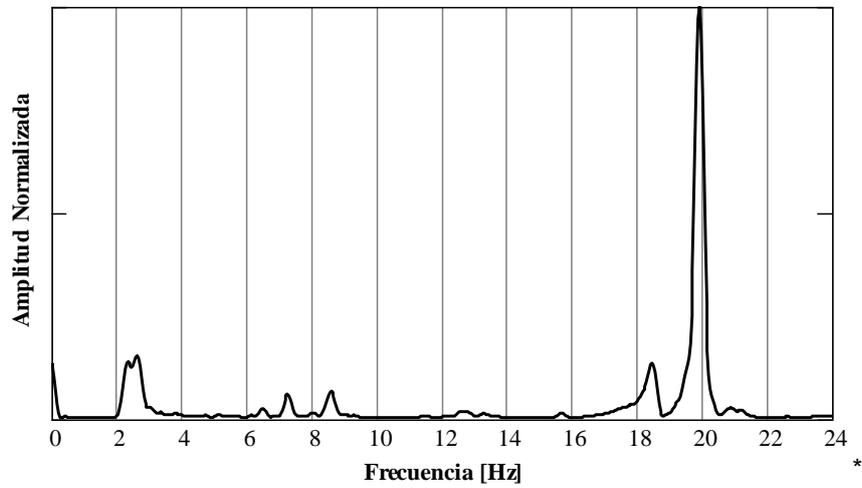


Figura 55. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 53

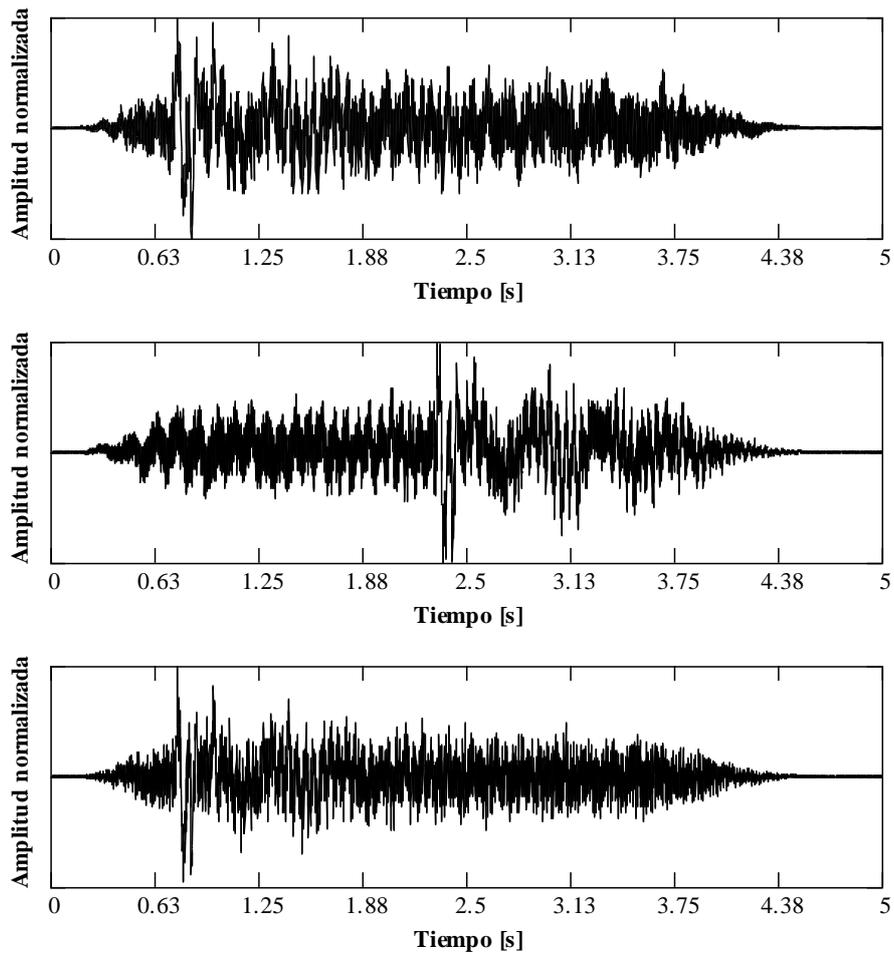


Figura 56. Acelerogramas registrados en el tramo 7 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

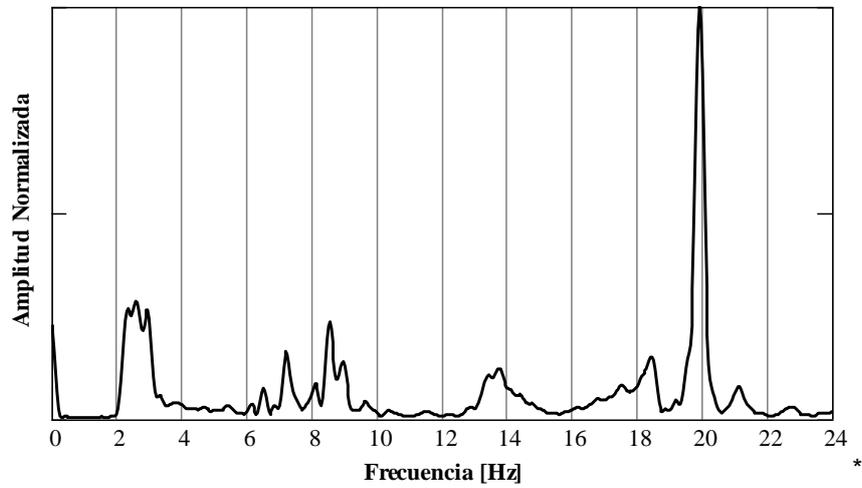


Figura 57. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 55

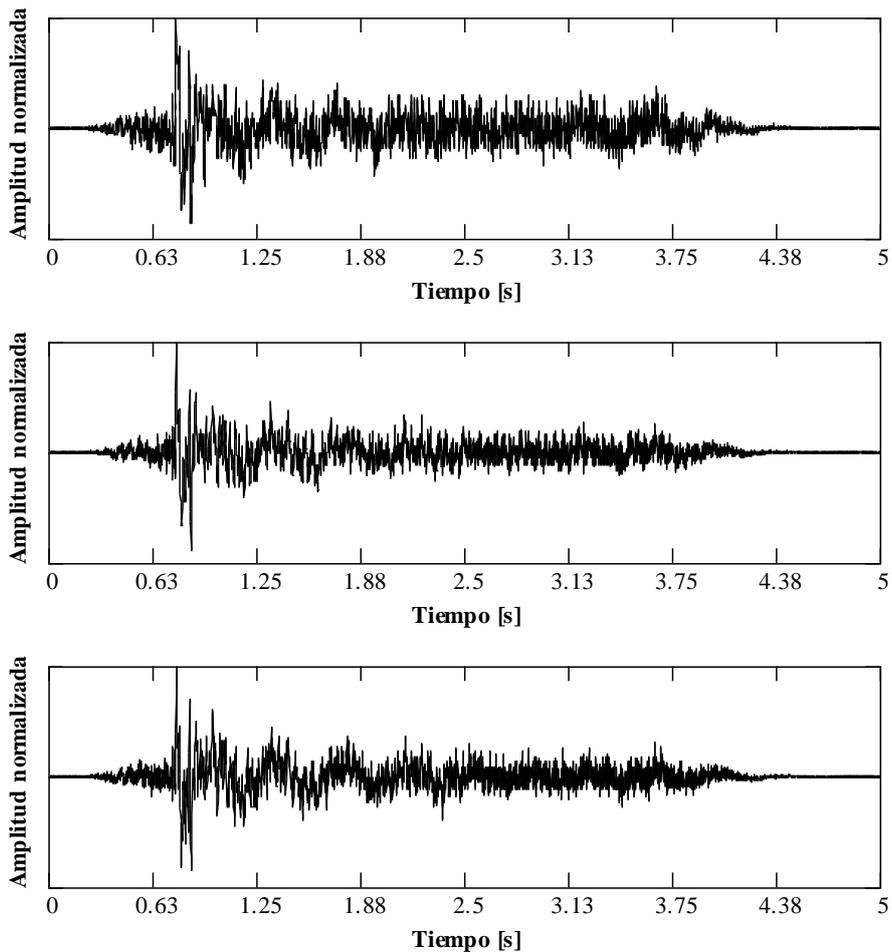


Figura 58. Acelerogramas registrados en el tramo 7 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

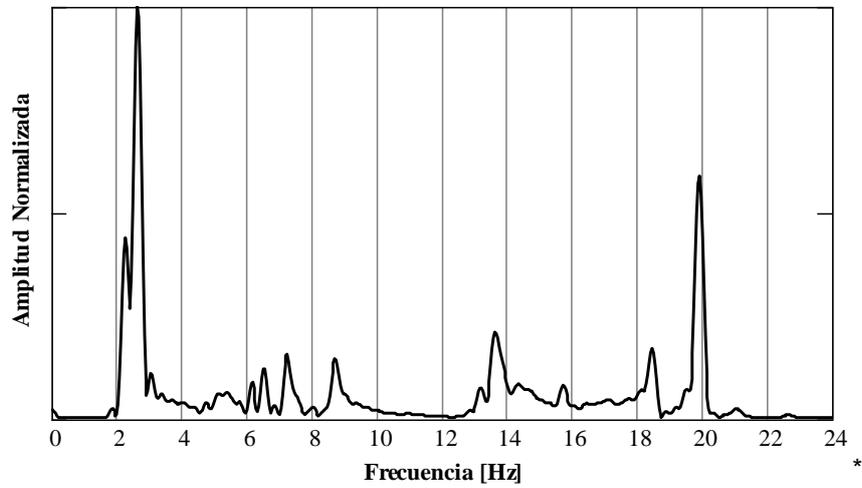


Figura 59. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 57

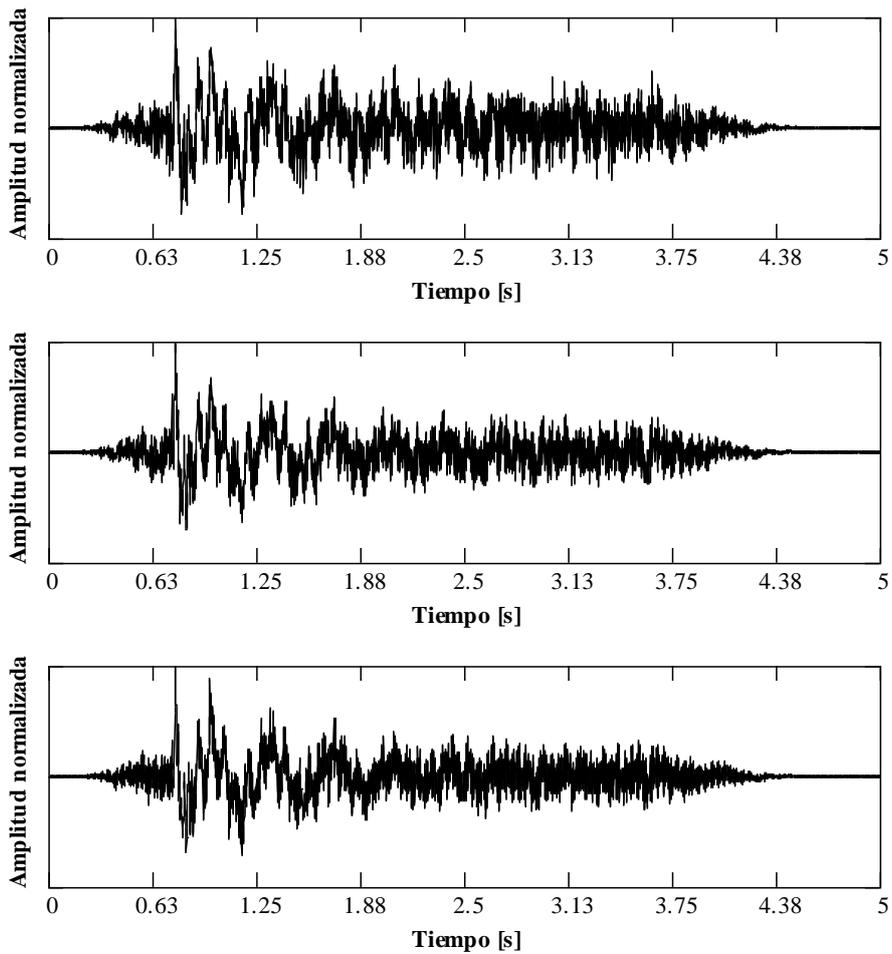


Figura 60. Acelerogramas registrados en el tramo 7 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

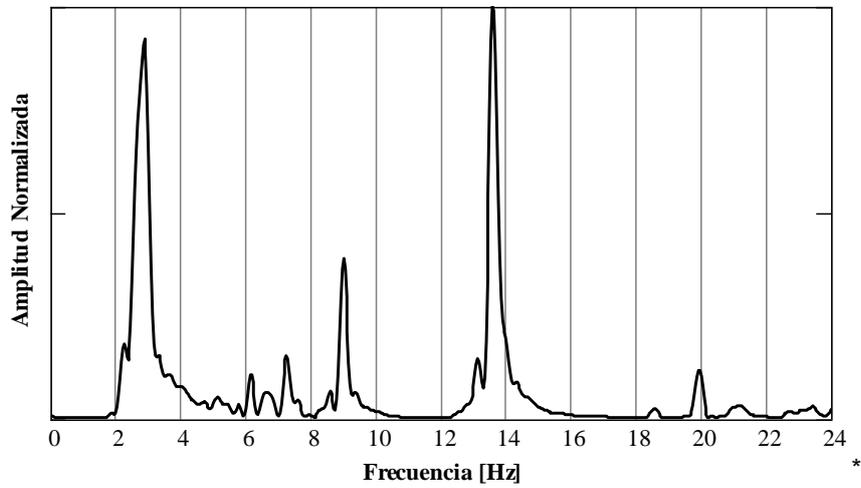


Figura 61. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 59

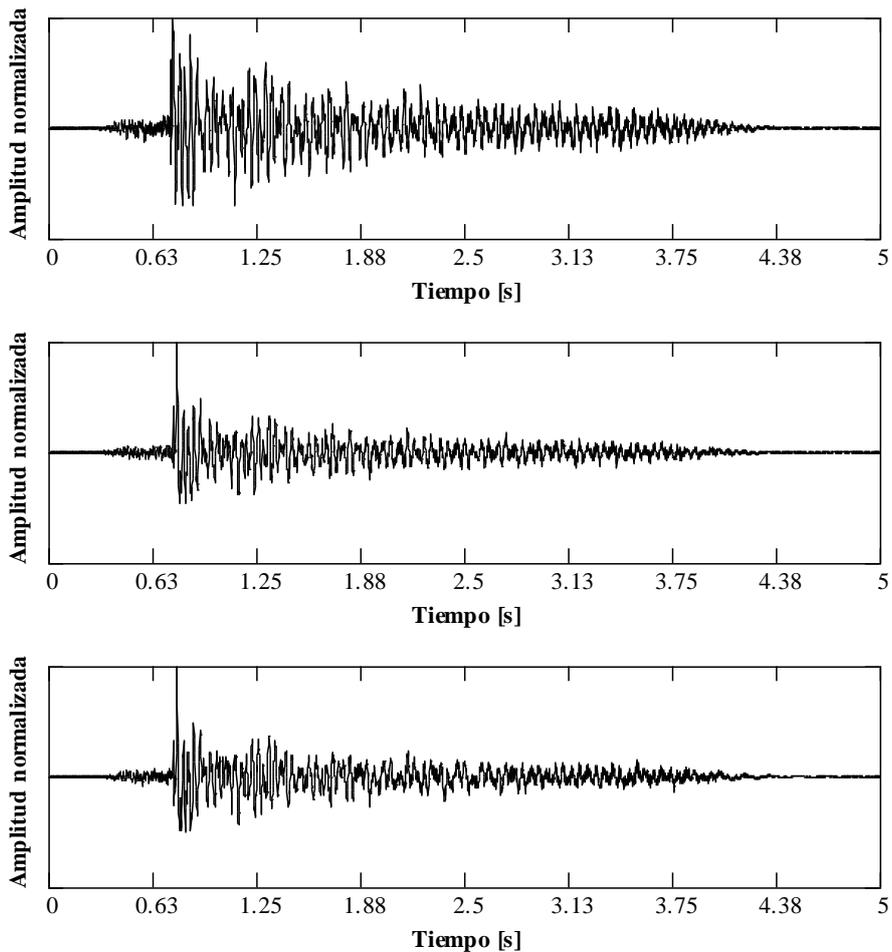


Figura 62. Acelerogramas registrados en el tramo 10 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

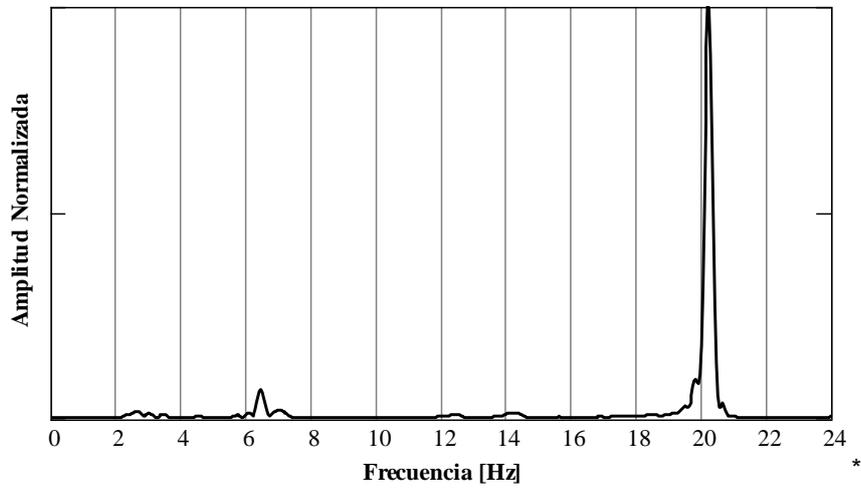


Figura 63. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 61

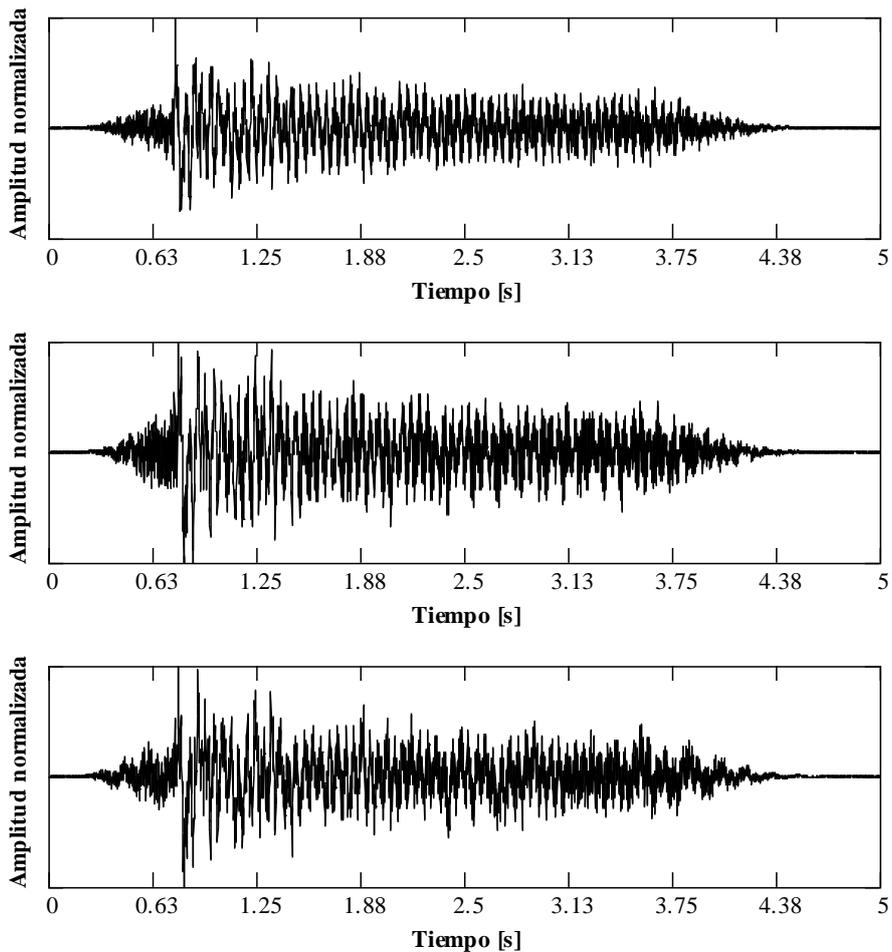


Figura 64. Acelerogramas registrados en el tramo 10 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

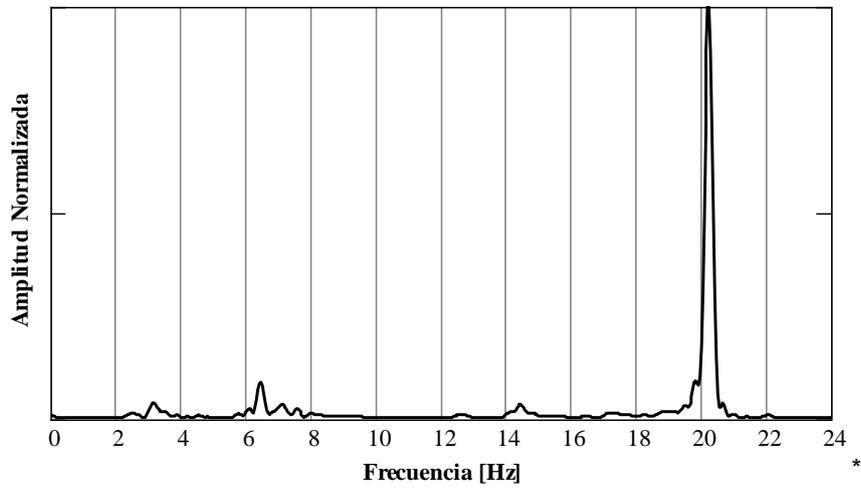


Figura 65. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 63

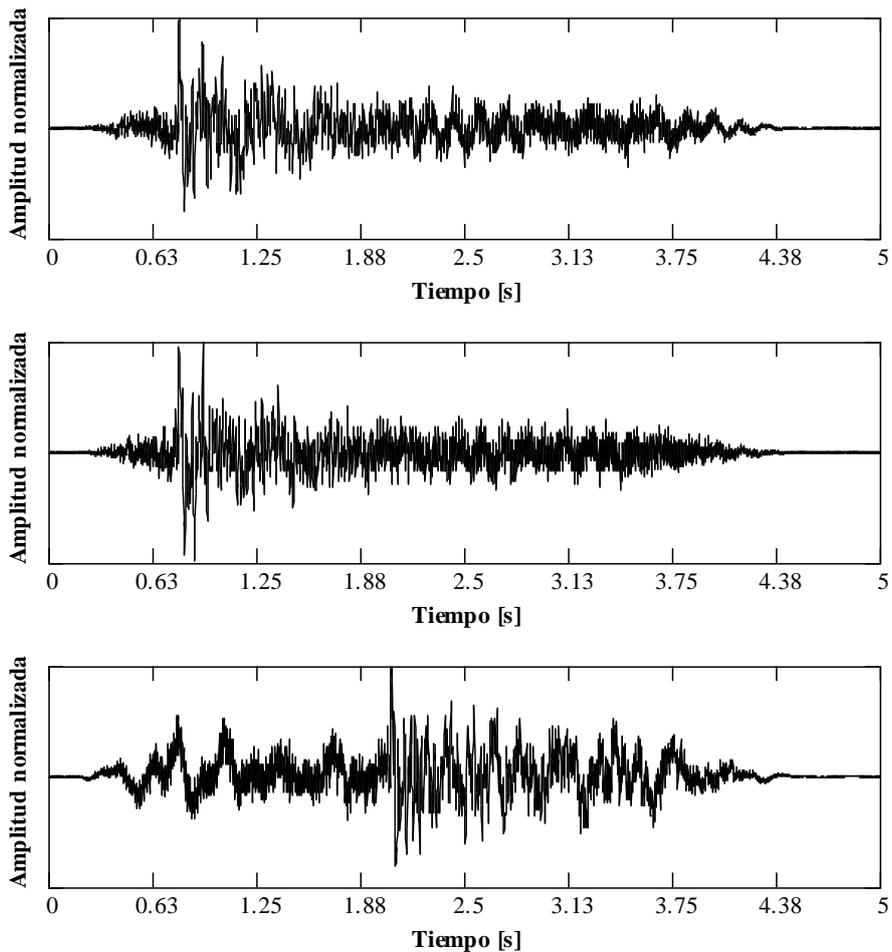


Figura 66. Acelerogramas registrados en el tramo 10 (viaducto lado Uruguay), sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

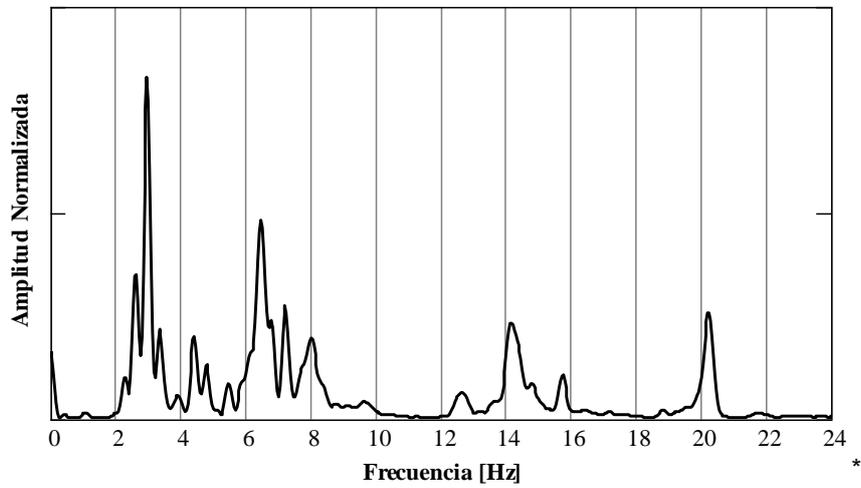


Figura 67. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 65

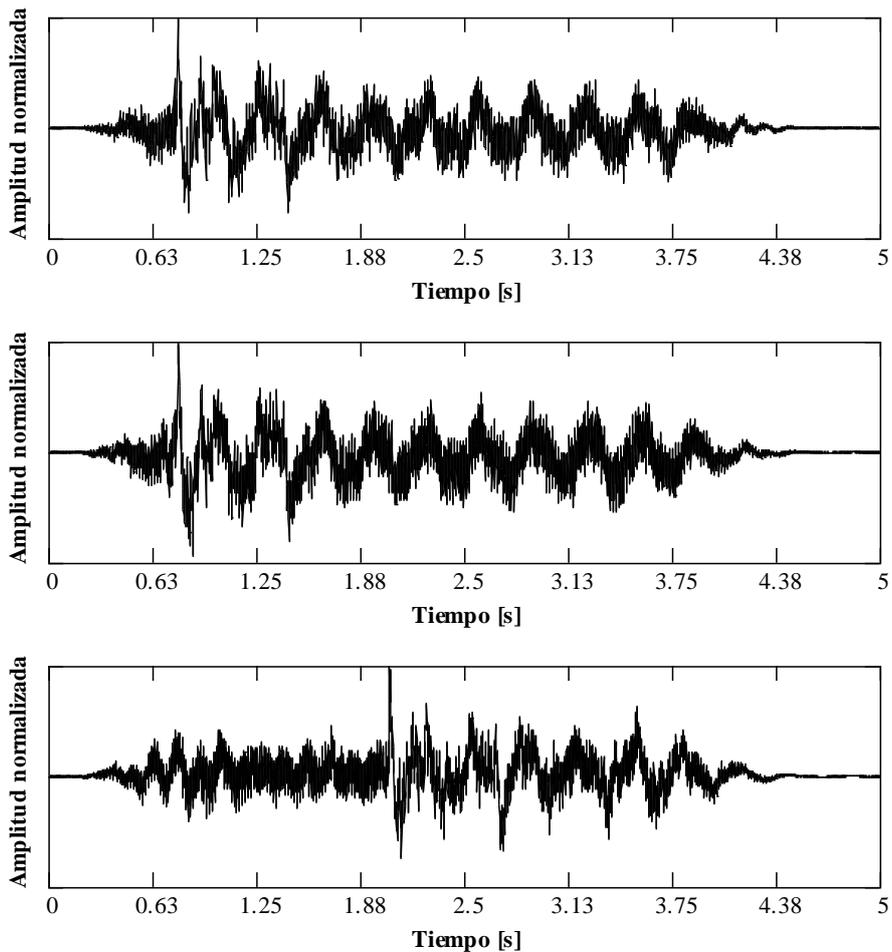


Figura 68. Acelerogramas registrados en el tramo 10 (viaducto lado Uruguay), sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

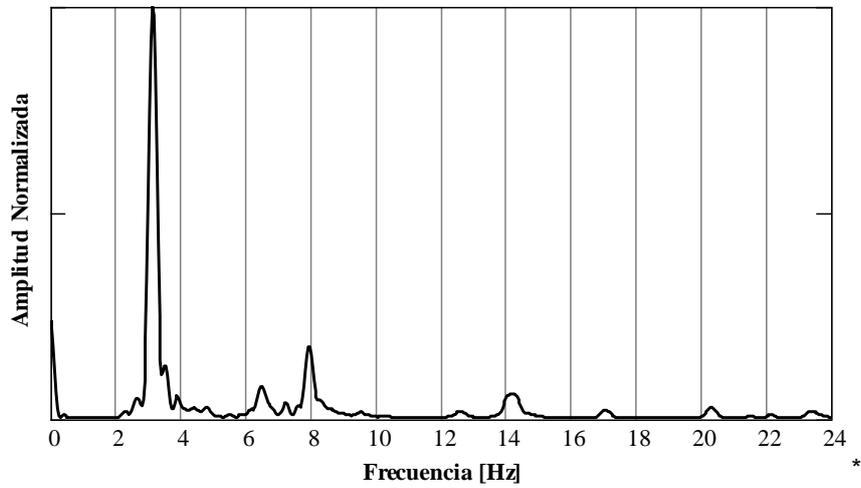


Figura 69. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 67

1.3. Viaducto Argentino

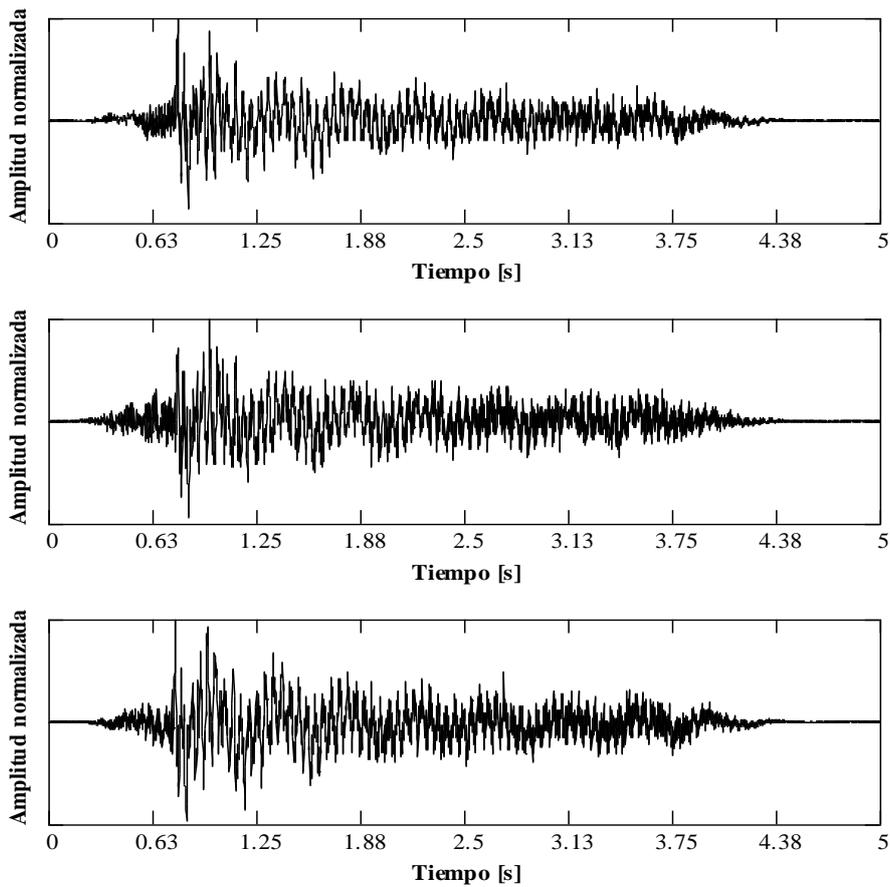


Figura 70. Acelerogramas registrados en el tramo 12 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

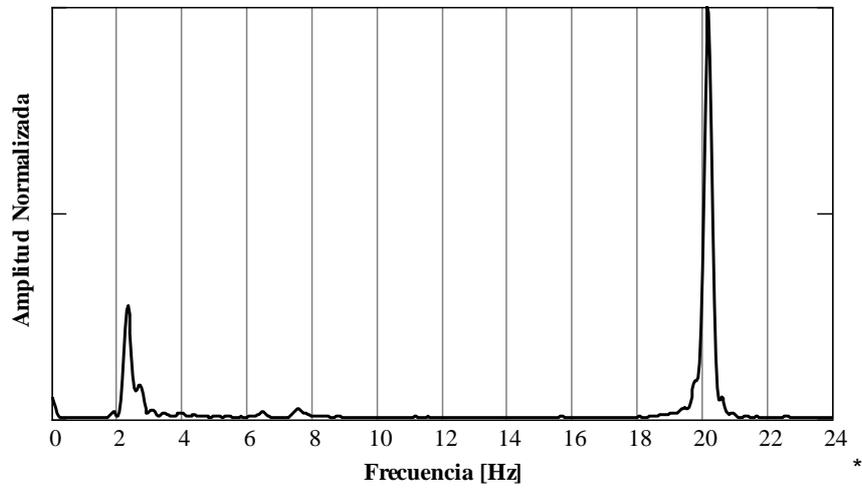


Figura 71. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 69

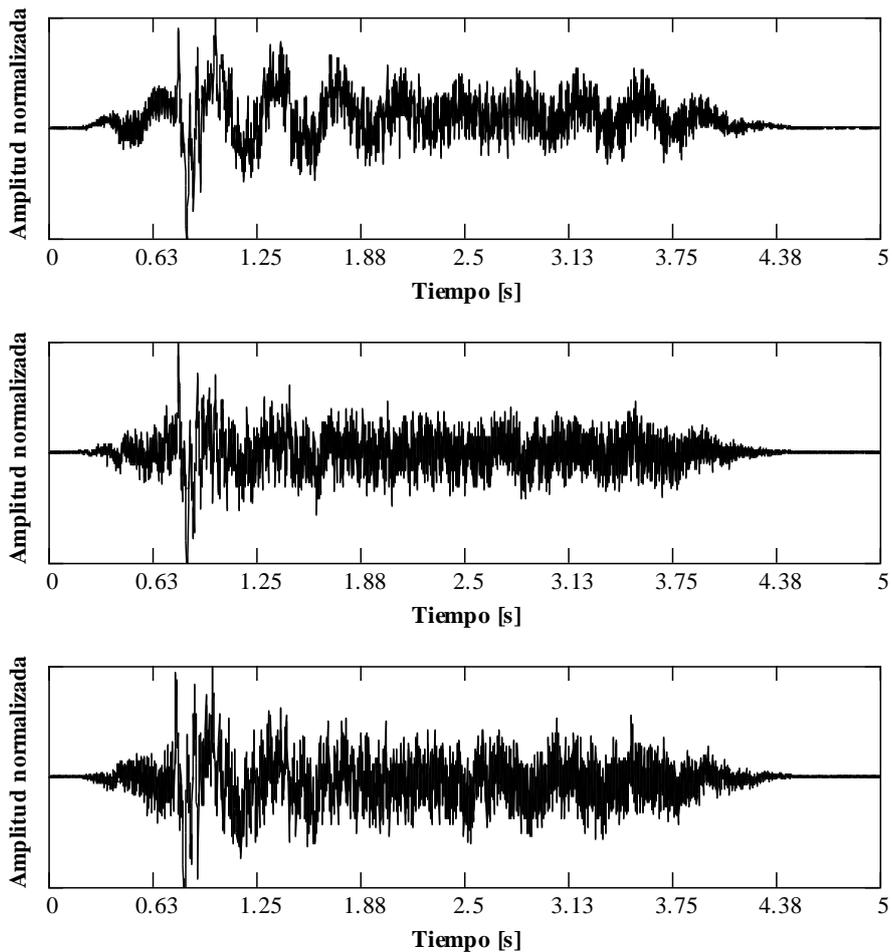


Figura 72. Acelerogramas registrados en el tramo 12 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

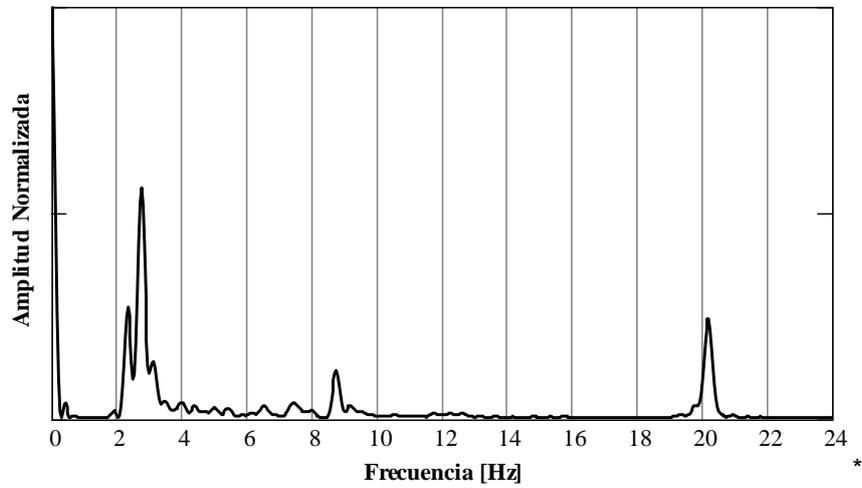


Figura 73. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 71

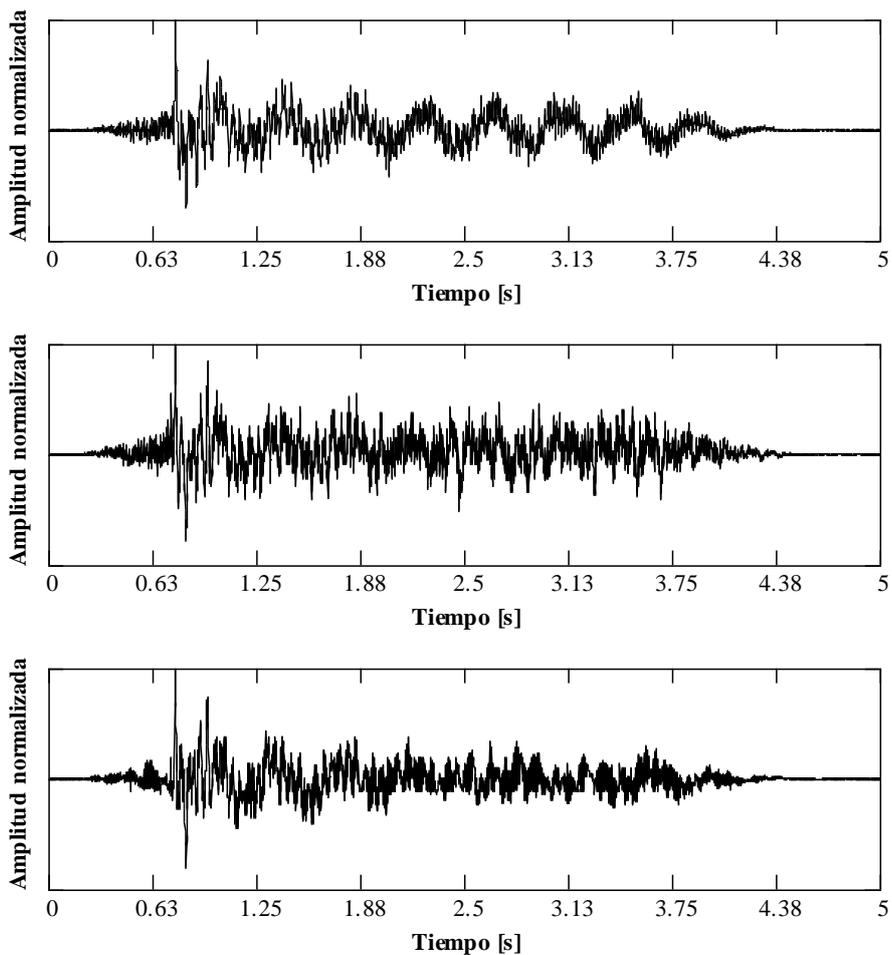


Figura 74. Acelerogramas registrados en el tramo 15 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

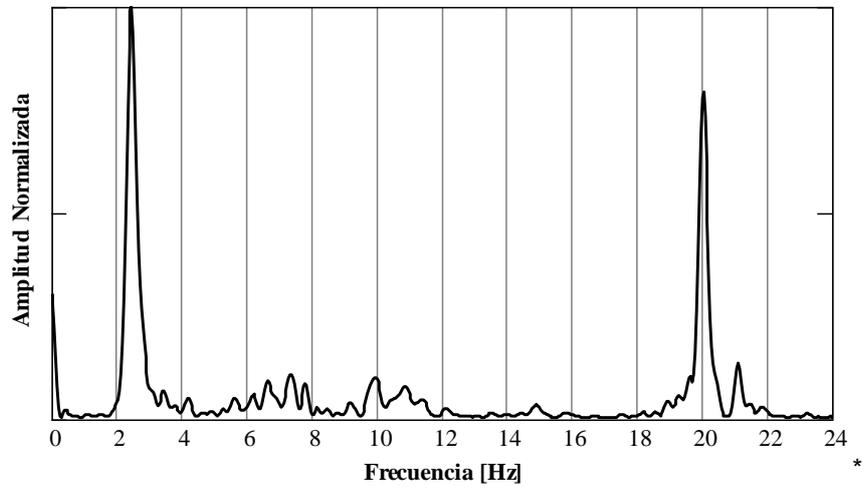


Figura 75. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 73

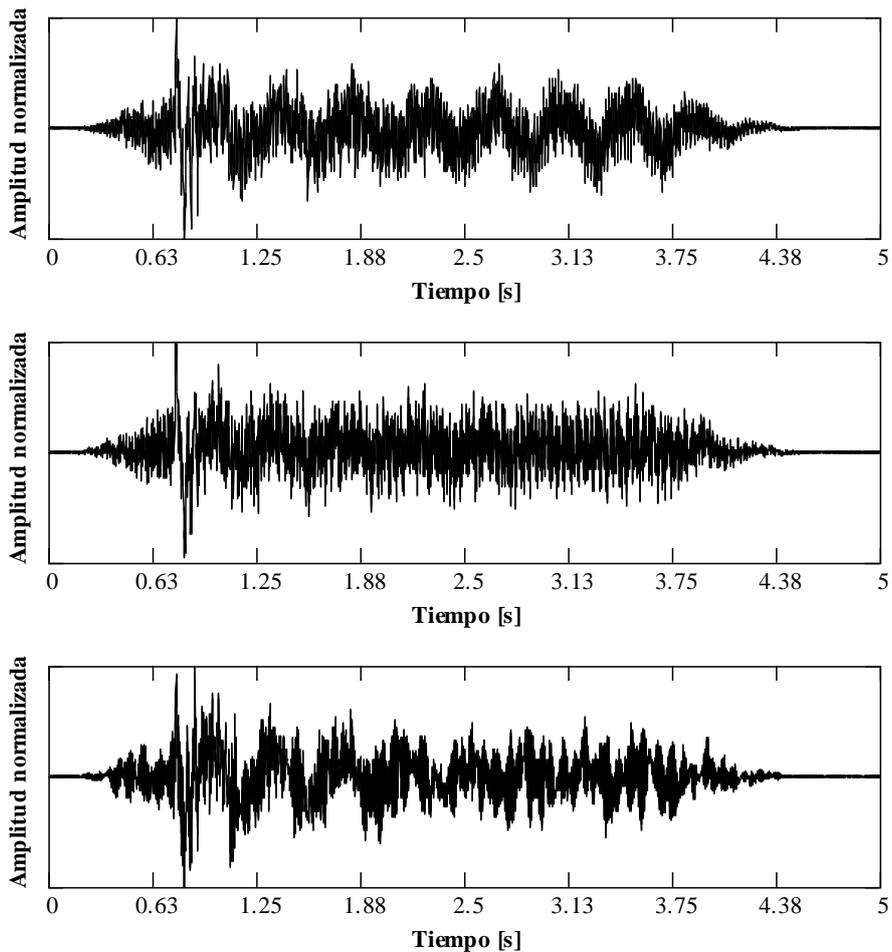


Figura 76. Acelerogramas registrados en el tramo 15 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

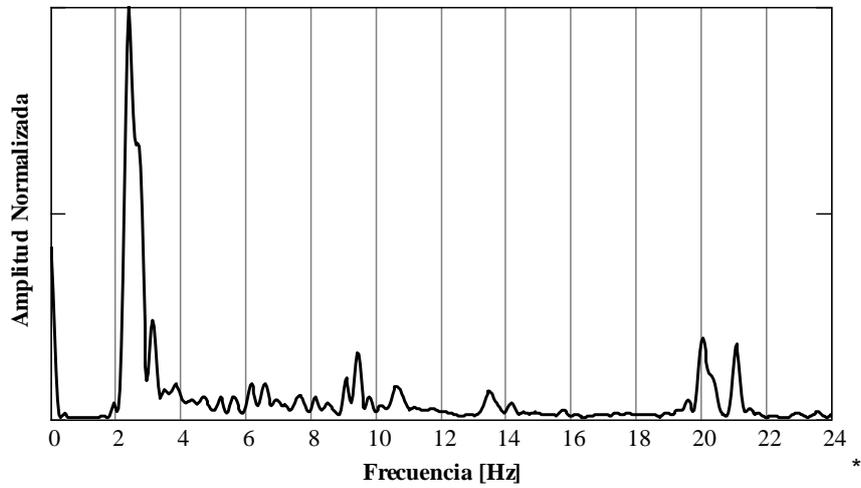


Figura 77. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 75

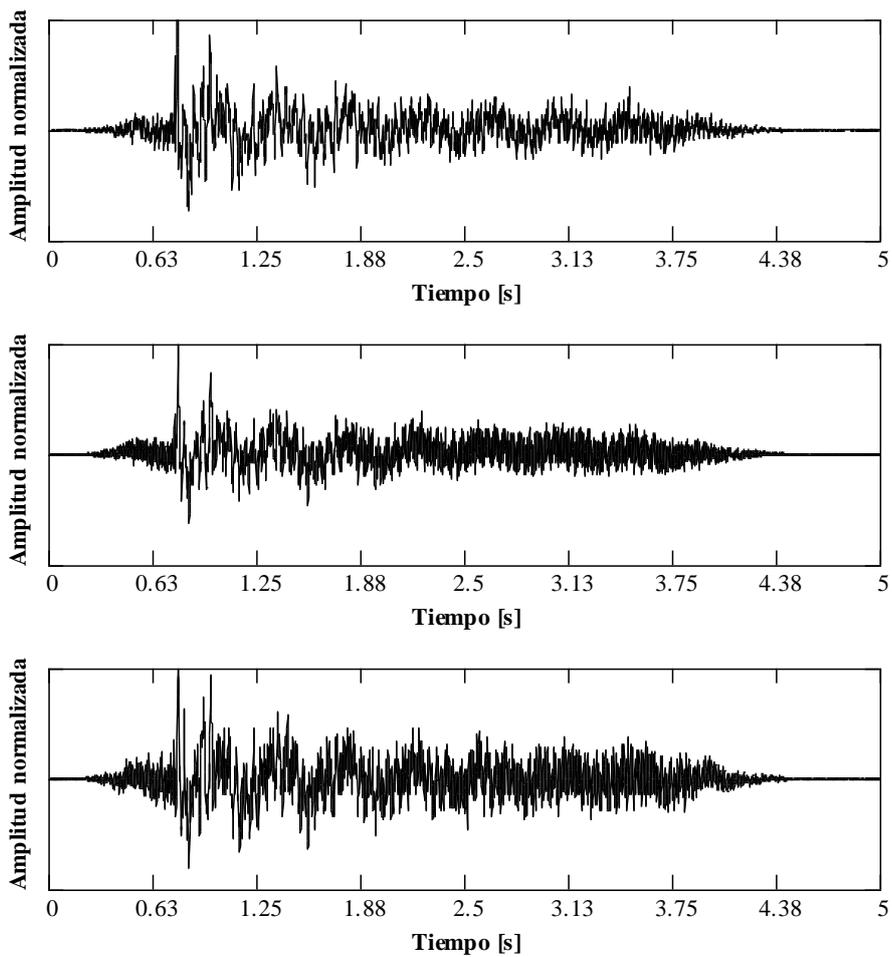


Figura 78. Acelerogramas registrados en el tramo 19 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

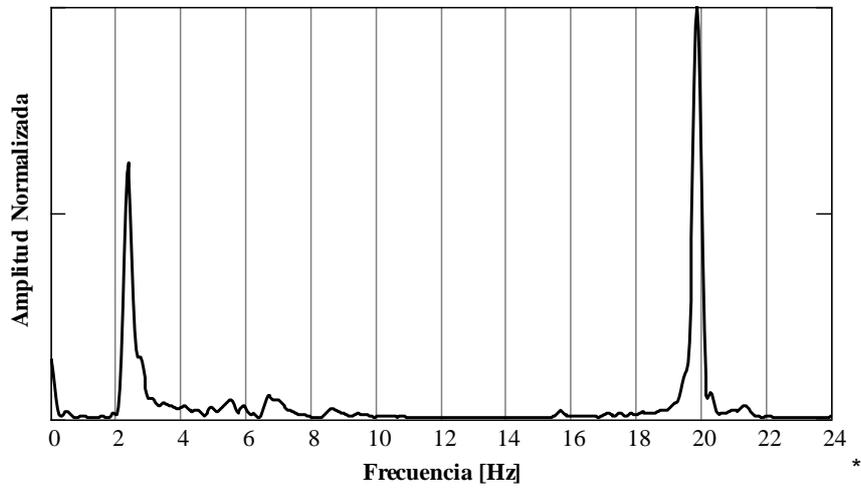


Figura 79. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 77

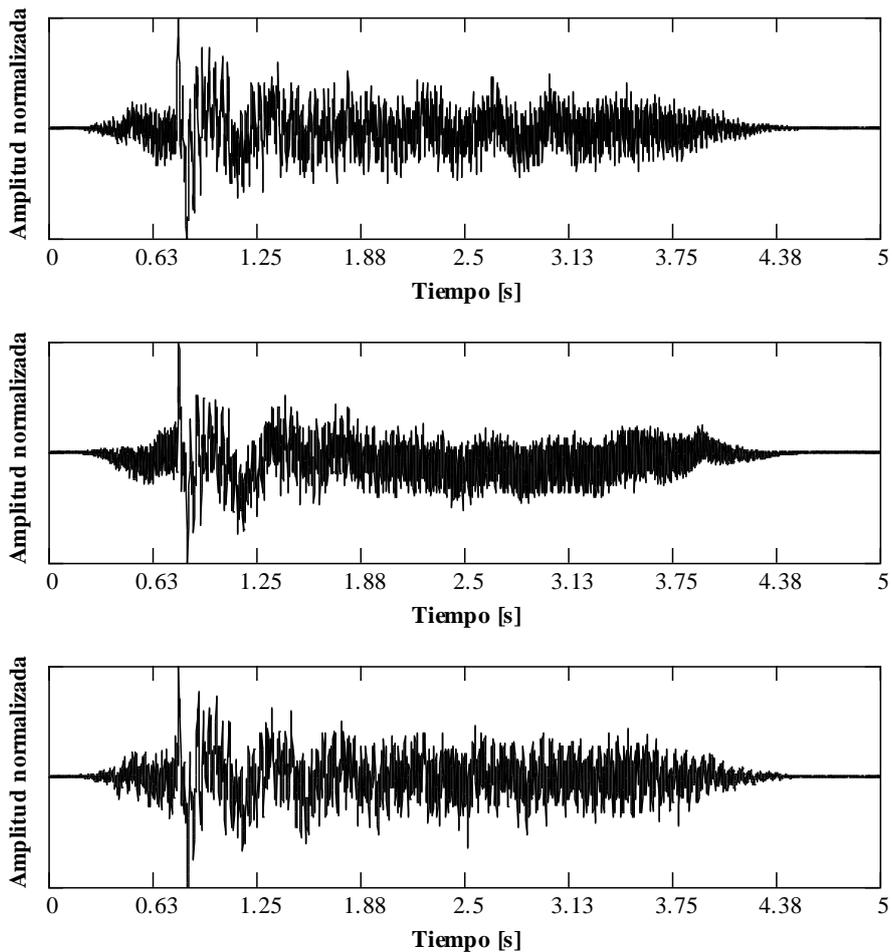


Figura 80. Acelerogramas registrados en el tramo 19 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

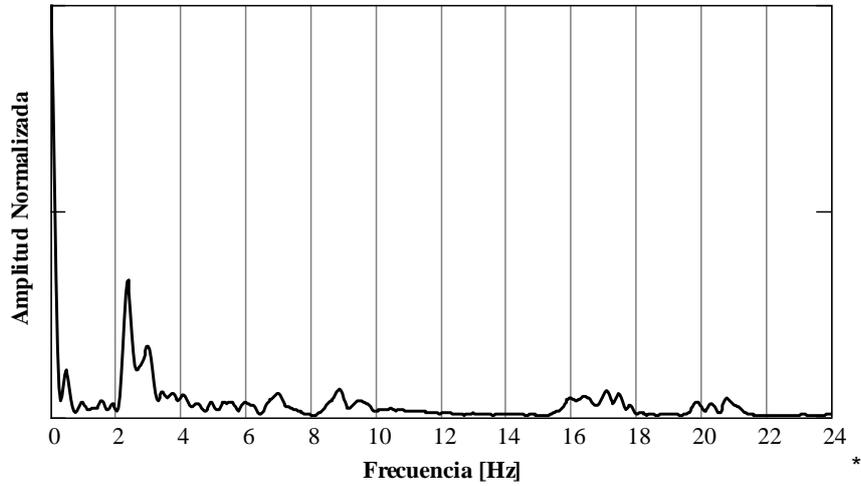


Figura 81. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 79

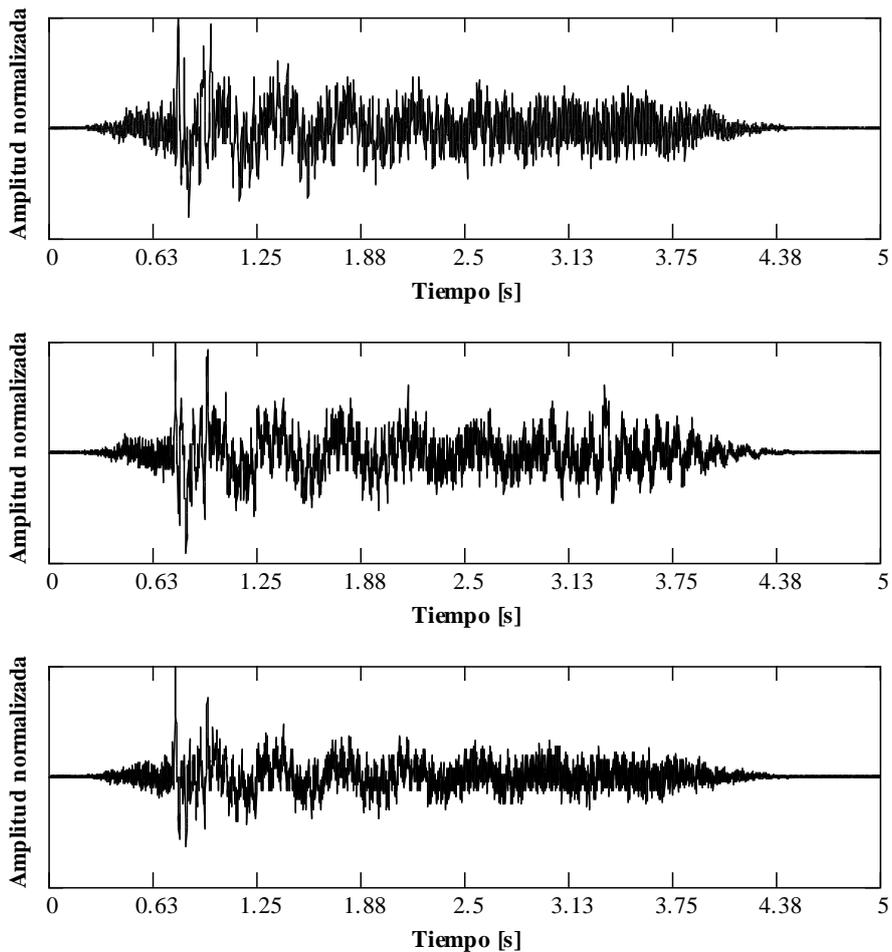


Figura 82. Acelerogramas registrados en el tramo 23 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

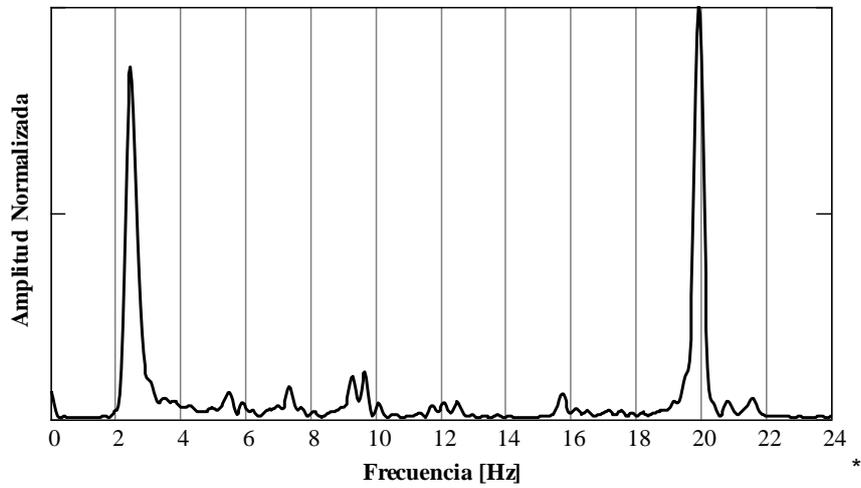


Figura 83. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 81

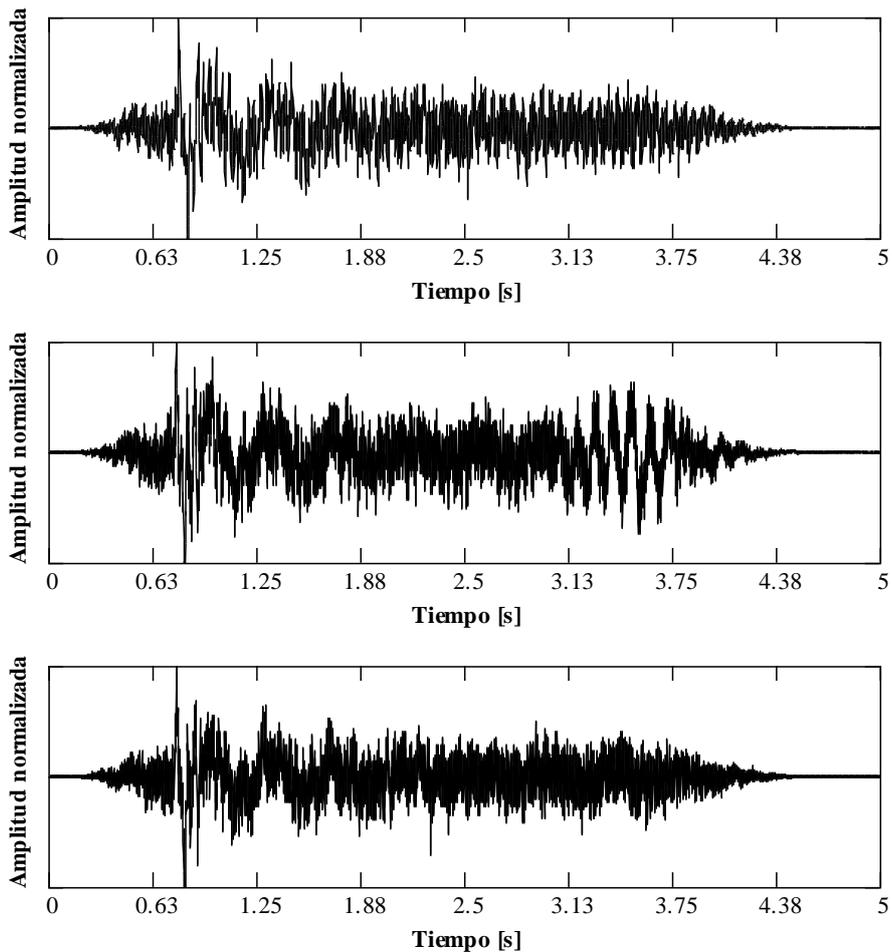


Figura 84. Acelerogramas registrados en el tramo 23 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

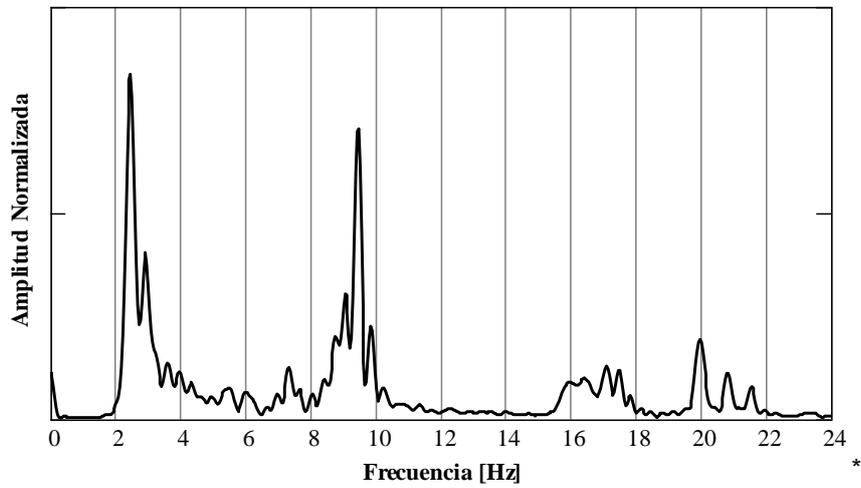


Figura 85. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 83

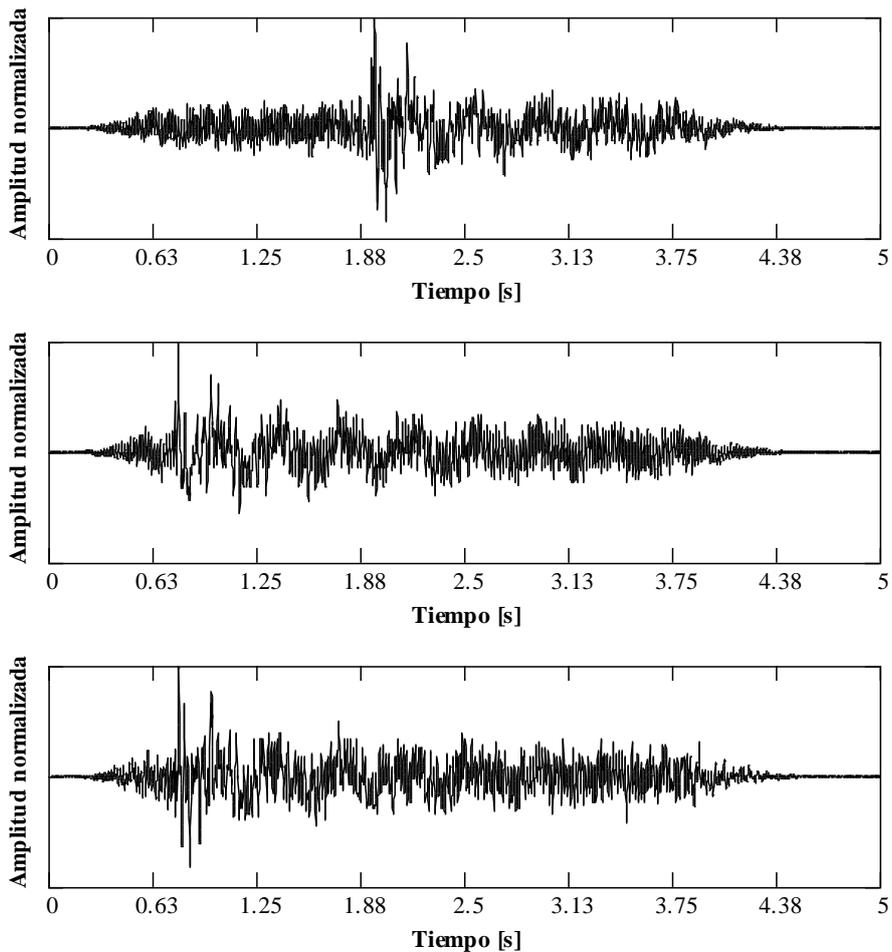


Figura 86. Acelerogramas registrados en el tramo 27 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

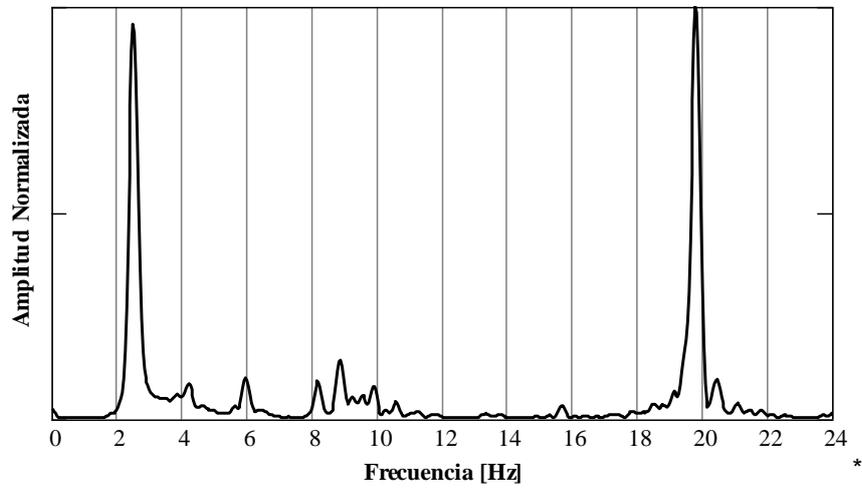


Figura 87. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 85

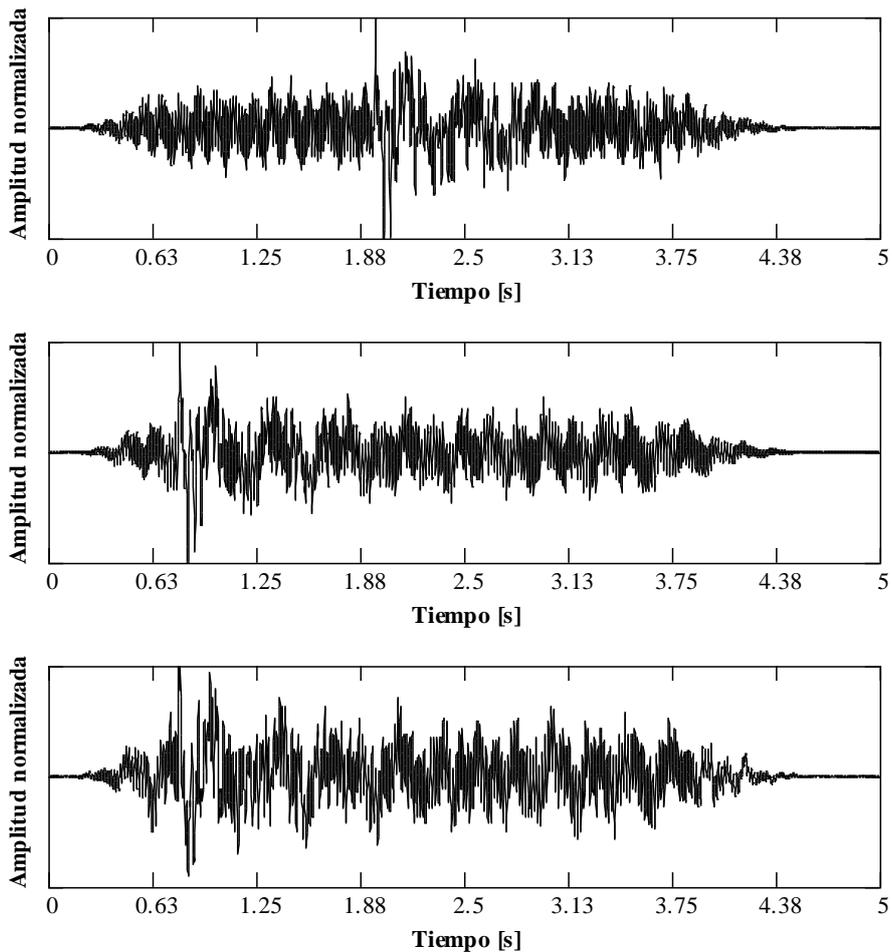


Figura 88. Acelerogramas registrados en el tramo 27 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

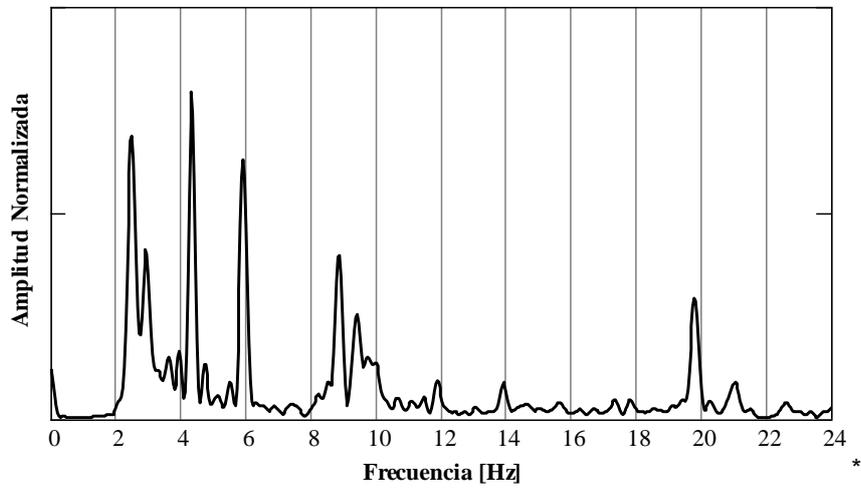


Figura 89. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 87

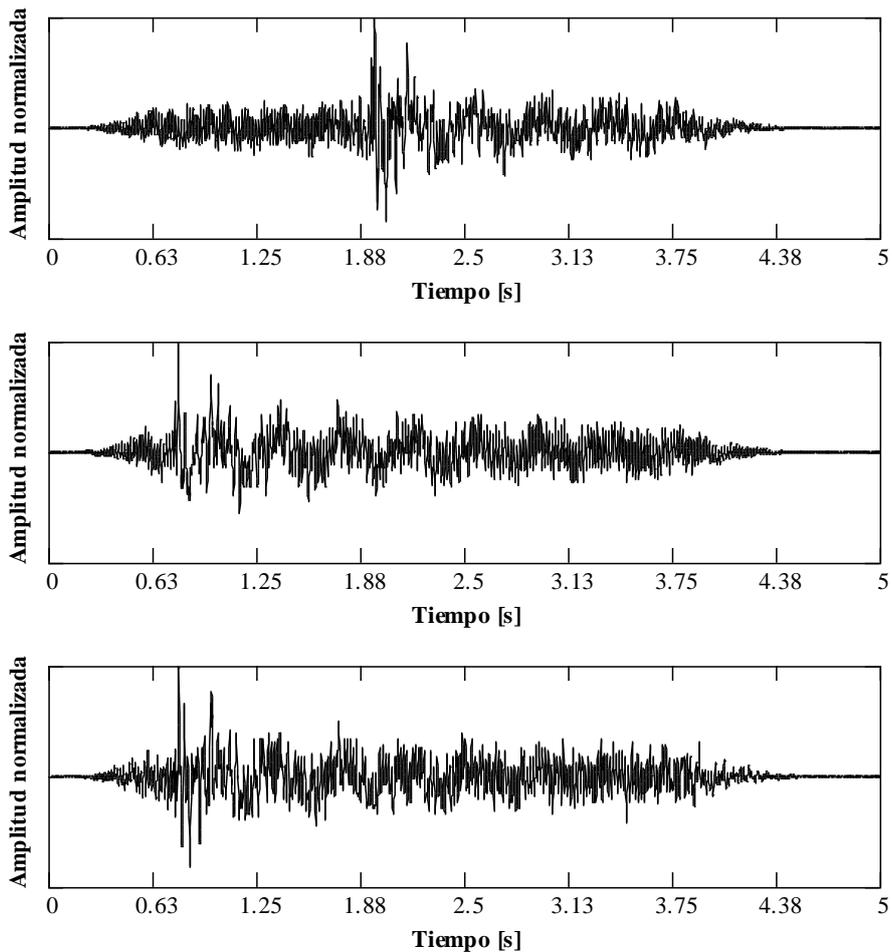


Figura 90. Acelerogramas registrados en el tramo 31 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

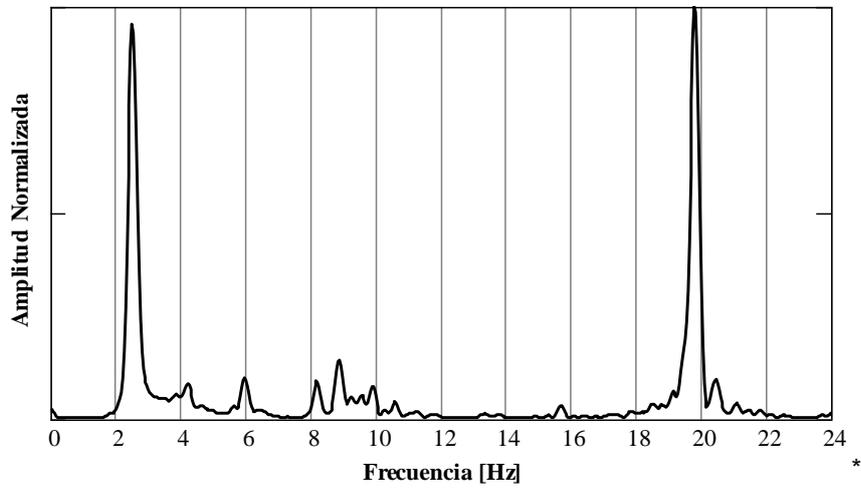


Figura 91. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 89

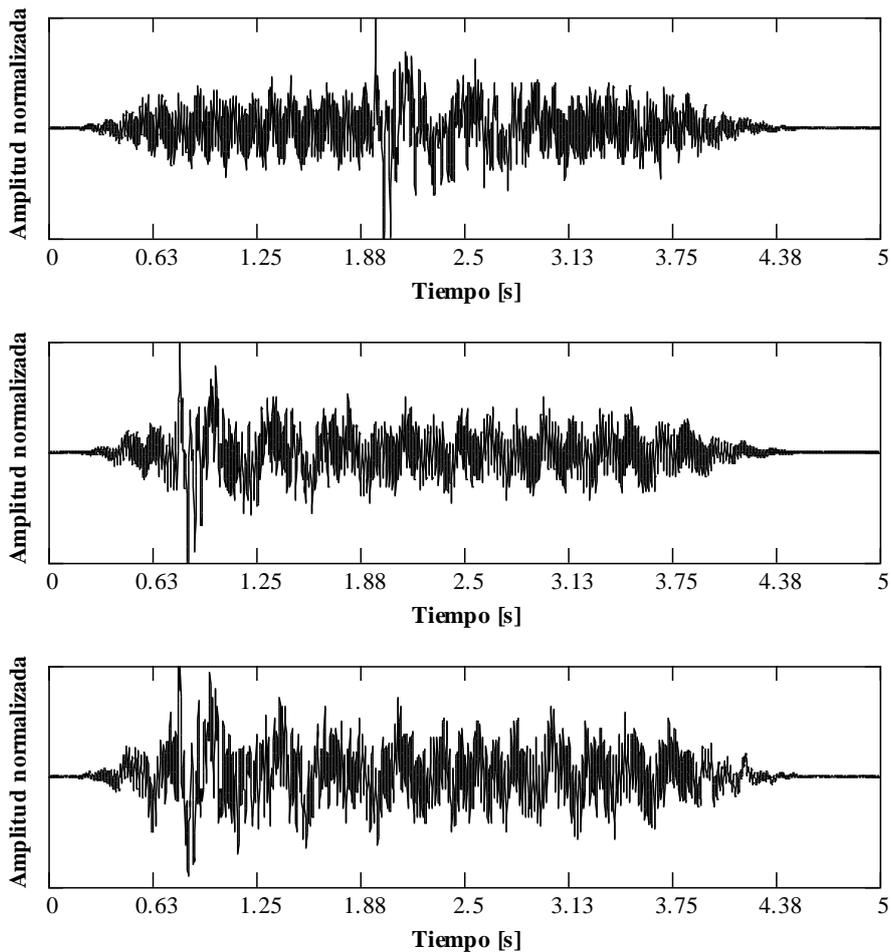


Figura 92. Acelerogramas registrados en el tramo 31 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

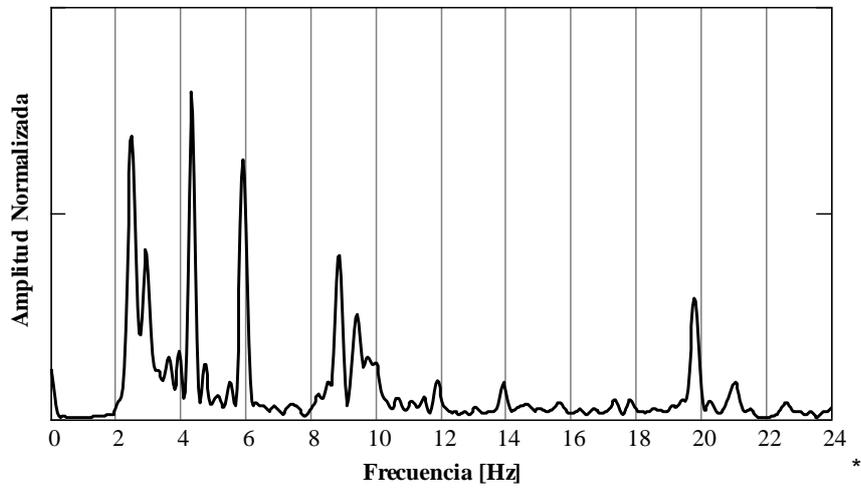


Figura 93. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 91

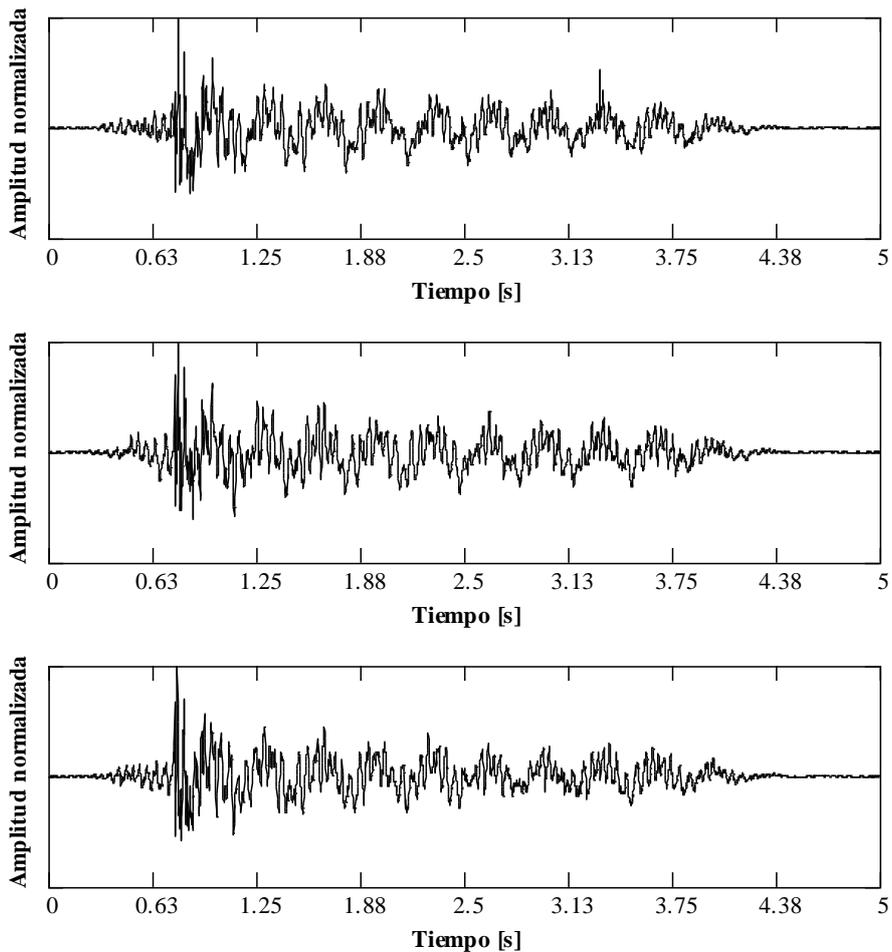


Figura 94. Acelerogramas registrados en el tramo 32 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

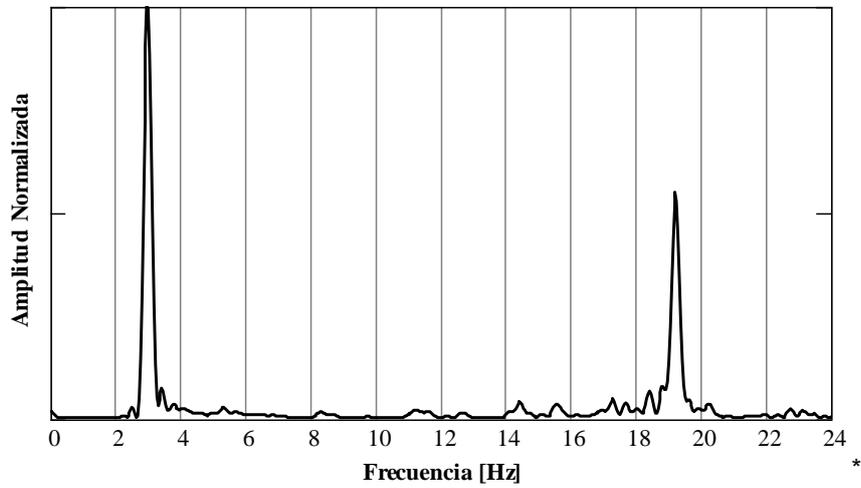


Figura 95. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 93

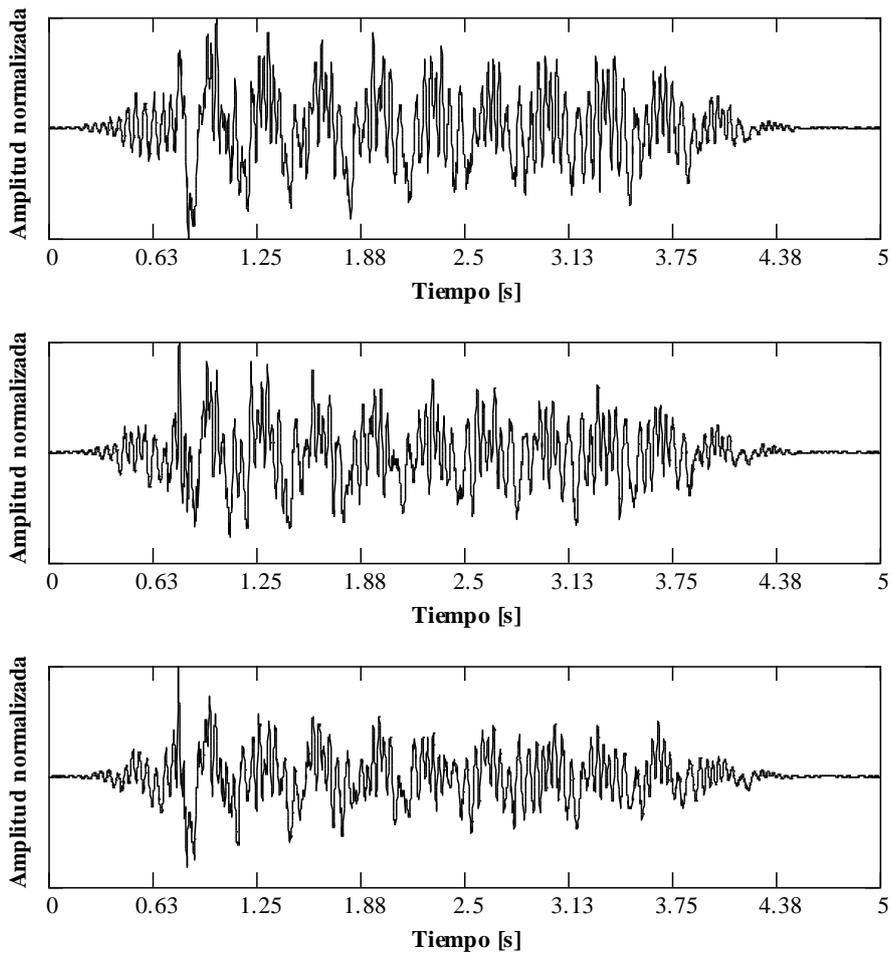


Figura 96. Acelerogramas registrados en el tramo 32 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

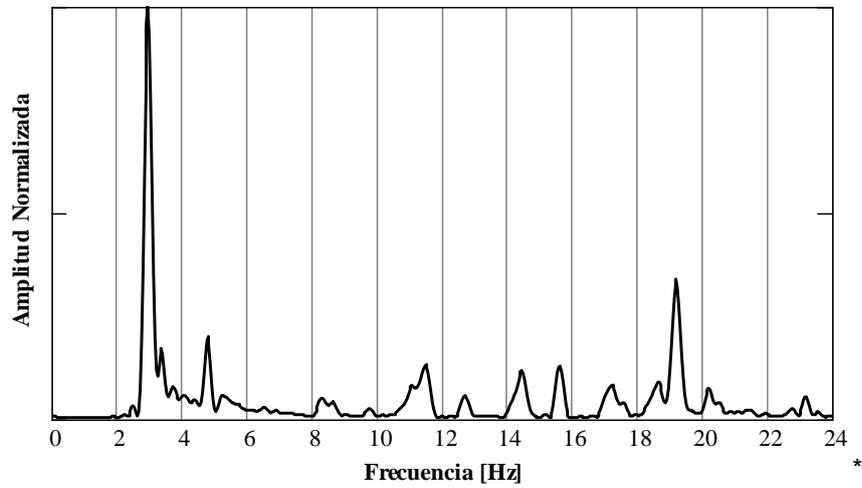


Figura 97. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 95

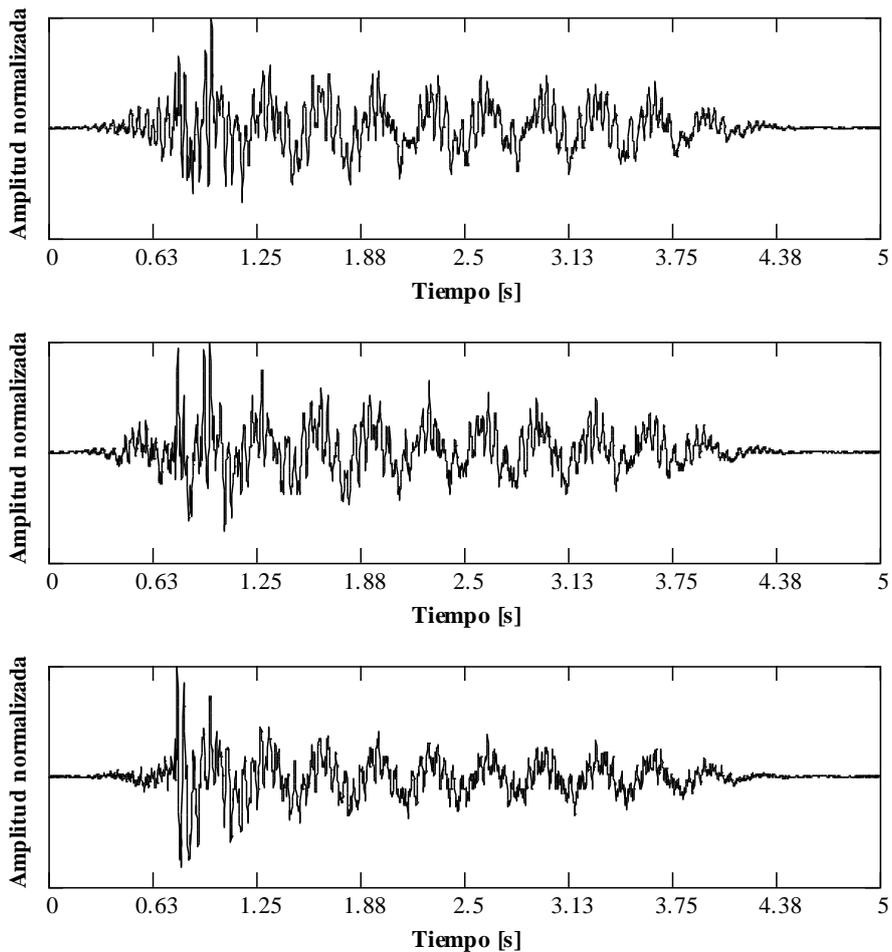


Figura 98. Acelerogramas registrados en el tramo 36 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

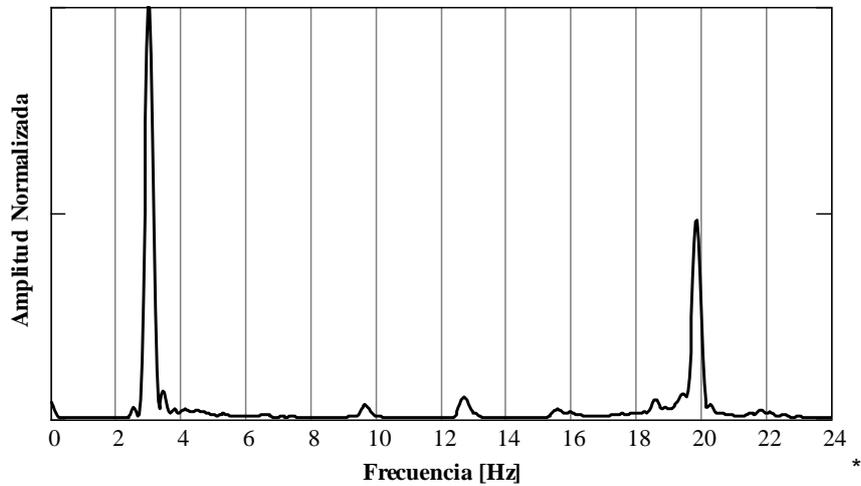


Figura 99. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 97

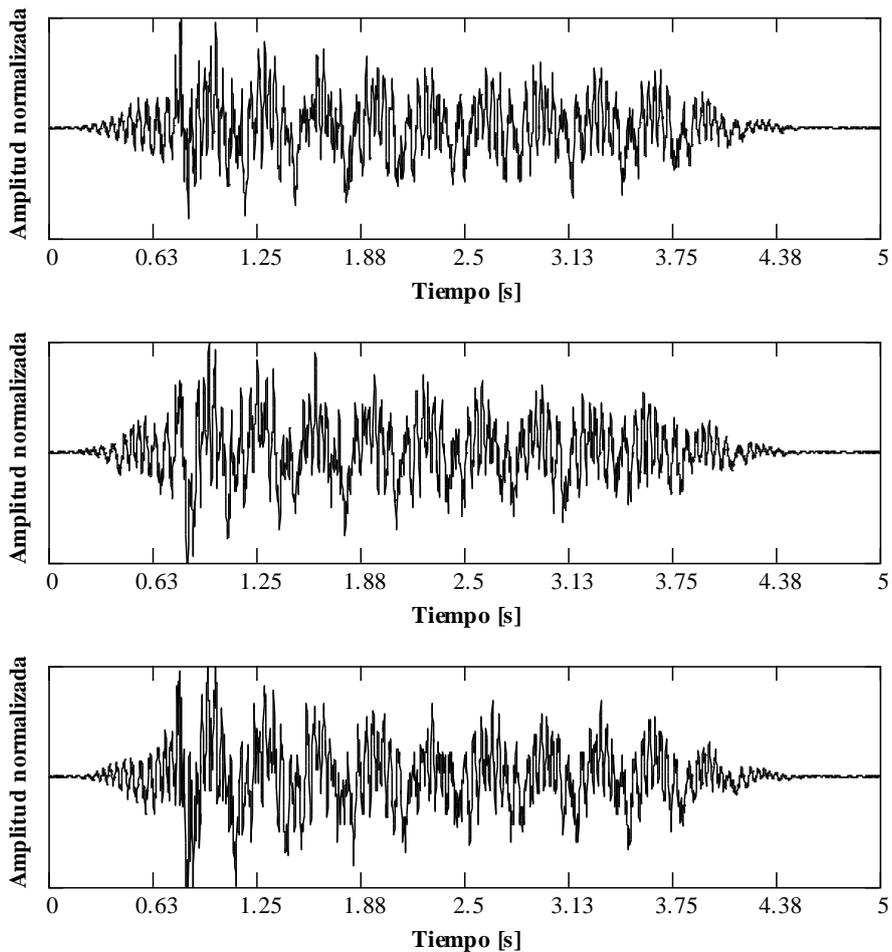


Figura 100. Acelerogramas registrados en el tramo 36 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

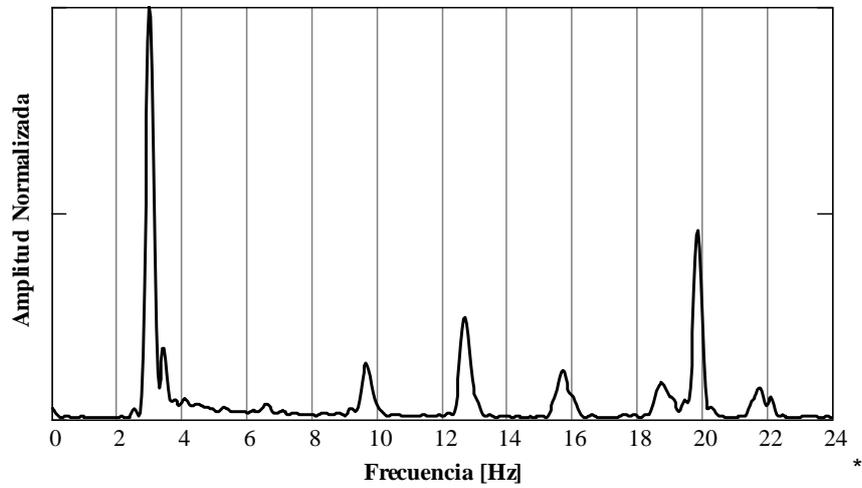


Figura 101. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 99

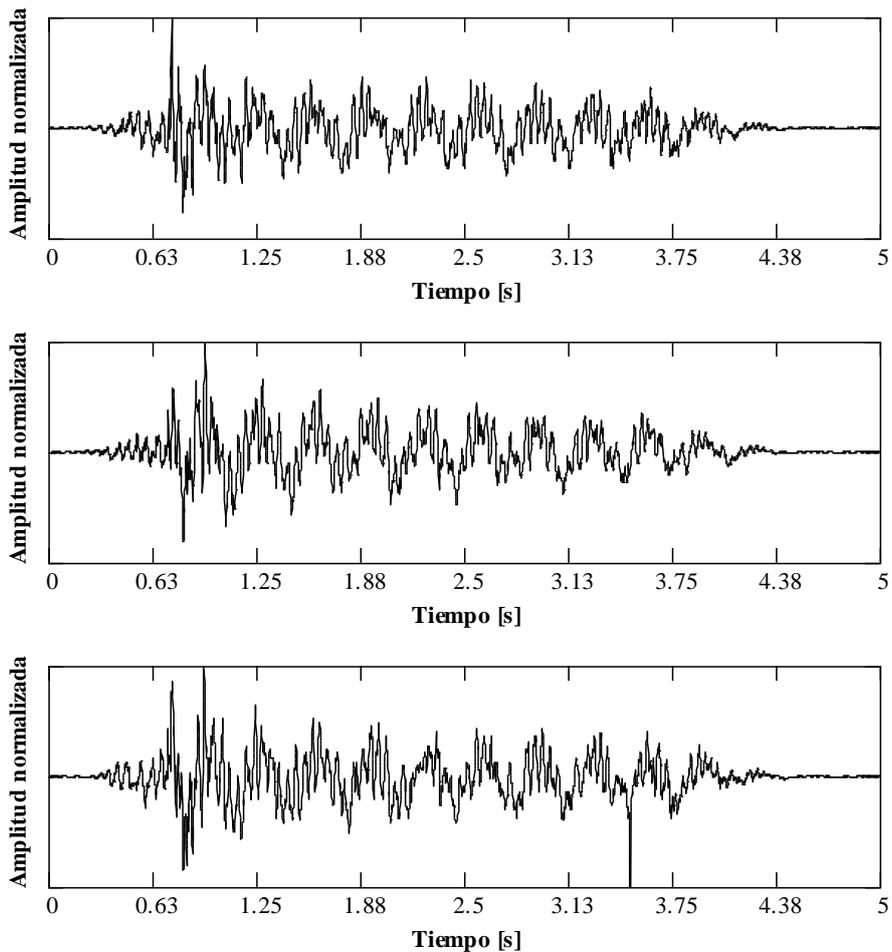


Figura 102. Acelerogramas registrados en el tramo 40 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

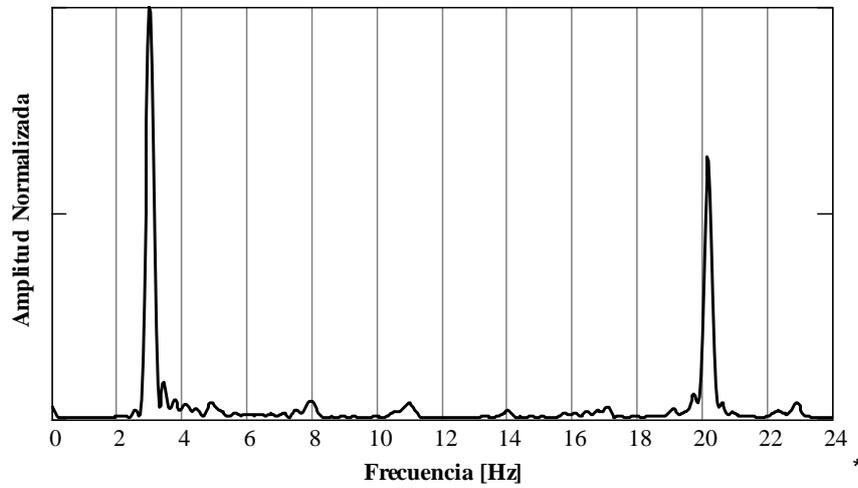


Figura 103. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 101

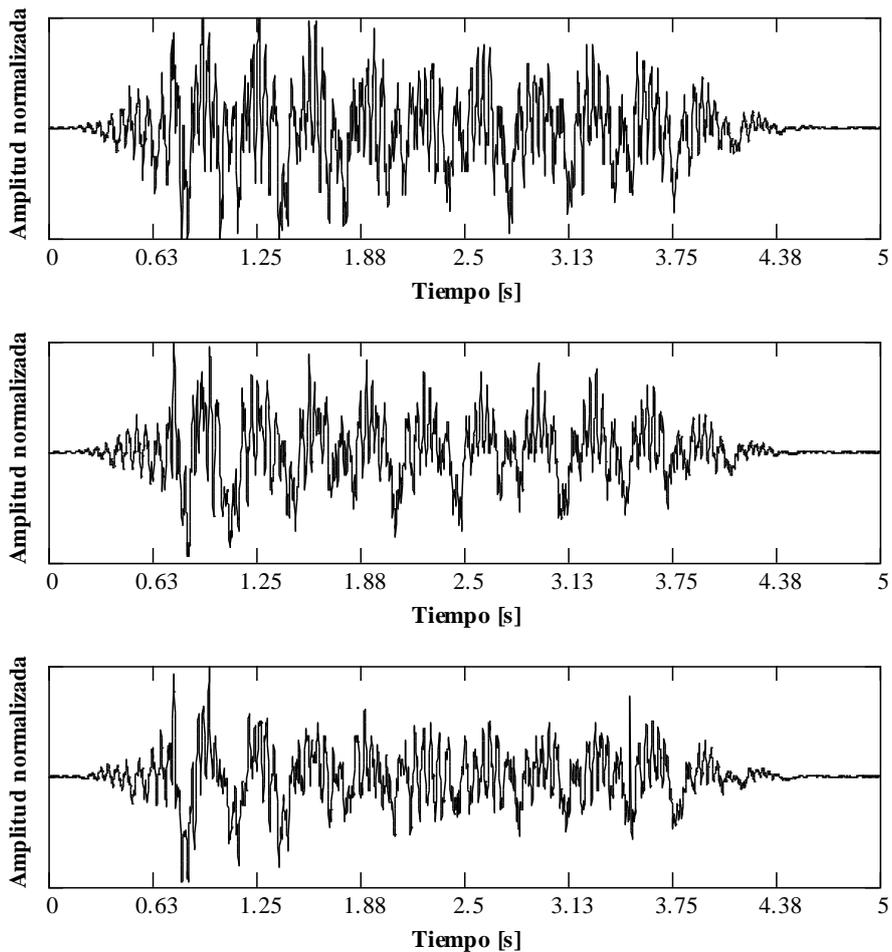


Figura 104. Acelerogramas registrados en el tramo 40 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

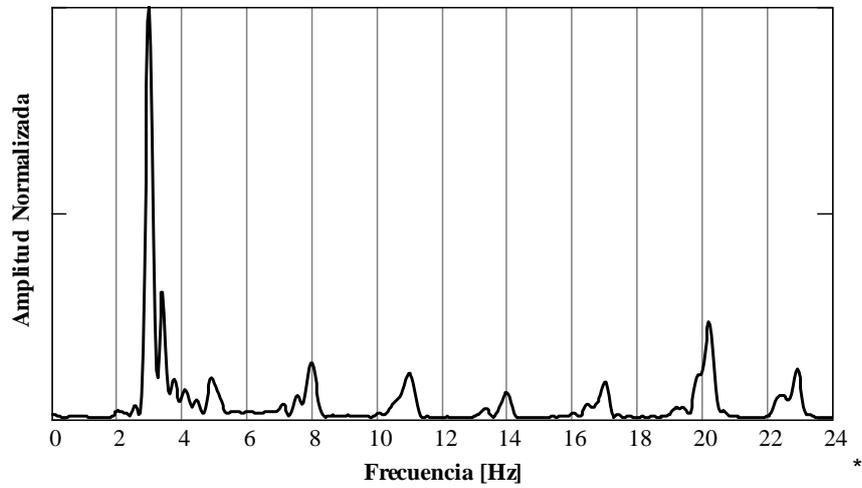


Figura 105. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 103

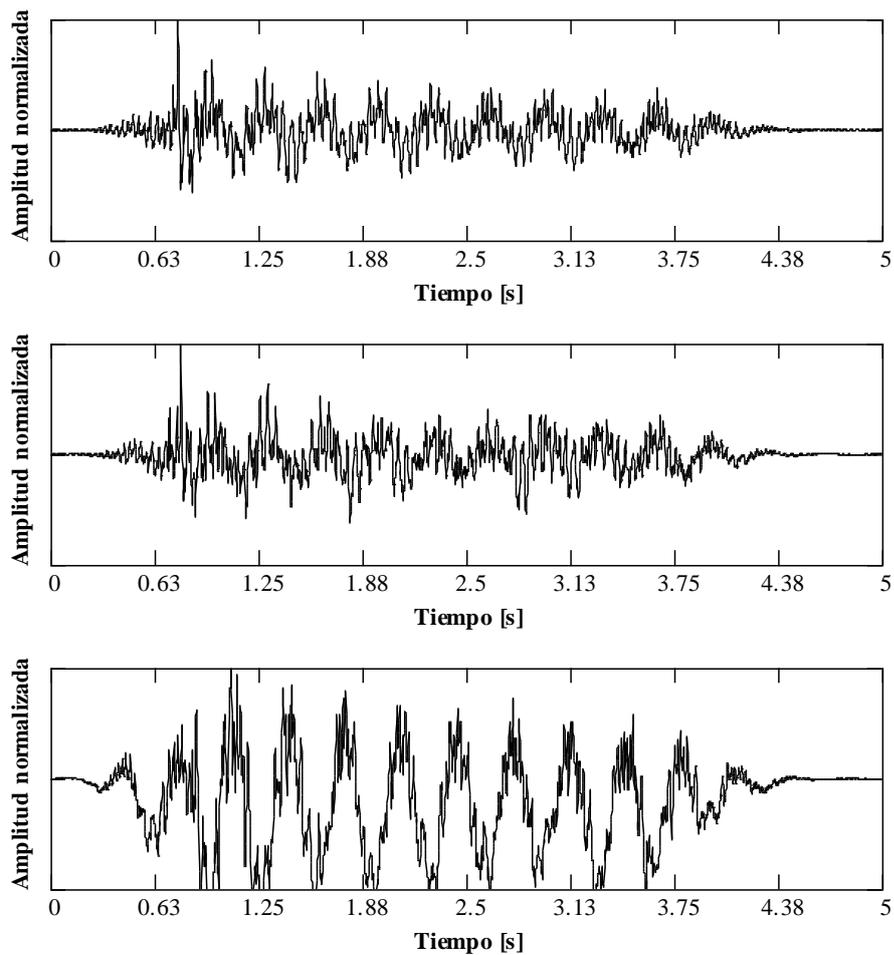


Figura 106. Acelerogramas registrados en el tramo 43 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

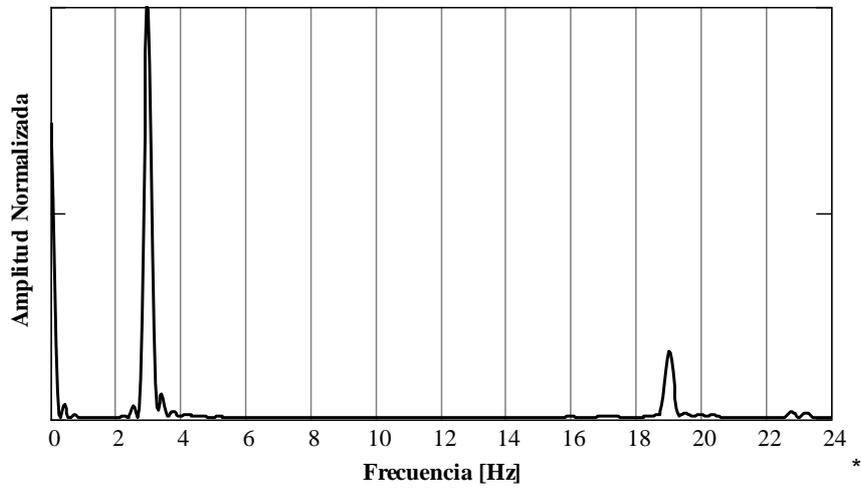


Figura 107. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 105

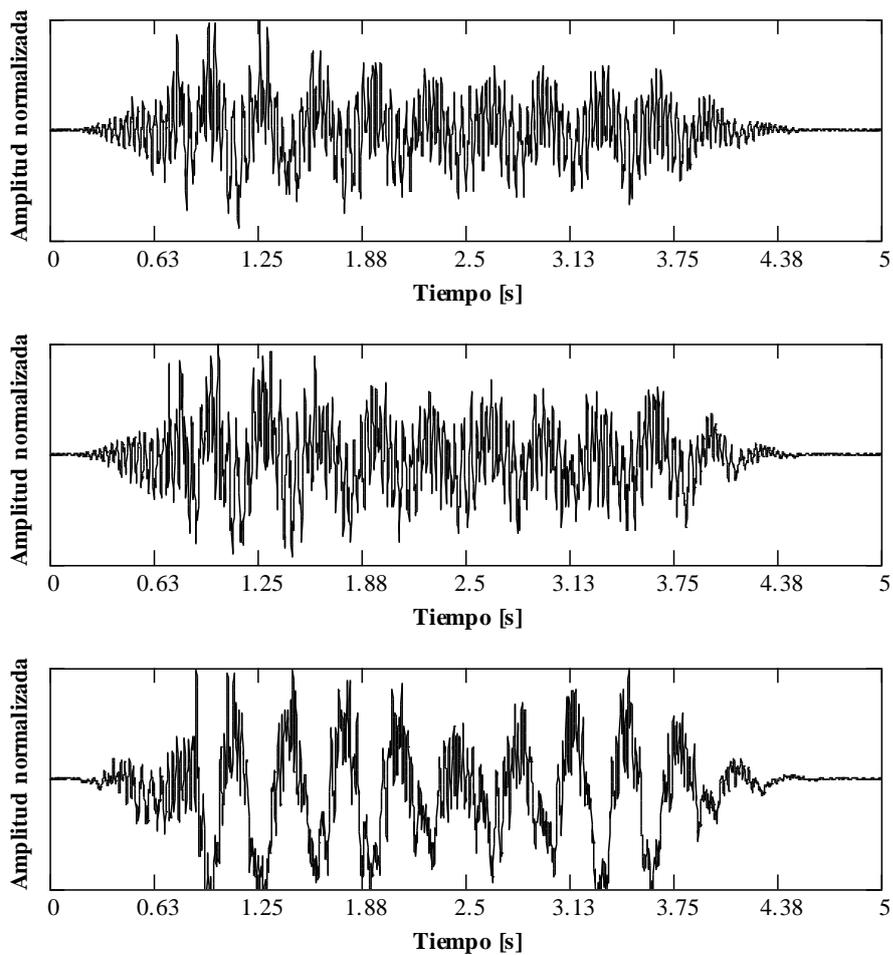


Figura 108. Acelerogramas registrados en el tramo 43 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

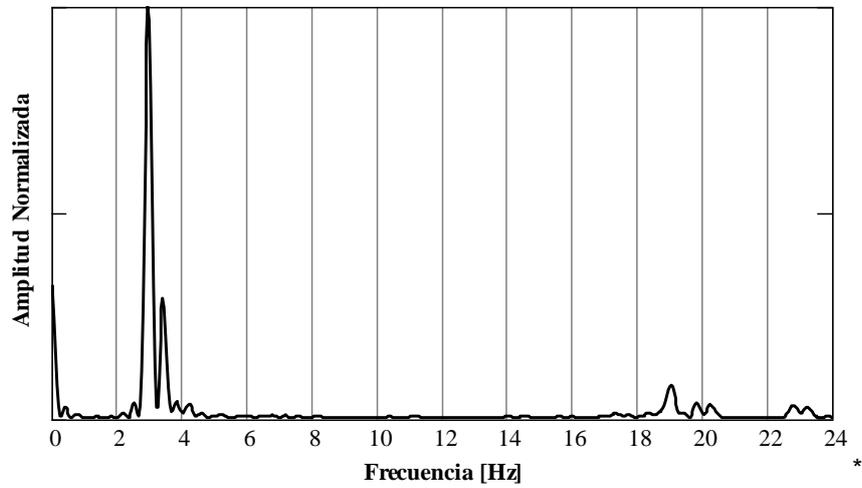


Figura 109. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 107

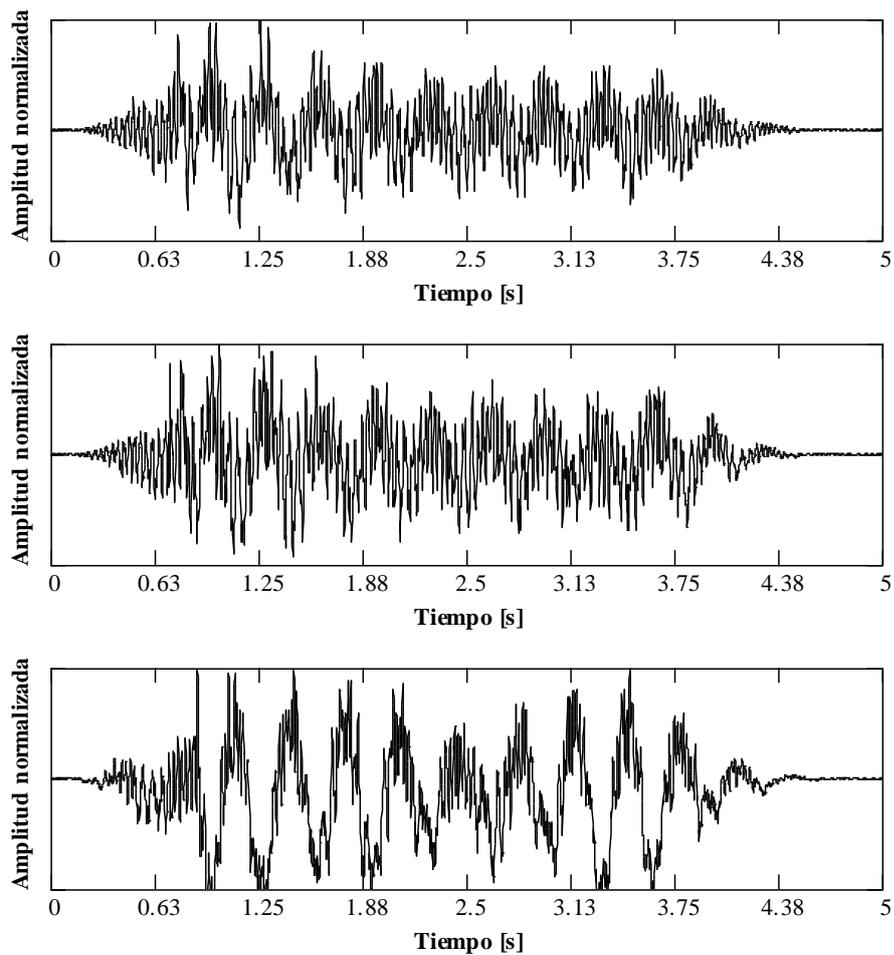


Figura 110. Acelerogramas registrados en el tramo 46 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

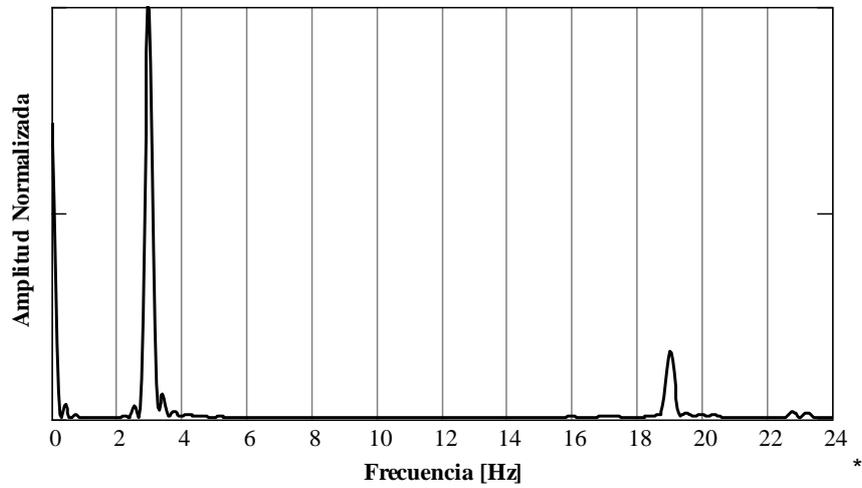


Figura 111. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 109

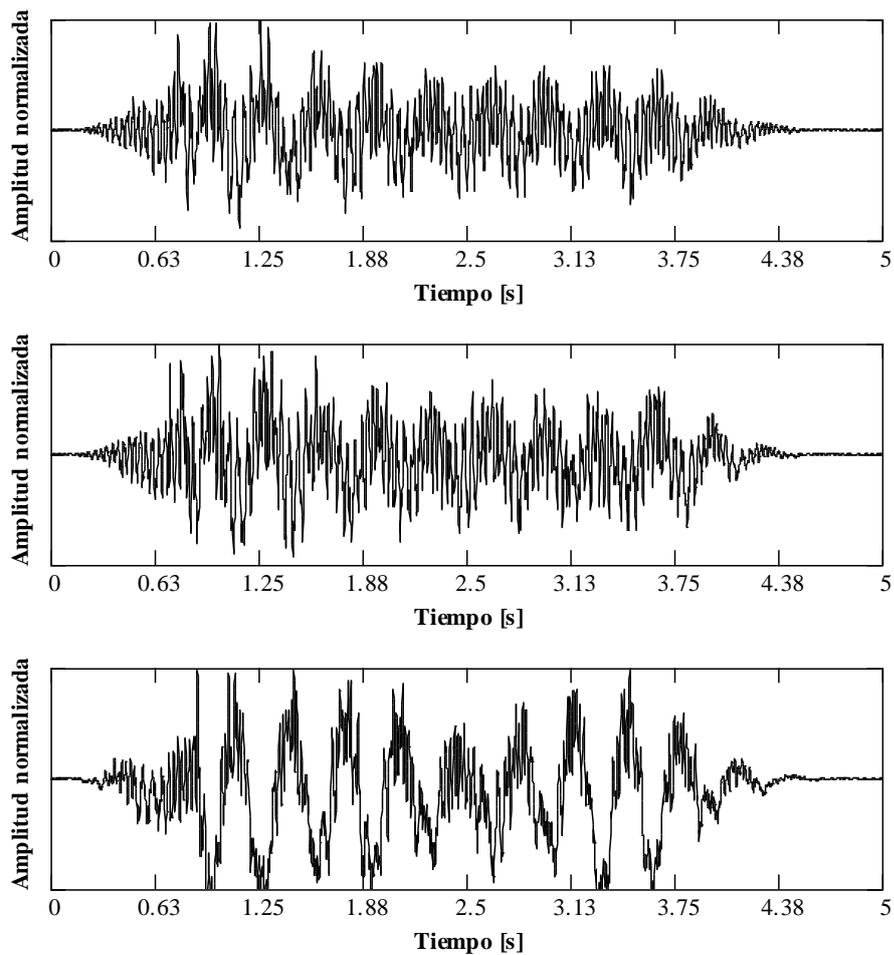


Figura 112. Acelerogramas registrados en el tramo 46 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

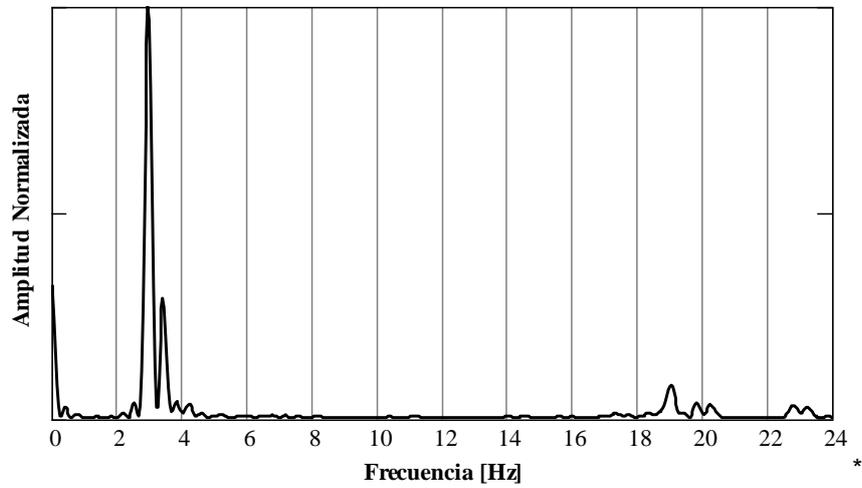


Figura 113. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 111

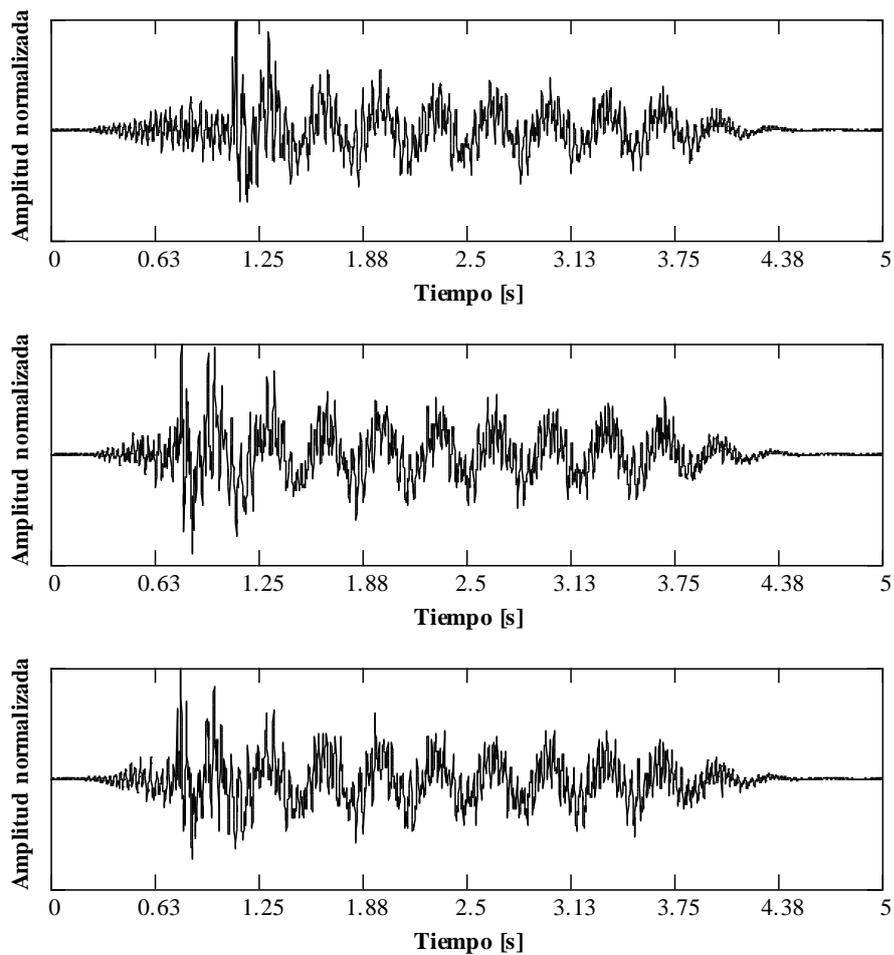


Figura 114. Acelerogramas registrados en el tramo 47 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

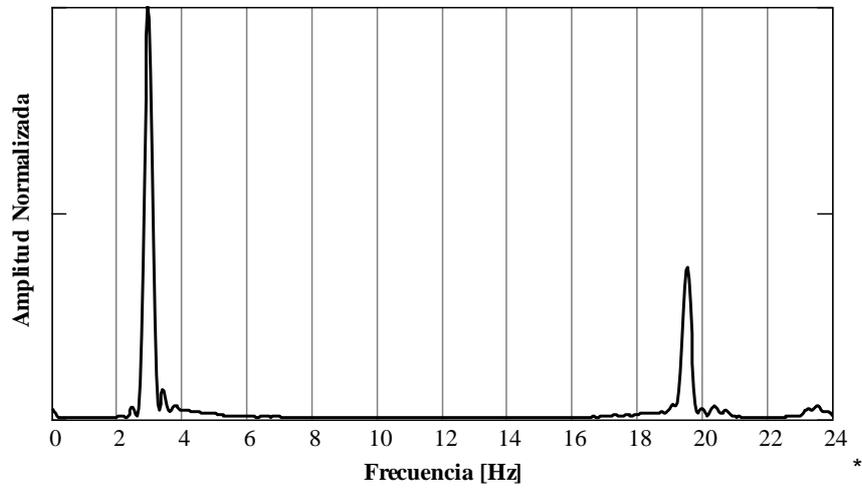


Figura 115. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 113

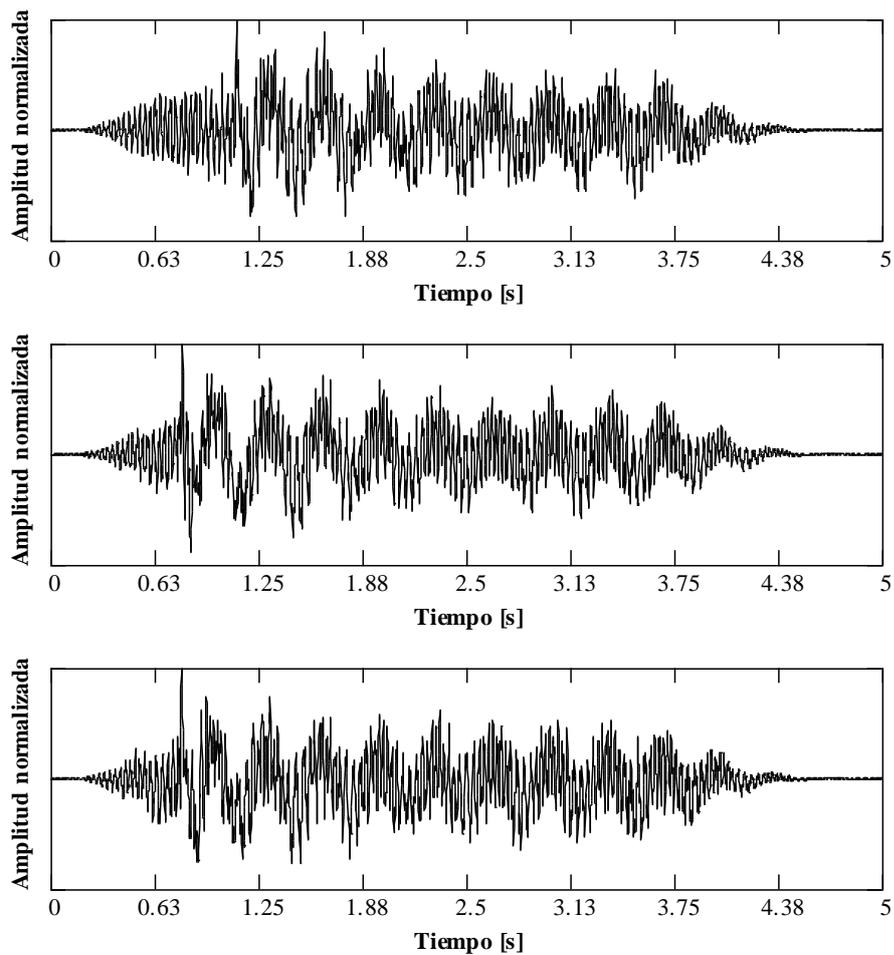


Figura 116. Acelerogramas registrados en el tramo 47 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

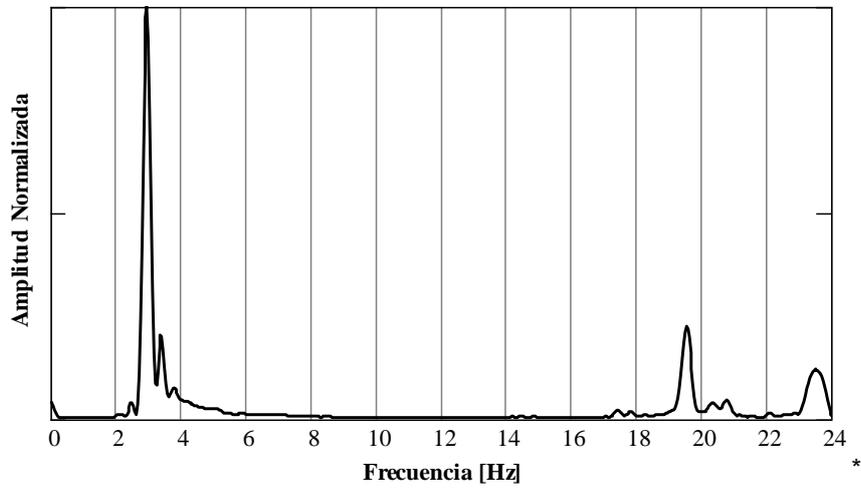


Figura 117. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 115

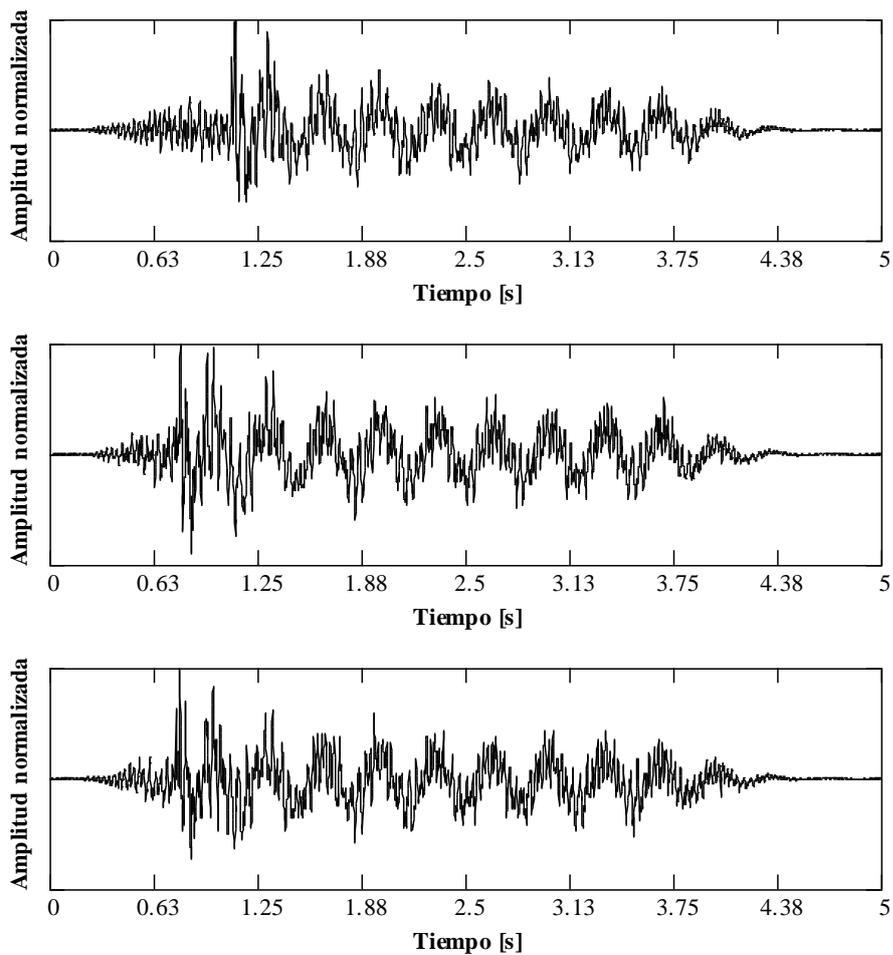


Figura 118. Acelerogramas registrados en el tramo 47 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

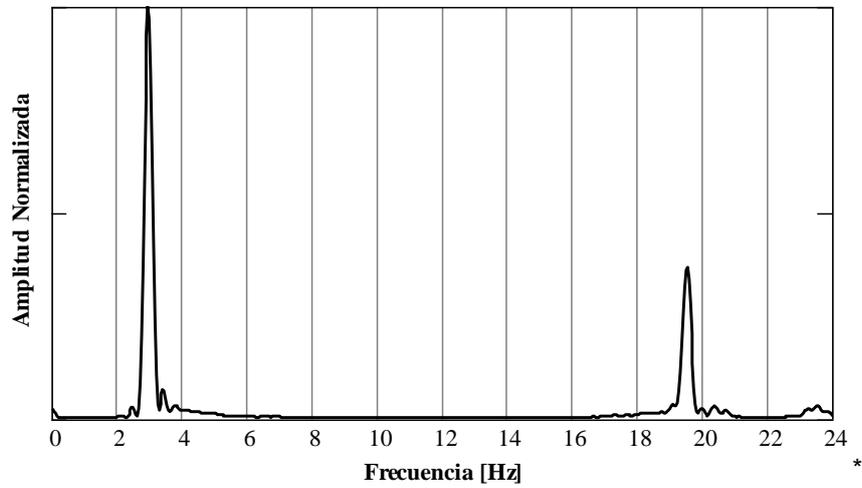


Figura 119. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 117

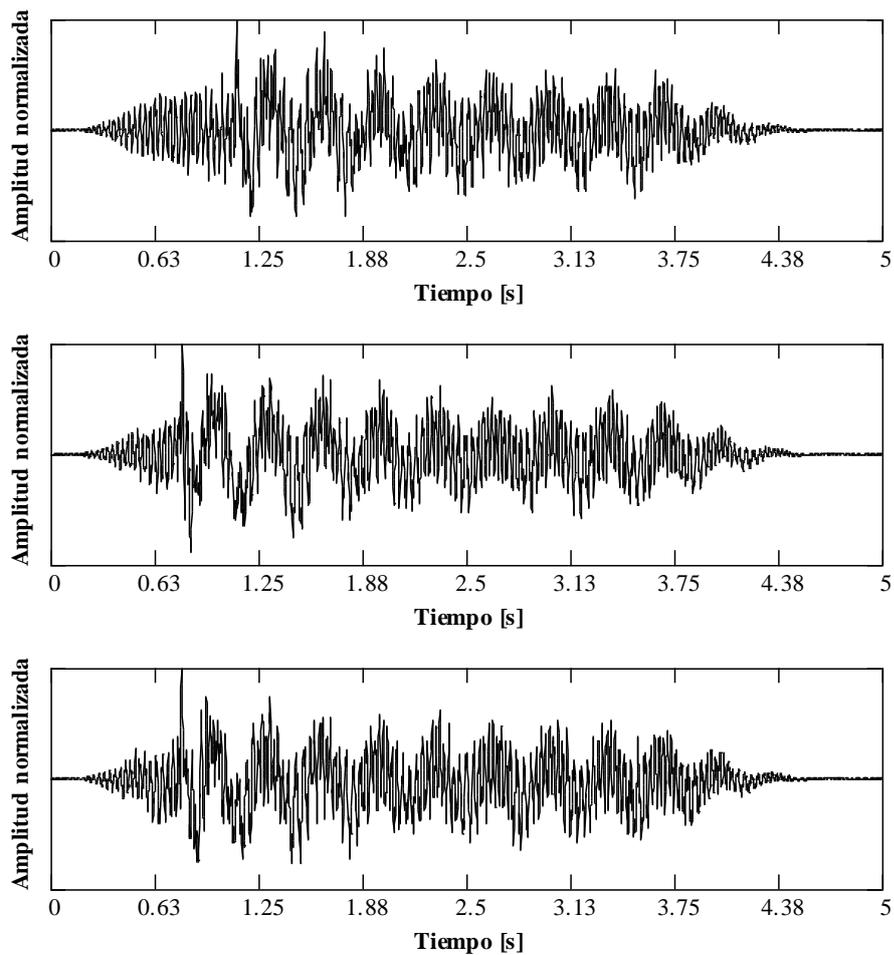


Figura 120. Acelerogramas registrados en el tramo 47 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

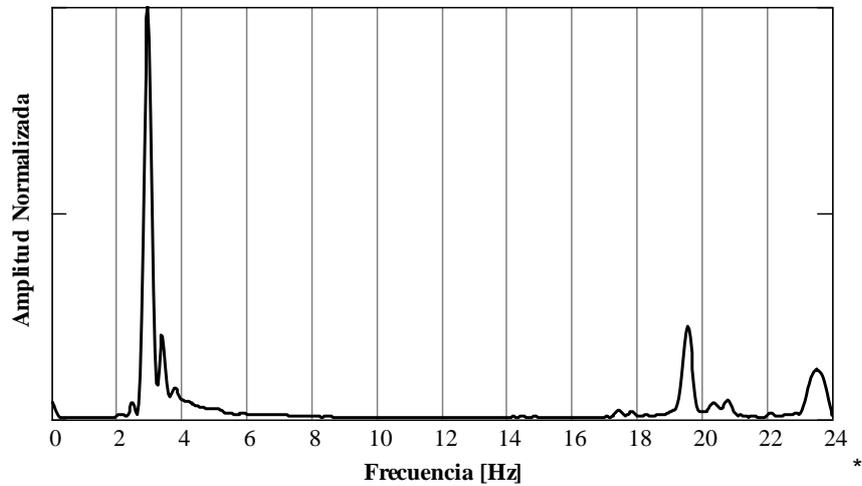


Figura 121. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 119

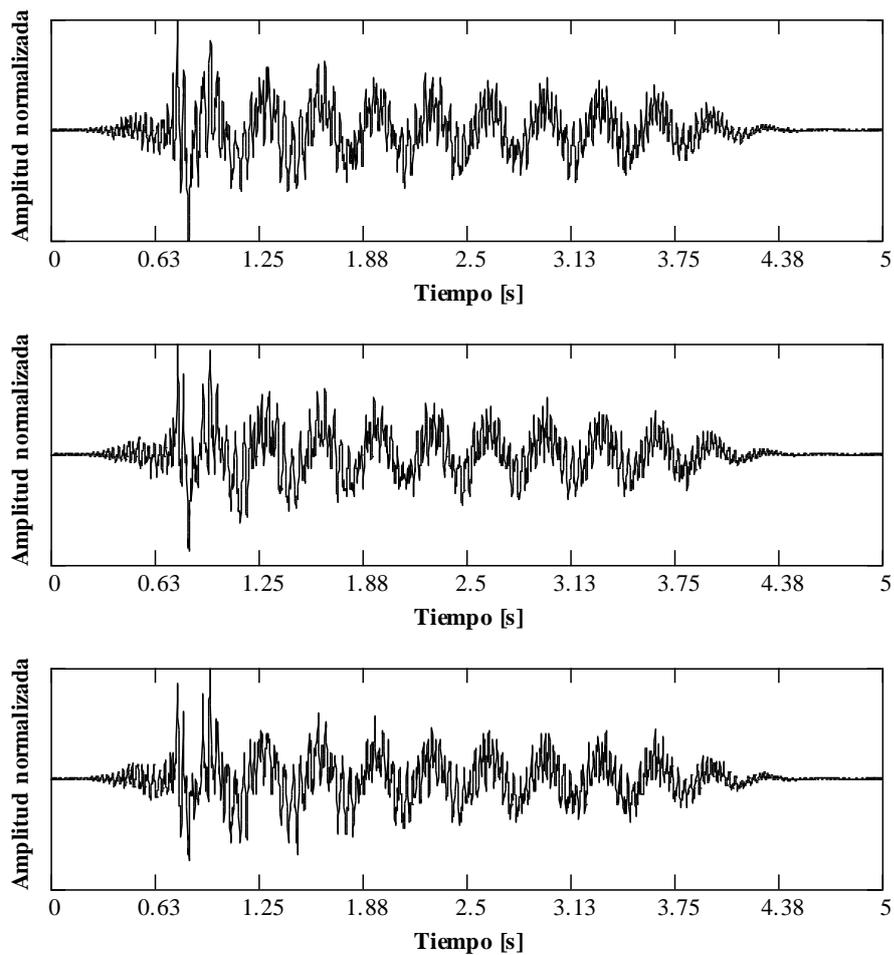


Figura 122. Acelerogramas registrados en el tramo 51 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

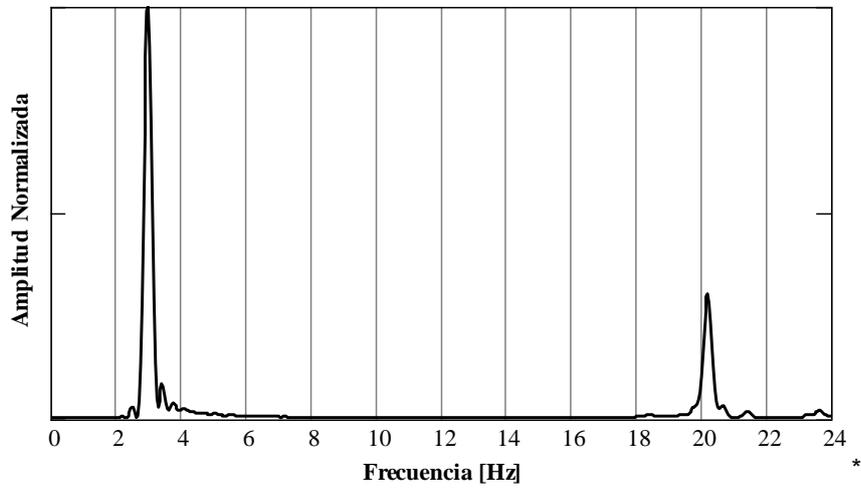


Figura 123. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 121

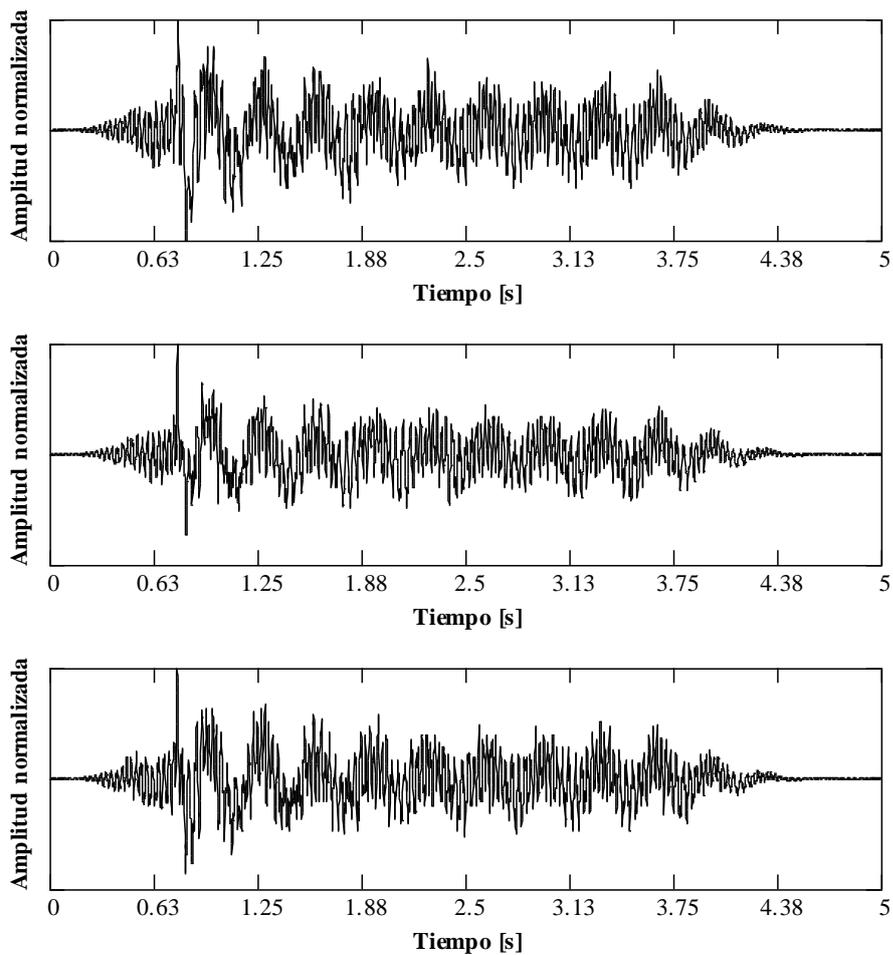


Figura 124. Acelerogramas registrados en el tramo 51 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos centrados sobre el tablero





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”

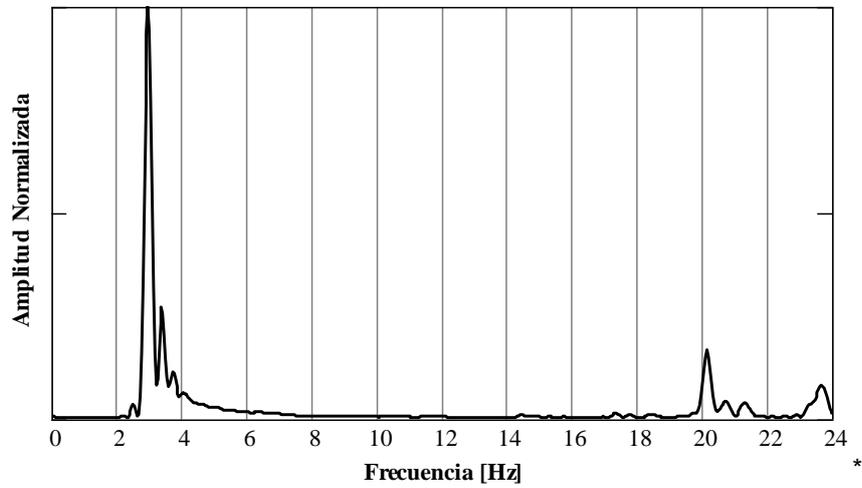


Figura 125. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 123

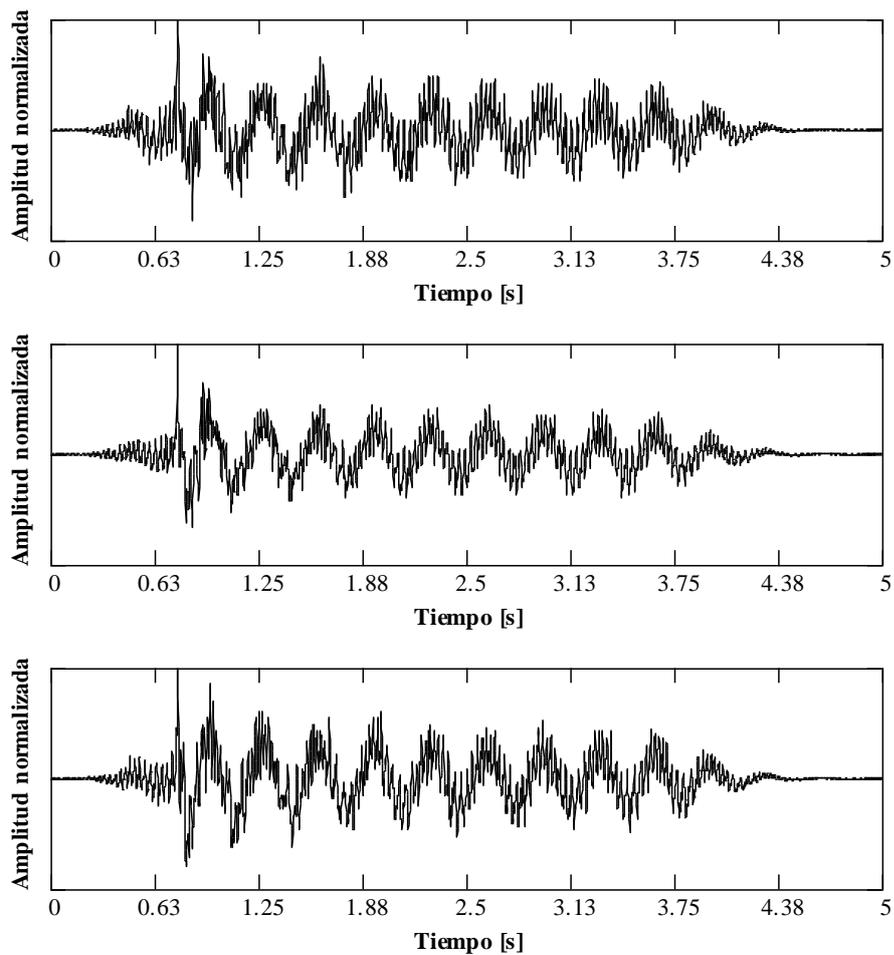


Figura 126. Acelerogramas registrados en el tramo 51 (viaducto lado Argentina), sobre el eje longitudinal, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

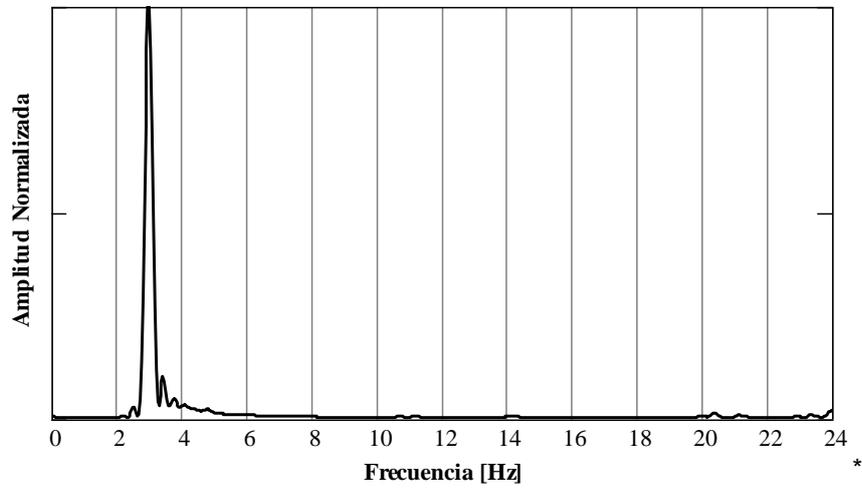


Figura 127. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 125

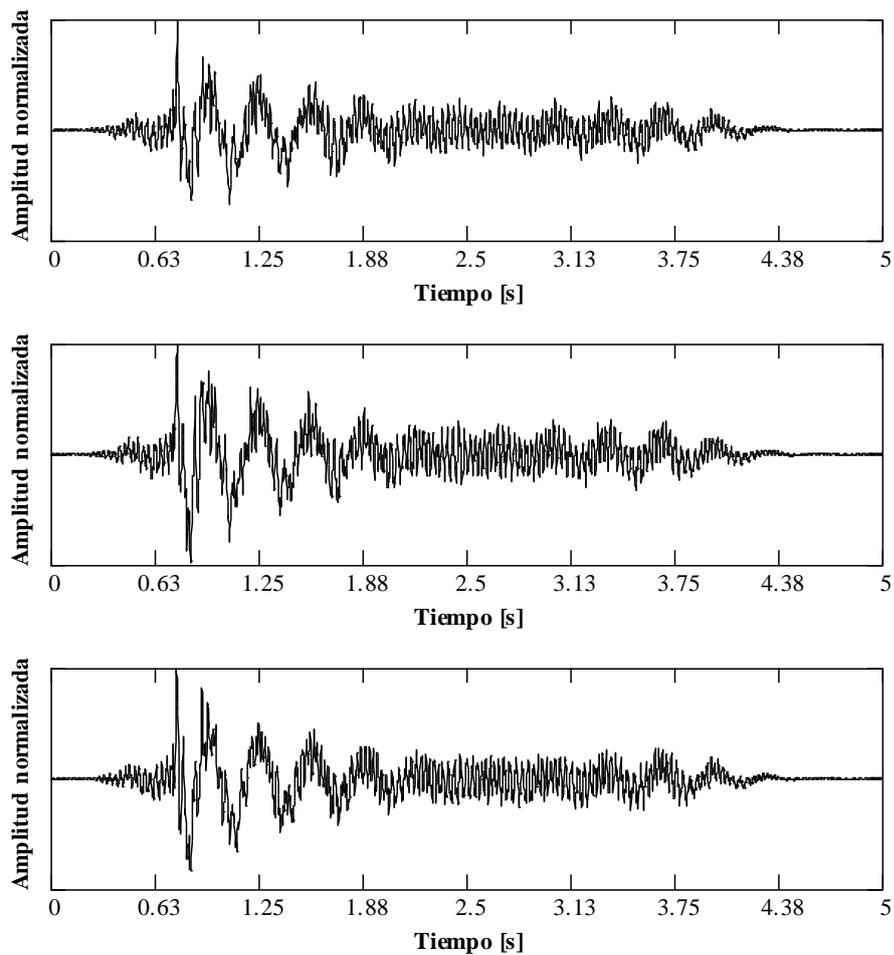


Figura 128. Acelerogramas registrados en el tramo 51 (viaducto lado Argentina), sobre el lateral de viga, con impulsos sobre el lateral del tablero





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”

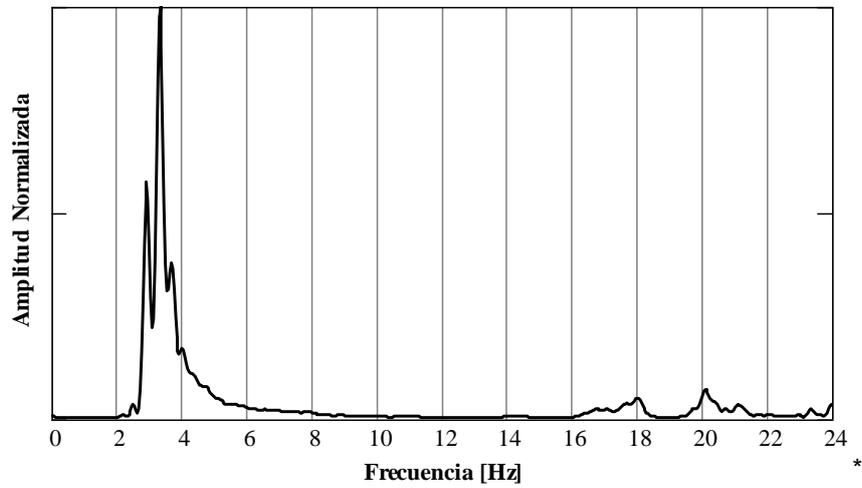


Figura 129. Espectro de potencia de los acelerogramas de Figura 127



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 del Viaducto del PLGSM.





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 los pilotes - columna del viaducto argentino en sección Inferior

Diámetro de la columna = 1,5 m
 Área de la columna = 1,7671 m²
 Altura Columna máxima solicitación, h [m] = 9,60 m
 Altura Columna total, h [m] = 57,00 m
 Inclinación long., ϕ_{long} = 0,7%
 Inclinación trans., ϕ_{trans} = 0,7%
 Excentricidad constructiva en dirección longitudinal = 0,06 m
 Excentricidad constructiva en dirección transversal = 0,06 m
 β_r [t/m²] = 3875,0
 β_s [t/m²] = 42000,0
 $P_{crit\ long}$ = 14000,0 tn
 $P_{crit\ tran}$ = 45000,0 tn

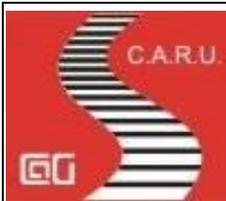
| Comb | Normal [t] | Mlong [tm] | Mtran [tm] | Excentricidad | | Verticalidad | |
|------|------------|------------|------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | | ΔM_{long} [tm] | ΔM_{tran} [tm] | ΔM_{long} [tm] | ΔM_{tran} [tm] |
| 1 | -661,56 | 65,36 | 1,70 | 39,69 | 39,69 | 44,46 | 44,46 |
| 2 | -506,64 | 0,00 | 54,70 | 30,40 | 30,40 | 34,05 | 34,05 |
| 3 | -576,60 | 20,42 | 58,50 | 34,60 | 34,60 | 38,75 | 38,75 |
| 4 | -507,21 | 44,34 | 1,36 | 30,43 | 30,43 | 34,08 | 34,08 |

Tabla 1. Esfuerzos últimos de verificación.

| Comb | Momentos de primer orden | | Coeficientes de amplificación | | Momentos de segundo orden | | M comb. [tm] |
|------|--------------------------|------------|-------------------------------|----------------|---------------------------|----------------|--------------|
| | Mlong [tm] | Mtran [tm] | δ long | δ trans | Mlong II [tm] | Mtrans II [tm] | |
| 1 | 149,51 | 85,85 | 1,07 | 1,02 | 159,56 | 87,57 | 182,01 |
| 2 | 64,44 | 119,14 | 1,05 | 1,02 | 67,71 | 120,96 | 138,62 |
| 3 | 93,76 | 131,84 | 1,06 | 1,02 | 99,21 | 134,14 | 166,84 |
| 4 | 108,86 | 65,88 | 1,05 | 1,02 | 114,38 | 66,88 | 132,50 |

Tabla 2. Continuación Tabla 1.





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”

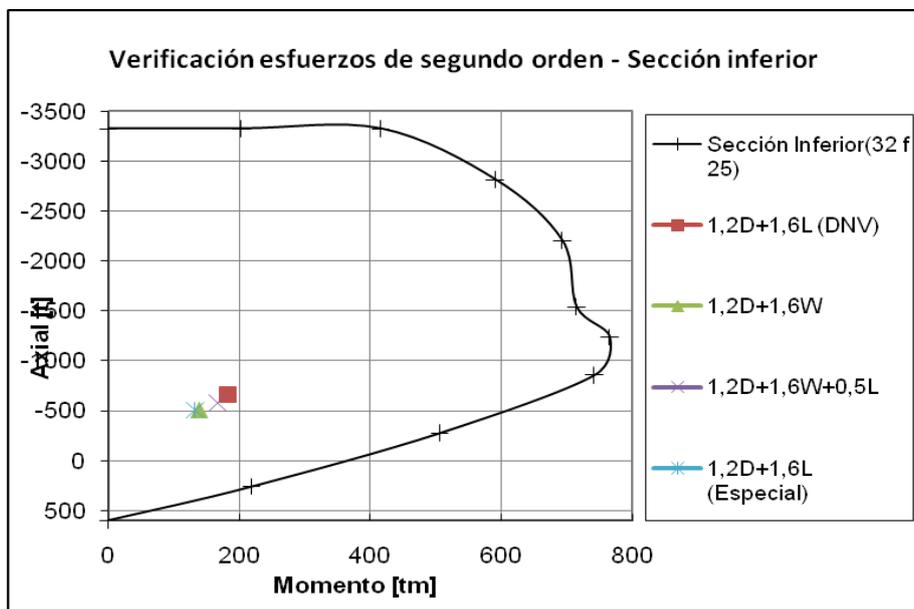


Figura 1. *Diagrama de interacción de resistencia.*

Armadura mínima [cm²] = 141,4 cm²
 Armadura adoptada = 32 ϕ 25 157,1 cm²
 Cuantía = 0,89 %

Verificación a Corte

Resto del elemento

Qmax [t] = 20,27

As [cm²/m] = 4,29

Espiral adoptada ϕ 8 paso 20,0 = 5,03





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 los pilotes - columna del viaducto Argentino en sección Superior

| | |
|--|-----------------------|
| Diámetro de la columna = | 1,5 m |
| Área de la columna = | 1,7671 m ² |
| Altura Columna máxima solicitación, h [m] = | 0,60 m |
| Altura Columna total, h [m] = | 57,00 m |
| Inclinación long., ϕ_{long} = | 0,7% |
| Inclinación trans., ϕ_{trans} = | 0,7% |
| Excentricidad constructiva en dirección longitudinal = | 0,06 m |
| Excentricidad constructiva en dirección transversal = | 0,06 m |
| β_r [t/m ²] = | 3875,0 |
| β_s [t/m ²] = | 42000,0 |
| $P_{crit\ long}$ = | 14000,0 tn |
| $P_{crit\ tran}$ = | 45000,0 tn |

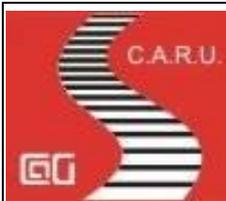
| Comb. | Normal [t] | Mlong [tm] | Mtrans [tm] | Excentricidad | | Verticalidad | |
|-------|------------|------------|-------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| | | | | Δ Mlong [tm] | Δ Mtrans [tm] | Δ Mlong [tm] | Δ Mtrans [tm] |
| 1 | -596,01 | 0,00 | 7,25 | 35,76 | 35,76 | 2,50 | 2,50 |
| 2 | -441,16 | 0,00 | 156,06 | 26,47 | 26,47 | 1,85 | 1,85 |
| 3 | -511,13 | 0,00 | 175,27 | 30,67 | 30,67 | 2,15 | 2,15 |
| 4 | -499,57 | 0,00 | 5,88 | 29,97 | 29,97 | 2,10 | 2,10 |

Tabla 3. Esfuerzos últimos de verificación.

| Comb. | Momentos de primer orden | | Coeficientes de amplificación | | Momentos de segundo orden | | |
|-------|--------------------------|-------------|-------------------------------|----------------|---------------------------|----------------|-------------|
| | Mlong [tm] | Mtrans [tm] | δ long | δ trans | Mlong II [tm] | Mtrans II [tm] | Mcomb. [tm] |
| 1 | 38,26 | 45,51 | 1,06 | 1,02 | 40,57 | 46,33 | 61,58 |
| 2 | 28,32 | 184,38 | 1,04 | 1,01 | 29,56 | 186,82 | 189,15 |
| 3 | 32,81 | 208,08 | 1,05 | 1,02 | 34,49 | 211,28 | 214,08 |
| 4 | 32,07 | 37,95 | 1,05 | 1,02 | 33,67 | 38,52 | 51,17 |

Tabla 4. Continuación Tabla 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”

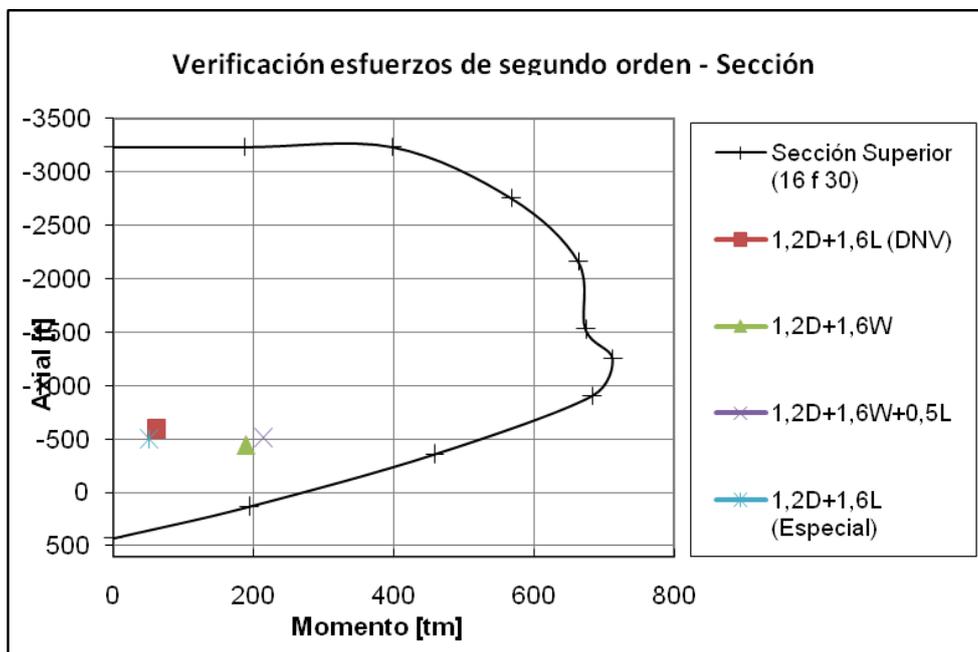


Figura 2. Diagrama de interacción de resistencia.

| | | |
|--------------------------------------|--------|-----------------------|
| Armadura mínima [cm ²] = | 141,4 | cm ² |
| Armadura adoptada = | 16 φ30 | 113,0 cm ² |
| Cuantía = | | 0,64 % |

Verificación a Corte

Resto del elemento

Qmax [t] = 20,27

As [cm²/m] = 4,29

Espiral adoptada φ 8 paso 20,0 = 5,03

