

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN

ESCUELA DE INGENIERÍA
EN CONSTRUCCIÓN

CIVCO-IPS-136-2022

Informe para servicios especializados

Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original y no se permiten reproducciones parciales del documento sin la autorización previa de CIVCO

Fecha de emisión del formato: 17/ene/32 Entrada en vigencia de este formato: 17/ene/23

CIVCO-FG-31 Informe para servicios especializados Versión 05 Página 1 de 127



Informe especializado:

CIVCO-PS-136-2022

Fecha de emisión:

20/Ene./2023

Instrumentación con acelerómetros
en 3 dimensiones en varios
elementos del puente sobre el Río
Tempisque sobre la RN.18

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Construcción
Centro de Investigaciones en Vivienda y
Construcción

Contactos:

Tel: (506) 2550-2309

e-mail: civco@tec.ac.cr

www.tec.ac.cr

<p>1. Título: Instrumentación con acelerómetros en 3 dimensiones en varios elementos del puente sobre el Río Tempisque sobre la RN.18</p>		
<p>2. Descripción: Resultados de la instrumentación por medio de acelerómetros en los 18 cables y en 4 estaciones del tablero el Puente sobre el Río Tempisque en la RN 18, conocido como puente de La Amistad de Taiwan.</p> <p>Las mediciones se realizaron en tres direcciones ortogonales, de acuerdo con las solicitudes del cliente.</p> <p>En este informe se incluyen los resultados y el procesamiento básico de dichos resultados, no se incluye el análisis de resultados.</p>		
<p>3. Institución desarrolladora</p> <p>Tecnológico de Costa Rica</p> <p>Escuela de Ingeniería en Construcción</p> <p>Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción</p>		
<p>5. Objetivo del informe: Presentar los resultados de la instrumentación del Puente sobre el Río Tempisque en la RN 18</p>		
<p>6. Alcance del informe: Este informe se limita a mostrar los resultados de los registros obtenidos en sitio; los datos no han recibido ningún tipo de tratamiento para su correcta interpretación. Los resultados se presentan en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia.</p>		
<p style="text-align: center;">Firmas del informe</p>		
<p>Ing. Ángel Navarro Mora M.Sc. Ingeniero estructural Responsable Servicio CIVCO</p>	<p>Ing. Giannina Ortiz Quesada Coordinadora CIVCO</p>	<p>Ing. Alonso Poveda Montoya Gestor técnico CIVCO</p>

Tabla de contenidos

1.	Introducción.....	5
2.	Materiales y método	6
2.1.	Nomenclatura de puntos de medición	6
2.2.	Equipo e instalación.....	10
2.3.	Registro de datos	12
3.	Resultados	13
3.1.	Orientación de los sensores	13
3.2.	Organización de los registros	14
3.3.	Resultado de las mediciones.....	16
3.3.1.	Cables	16
3.3.2.	Tablero	18
4.	Apéndices	21
	Apéndice 1. Resultados cable C1Ra_E1.....	22
	Apéndice 3. Resultados cable C1Rb_E1.....	30
	Apéndice 4. Resultados cable C1Rb_E2.....	34
	Apéndice 5. Resultados cable C2R_E1.....	38
	Apéndice 6. Resultados cable C2R_E2.....	42
	Apéndice 7. Resultados cable C3R_E1.....	46
	Apéndice 8. Resultados cable C3R_E2.....	50
	Apéndice 9. Resultados cable C4R_E1.....	54
	Apéndice 10. Resultados cable C4R_E2.....	58
	Apéndice 11. Resultados cable C4L_E1	62
	Apéndice 12. Resultados cable C4L_E2	66
	Apéndice 13. Resultados cable C3L_E1	70
	Apéndice 14. Resultados cable C3L_E2	74
	Apéndice 15. Resultados cable C2L_E1	78
	Apéndice 16. Resultados cable C2L_E2	82
	Apéndice 17. Resultados cable C1L_E1	86
	Apéndice 18. Resultados cable C1L_E2	90
	Apéndice 19. Resultados tablero D1_E1	94
	Apéndice 20. Resultados tablero D1_E2	98
	Apéndice 21. Resultados tablero D2_E1	102
	Apéndice 22. Resultados tablero D2_E2	106
	Apéndice 23. Resultados tablero D3_E1	110
	Apéndice 24. Resultados tablero D3_E2	114
	Apéndice 25. Resultados tablero D4_E1	118
	Apéndice 26. Resultados tablero D4_E2	122
5.	Anexos	126
	Anexo 1. Alcance propuesto por Helmut Wenzel	127

1. Introducción

En este informe se resumen los resultados de la instrumentación del Puente La Amistad con Taiwán. Este puente se encuentra ubicado en la Ruta 18, sobre el río Tempisque, entre los cantones de Cañas y Nicoya, en la provincia de Guanacaste. La figura 1 muestra la ubicación del puente. El trabajo se realizó específicamente en la sección del puente que tiene superestructura tipo puente atirantado.

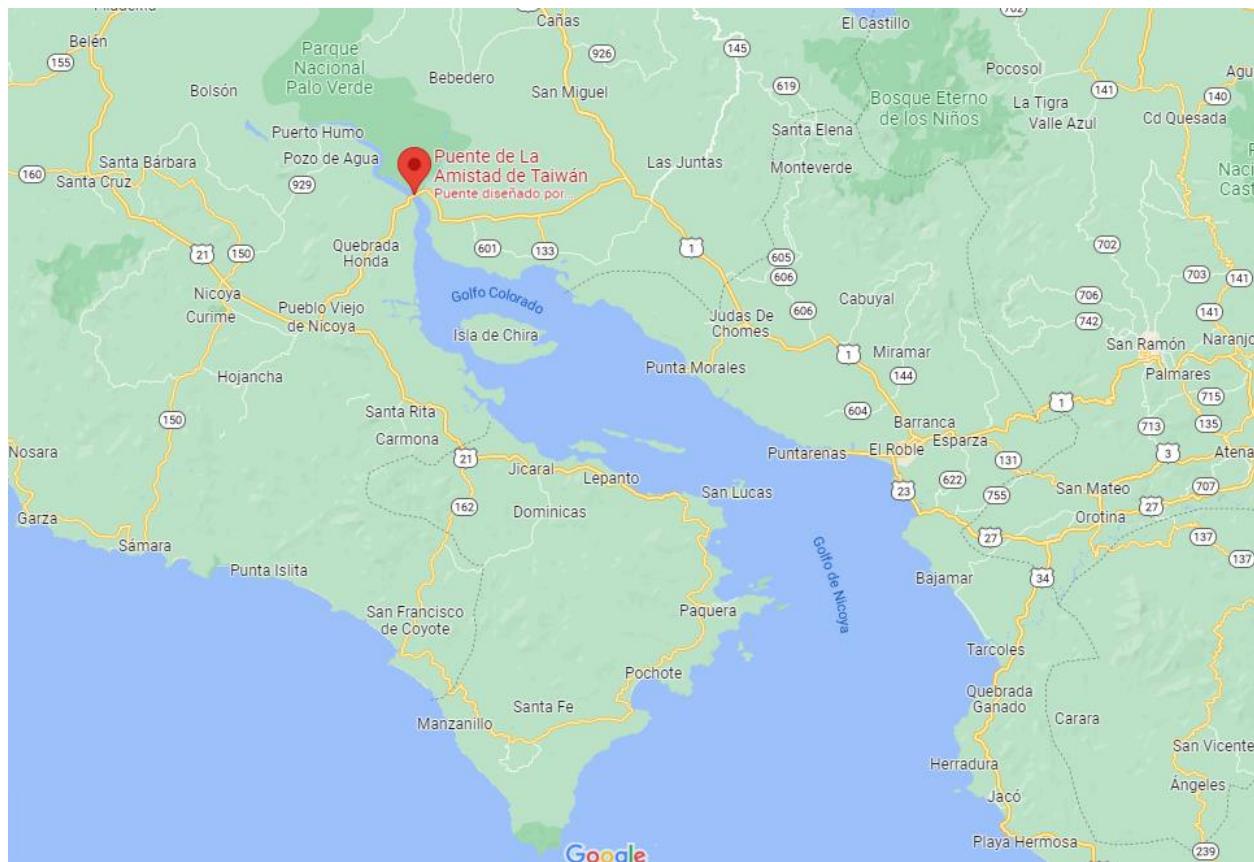


Figura 1: Ubicación del puente

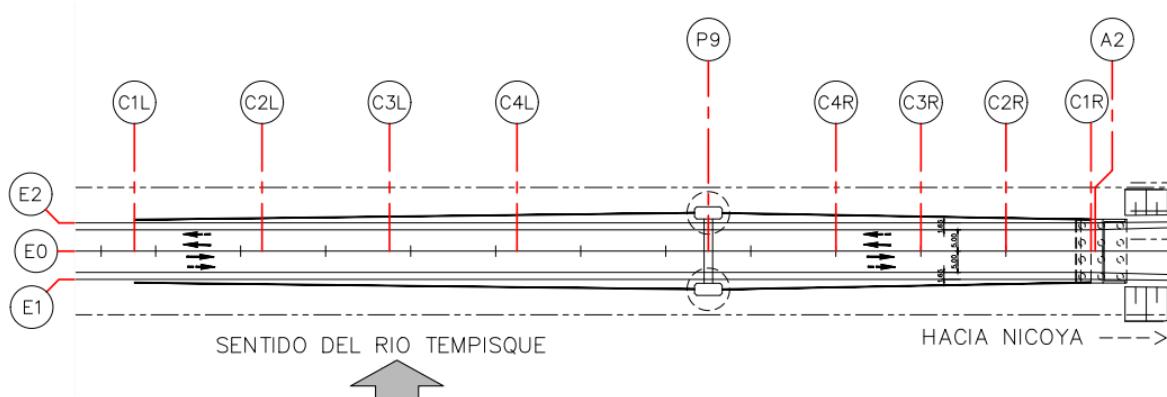
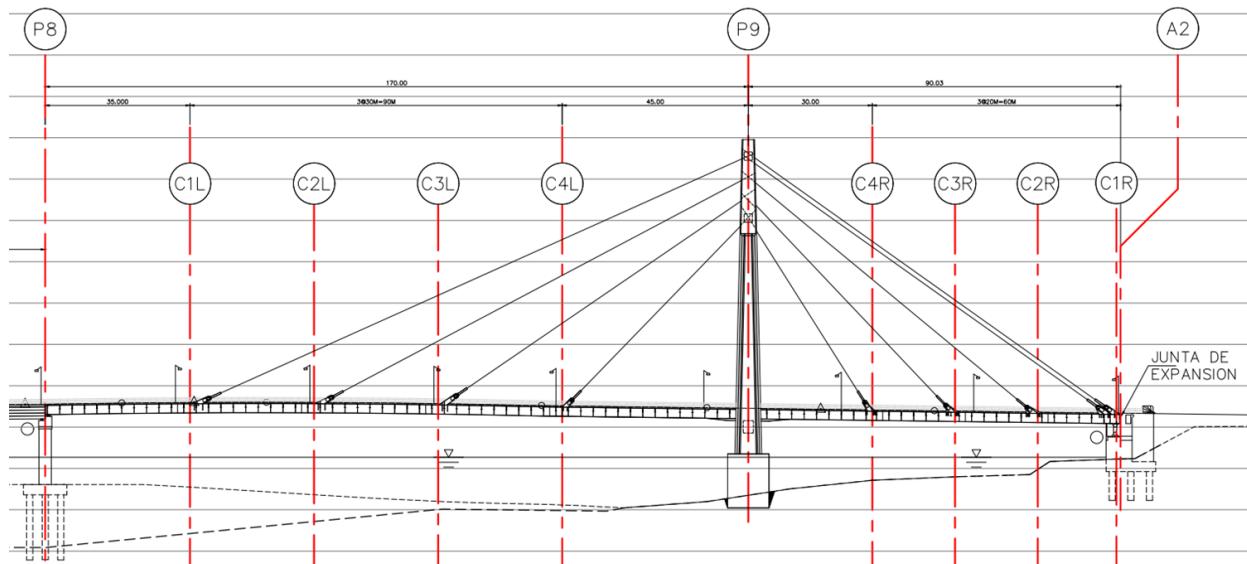
Este trabajo fue solicitado por la empresa Estrumet Metalmecánica S.A, ganadora de la licitación promovida por el CONAVI para la rehabilitación del puente La Amistad con Taiwan.

2. Materiales y método

La instrumentación en los cables se realizó los días 12, 13 y 14 de diciembre de 2022; mientras que en las tres secciones del tablero, las mediciones se realizaron el lunes 16 de enero de 2023.

2.1. Nomenclatura de puntos de medición

Para designar la nomenclatura de los cables se utilizó la convención proporcionada por Estrumet Metalmecánica S.A; la cual se muestra en las figuras 2 y 3.



Como convención, se utilizaron los ejes longitudinales y transversales asignados en la base de cada cable para definir el nombre del punto de medición en los cables. En el caso particular del eje C1R, el nombre se asignó de acuerdo con lo que se muestra en la figura 4.

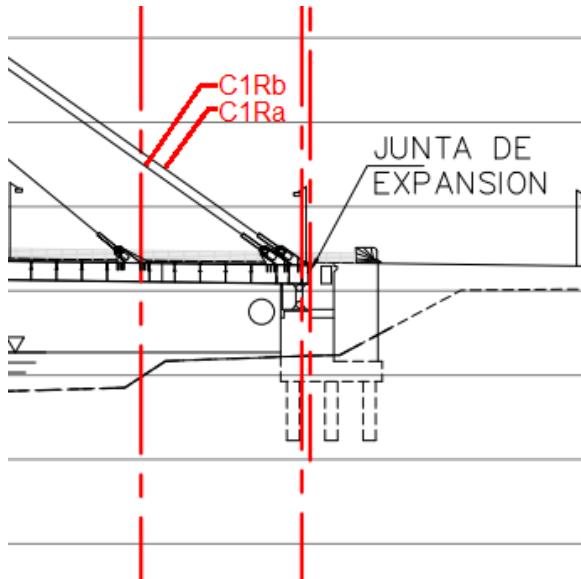


Figura 4: Numeración de los ejes longitudinales

Es importante indicar que el punto de instalación del sensor se ubicó a una distancia de 11 m de la base de la protección del cable, en todos los casos, tal como se muestra en la figura 5.

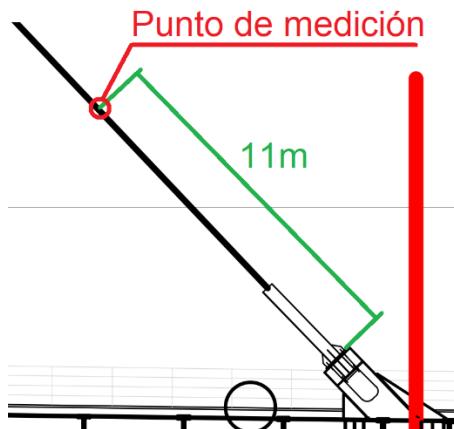


Figura 5: Numeración de los ejes longitudinales

En el caso del tablero, la instrumentación se realizó en las secciones indicadas por el Ing. Moritz Wenzel durante la instrumentación de los cables. La ubicación de las cuatro secciones (D1, D2, D3 y D4) se muestran en las figuras 6 y 7.

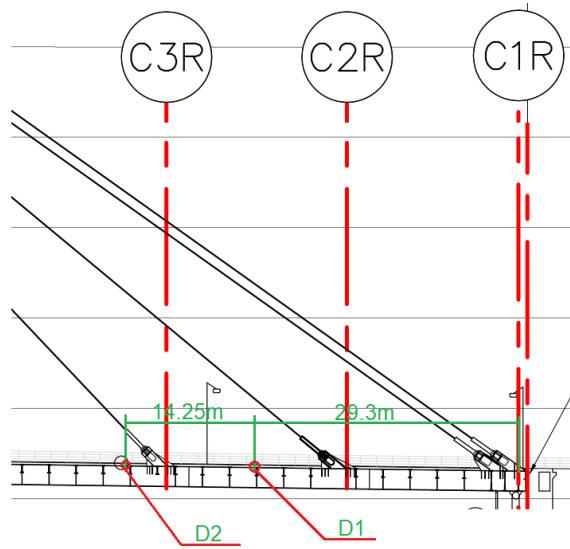


Figura 6: Ubicación de las secciones D1 y D2

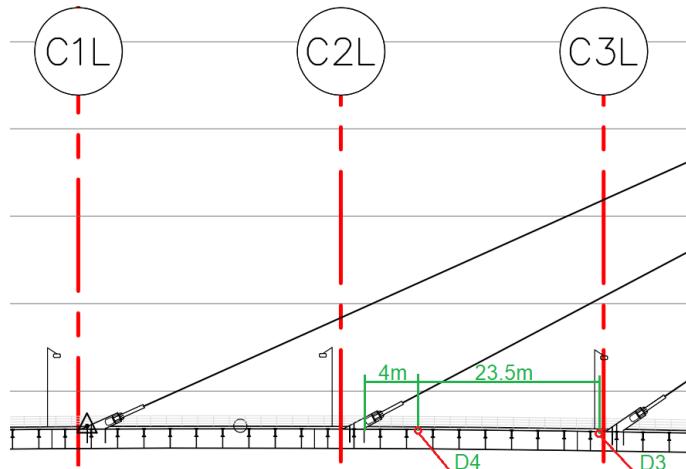


Figura 7: Ubicación de las secciones D3 y D4

En la tabla 1 se resume la nomenclatura utilizada para los puntos de medición en los cables y en el tablero.

Tabla 1: Descripción de la nomenclatura asignada para cada punto de medición

Cable	Descripción
C1Ra_E1	Cable en el eje transversal C1Ra y el eje longitudinal E1
C1Ra_E2	Cable en el eje transversal C1Ra y el eje longitudinal E2
C1Rb_E1	Cable en el eje transversal C1Rb y el eje longitudinal E1
C1Rb_E2	Cable en el eje transversal C1Rb y el eje longitudinal E2
C2R_E1	Cable en el eje transversal C2R y el eje longitudinal E1
C2R_E2	Cable en el eje transversal C2R y el eje longitudinal E2
C3R_E1	Cable en el eje transversal C3R y el eje longitudinal E1
C3R_E2	Cable en el eje transversal C3R y el eje longitudinal E2
C4R_E1	Cable en el eje transversal C4R y el eje longitudinal E1
C4R_E2	Cable en el eje transversal C4R y el eje longitudinal E2
C4L_E1	Cable en el eje transversal C4L y el eje longitudinal E1
C4L_E2	Cable en el eje transversal C4L y el eje longitudinal E2
C3L_E1	Cable en el eje transversal C3L y el eje longitudinal E1
C3L_E2	Cable en el eje transversal C3L y el eje longitudinal E2
C2L_E1	Cable en el eje transversal C2L y el eje longitudinal E1
C2L_E2	Cable en el eje transversal C2L y el eje longitudinal E2
C1L_E1	Cable en el eje transversal C1L y el eje longitudinal E1
C1L_E2	Cable en el eje transversal C1L y el eje longitudinal E2
D1_E1	Punto en el tablero en la sección D1 y el eje longitudinal E1
D1_E2	Punto en el tablero en la sección D1 y el eje longitudinal E2
D2_E1	Punto en el tablero en la sección D2 y el eje longitudinal E1
D2_E2	Punto en el tablero en la sección D2 y el eje longitudinal E2
D3_E1	Punto en el tablero en la sección D3 y el eje longitudinal E1
D3_E2	Punto en el tablero en la sección D3 y el eje longitudinal E2
D4_E1	Punto en el tablero en la sección D4 y el eje longitudinal E1
D4_E2	Punto en el tablero en la sección D4 y el eje longitudinal E2

2.2. Equipo e instalación

Para colocar los instrumentos se accesa a cada cable por medio de una canasta izada con una grúa, tal como se muestra en la figura 8.



Figura 8: Acceso a los puntos de instalación de los sensores en los cables.

Para la adquisición de los datos, se utilizó una estación inalámbrica tipo STS 4 de Bridge Diagnostics Inc. (BDI). La figura 9 muestra la estación base y el punto de acceso inalámbrico. Los sensores se conectan a los nodos (IW4-0778 y IW4-0777) que están conectados a la estación por medio de un punto de acceso inalámbrico. La figura 10 muestra un nodo inalámbrico requerido para conectar los sensores a la estación base.



Figura 9: Estación base y punto de acceso inalámbrico

Fecha de emisión del formato: 17/ene/23 Entrada en vigencia de este formato: 17/ene/23

CIVCO-FG-31 Informe para servicios especializados Versión 05 Página 10 de 127



Figura 10: Nodo de 4 canales

Cada nodo tiene disponibles 4 canales, en los cuales deberán ser conectados los sensores. Los acelerómetros triaxiales utilizados (ATb1106 y el ATb1116) requieren 3 canales cada uno, por lo que resulta necesario un nodo para cada sensor. En el caso de los acelerómetros uniaxiales (A2120, A2121 y A2122), utilizados en el tablero, requieren un canal cada uno.

Para monitorear los cables del eje longitudinal E1, se instaló un sensor triaxial del CIVCO; mientras que, en el caso los cables del eje longitudinal E2, se instaló un sensor triaxial del CIVCO y otro proporcionado por el Ing. Moritz Wenzel. Cabe destacar que el CIVCO no dispone de los datos obtenidos por este último sensor. Un ejemplo de la instalación en el eje E2 se muestra en la figura 11.



Figura 11: Instalación del sensor del CIVCO y sensor del Ing. Moritz Wenzel

Es importante indicar que en algunos casos se instrumentaron dos cables de manera simultánea, mientras que en otros se realizó de forma individual, debido a que se presentó un problema con la batería de uno de los nodos. Por lo tanto, algunos archivos de datos contienen la información de un cable y otros de dos cables.

En el tablero, los sensores se colocaron sobre la carpeta asfáltica de acuerdo con lo mostrado en la figura 12. Se utilizaron 3 acelerómetros uniaxiales dispuestos de manera que captan las tres direcciones ortogonales (X, Y y Z) sobre el eje longitudinal E1 y en el caso del eje E2, se colocó un acelerómetro triaxial. Los puntos del tablero fueron muestreados en pares, de manera simultánea, ubicados en la misma sección (D1, D2, D3 o D4).



Figura 12: Sensores uniaxiales en tres direcciones ortogonales

2.3. Registro de datos

La tasa de muestreo y el periodo de adquisición de datos se describe a continuación para puntos de muestreo en los cables y en el tablero.

En los cables, la frecuencia de adquisición de datos en los cables fue de 100 Hz, de acuerdo con lo indicado en el Anexo 1, por un periodo mínimo de 11 minutos, considerando las indicaciones del Ing. Moritz Wenzel, aunque en el alcance propuesto en el anexo 1 se establecía una ventana de 5 minutos.

En el caso del tablero, la frecuencia de adquisición de datos en los cables fue de 200 Hz, por un periodo mínimo de 20 minutos, de acuerdo con lo indicado en el Anexo 1.

3. Resultados

En este apartado se muestra la organización de la información, la forma de interpretar cada registro y los resultados obtenidos durante las mediciones en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia para cada punto de medición y en cada dirección ortogonal.

3.1. Orientación de los sensores

Para comprender los registros, en la tabla 2 se muestra la columna de cada registro asociada a la dirección ortogonal.

Tabla 2: Columna del registro asociada a cada dirección ortogonal

Sensor	Dirección		
	X	Y	Z
ATb1106	ATb1106X	ATb1106Y	ATb1106Z
ATb1116	ATb1116X	ATb1116Y	ATb1116Z
A2120 ¹	A2120	A2121	A2122

Las direcciones X, Y y Z deben interpretarse de acuerdo con lo mostrado en la figura 13, mientras que para los puntos del tablero debe realizarse de acuerdo con lo mostrado en la figura 14.

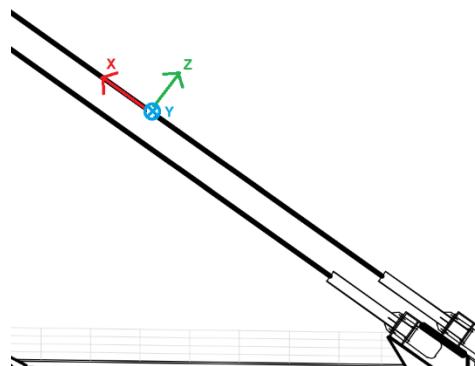


Figura 13: Direcciones ortogonales en el cable

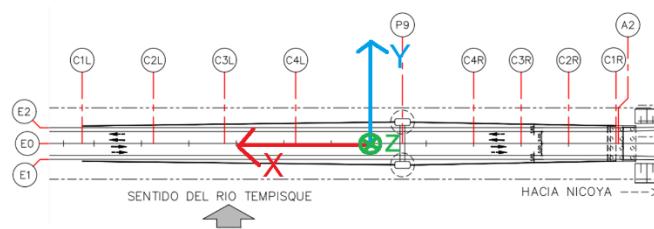


Figura 14: Direcciones ortogonales en el tablero

¹ Se utiliza este nombre para el sensor, con el objetivo de resumirlo. Este sensor estaría compuesto por tres sensores uniaxiales A21020, A2121 y A2122.

En los registros cuando una columna de datos está asociada a “IW4-0778-0-CHAN-4” o a “IW4-0778-0-CHAN-4”, debe omitirse, porque estas pertenecen al canal del nodo que no fue sido utilizado en el proceso.

3.2. Organización de los registros

Los registros son proporcionados en una carpeta comprimida con carpetas cuyo nombre coincide con los ejes transversales o las secciones. En la tabla 3 se muestra el punto de medición.

Tabla 3: Archivo de registro correspondiente a cada punto de medición y el sensor asociado.

Punto	Archivo STS Live (.tdms)	Sensor	Archivo de datos (.txt)
C1Ra_E1	Bridge Test_R14_12_12_2022_11_30_08.tdms	ATb11 06	CR1a_E2_E1.txt
C1Ra_E2	Bridge Test_R14_12_12_2022_11_30_08.tdms	ATb11 16	CR1a_E2_E1.txt
C1Rb_E1	Bridge Test_R17_12_12_2022_14_29_18.tdms	ATb11 06	C1Rb-E2.txt
C1Rb_E2	Bridge Test_R15_12_12_2022_12_32_44.tdms	ATb11 16	C1Rb-E1.txt
C2R_E1	Bridge Test_R21_12_13_2022_08_45_17.tdms	ATb11 16	C2R-E2.txt
C2R_E2	Bridge Test_R19_12_12_2022_15_50_59.tdms	ATb11 16	C2R-E1.txt
C3R_E1	Bridge Test_R24_12_13_2022_09_47_38.tdms	ATb11 06	C3R-E2_E1.txt
C3R_E2	Bridge Test_R24_12_13_2022_09_47_38.tdms	ATb11 16	C3R-E2_E1.txt
C4R_E1	Bridge Test_R25_12_13_2022_10_49_36.tdms	ATb11 06	C4R-E2_E1.txt
C4R_E2	Bridge Test_R25_12_13_2022_10_49_36.tdms	ATb11 16	C4R-E2_E1.txt
C4L_E1	Bridge Test_R26_12_13_2022_12_10_01.tdms	ATb11 06	C4L-E2_E1.txt
C4L_E2	Bridge Test_R26_12_13_2022_12_10_01.tdms	ATb11 16	C4L-E2_E1.txt
C3L_E1	Bridge Test_R27_12_13_2022_13_15_02.tdms	ATb11 06	C3L-E2_E1.txt
C3L_E2	Bridge Test_R27_12_13_2022_13_15_02.tdms	ATb11 16	C3L-E2_E1.txt
C2L_E1	Bridge Test_R28_12_13_2022_14_15_04.tdms	ATb11 06	C2L-E2_E1.txt
C2L_E2	Bridge Test_R28_12_13_2022_14_15_04.tdms	ATb11 16	C2L-E2_E1.txt

Punto	Archivo STS Live (.tdms)	Sensor	Archivo de datos (.txt)
C1L_E1	Bridge Test_R29_12_14_2022_09_00_02.tdms	ATb11 06	C1L-E2_E1.txt
C1L_E2	Bridge Test_R29_12_14_2022_09_00_02.tdms	ATb11 16	C1L-E2_E1.txt
D1_E1	Bridge Test_R48_01_16_2023_11_19_43.tdms	A2120	D1-E2_E1
D1_E2	Bridge Test_R48_01_16_2023_11_19_43.tdms	ATb11 16	D1-E2_E2
D2_E1	Bridge Test_R49_01_16_2023_11_45_09.tdms	A2120	D2-E2_E1
D2_E2	Bridge Test_R49_01_16_2023_11_45_09.tdms	ATb11 16	D2-E2_E2
D3_E1	Bridge Test_R51_01_16_2023_12_21_41.tdms	A2120	D3-E2_E1
D3_E2	Bridge Test_R51_01_16_2023_12_21_41.tdms	ATb11 16	D3-E2_E2
D4_E1	Bridge Test_R52_01_16_2023_12_49_04.tdms	A2120	D4-E2_E1
D4_E2	Bridge Test_R52_01_16_2023_12_49_04.tdms	ATb11 16	D4-E2_E2

En la tabla anterior, cada columna representa lo siguiente:

- Punto: nombre de cada punto de medición de acuerdo con lo indicado en la sección 2.1.
- Sensor: nombre del sensor de acuerdo con la tabla 2.
- Archivo STS Live (.tdms): archivo de salida del programa computacional de adquisición de datos en formato “.tdms”. Este es el único formato de salida que permite el programa.
- Archivo de datos (.txt): datos en bruto exportados del programa STS View en formato “.txt”.

3.3. Resultado de las mediciones

En este apartado se muestra un ejemplo de los resultados de uno de los cables y los resultados de un punto sobre el tablero. Los resultados adicionales se adjuntan en la sección de apéndices. Para los puntos restantes de medición, los datos se procesaron de acuerdo con lo descrito en este apartado.

3.3.1. Cables

Los registros en el dominio del tiempo, para el cable C1Ra_E1, en las direcciones X, Y y Z se muestran en las figuras 15, 16 y 17, respectivamente.

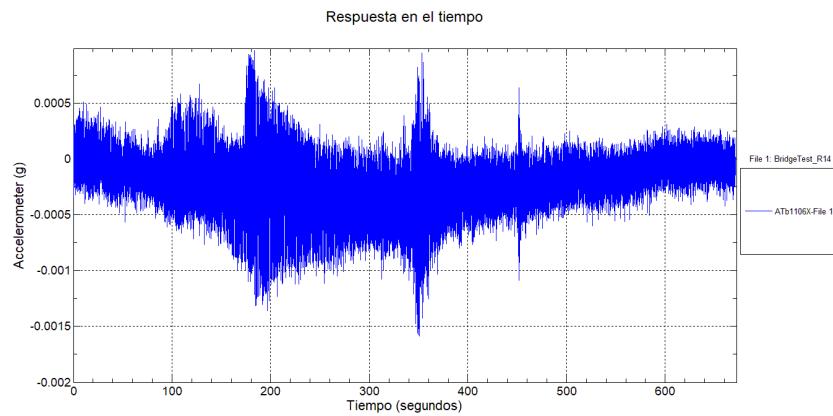


Figura 15: Registro de aceleraciones en la dirección X para el cable C1Ra_E1

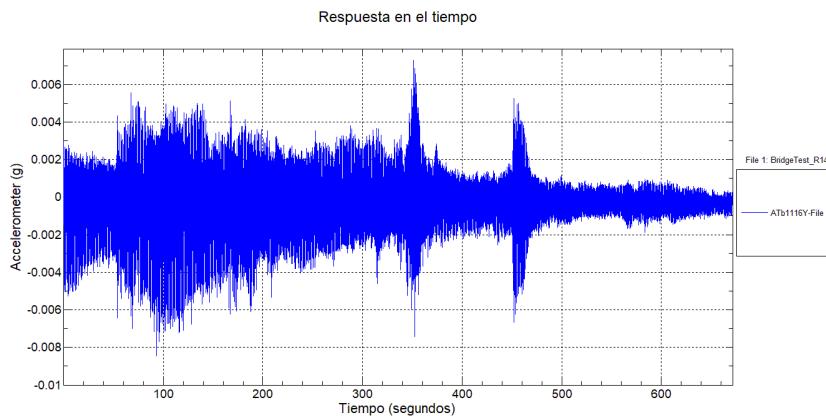


Figura 16: Registro de aceleraciones en la dirección Y para el cable C1Ra_E1

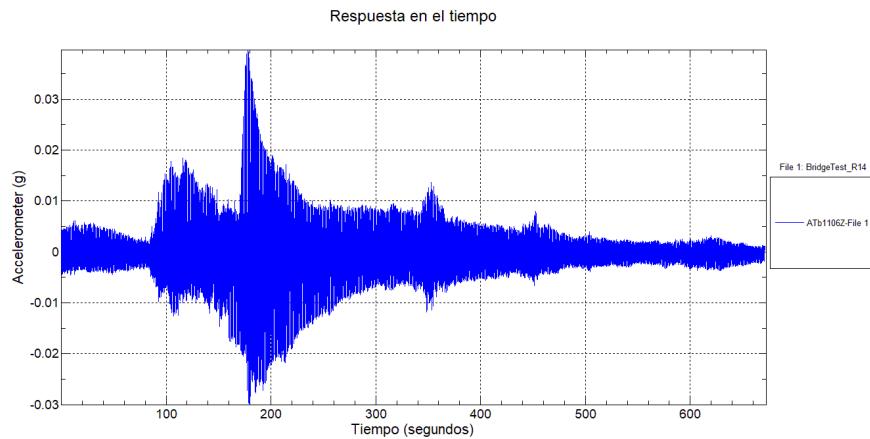


Figura 17: Registro de aceleraciones en la dirección Z para el cable C1Ra_E1

Para pasar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, se utilizó la transformada rápida de Fourier, por medio del programa STS View. Se analizaron los datos en dos ventanas de tiempo llamadas ciclo 1 (C1) y ciclo 2 (C2), considerando una muestra de 32768 datos para cada ciclo. En las figuras 18,19 y 20 se muestran los resultados, para el cable C1Ra_E1, para el ciclo 1, en las direcciones X, Y y Z, respectivamente.

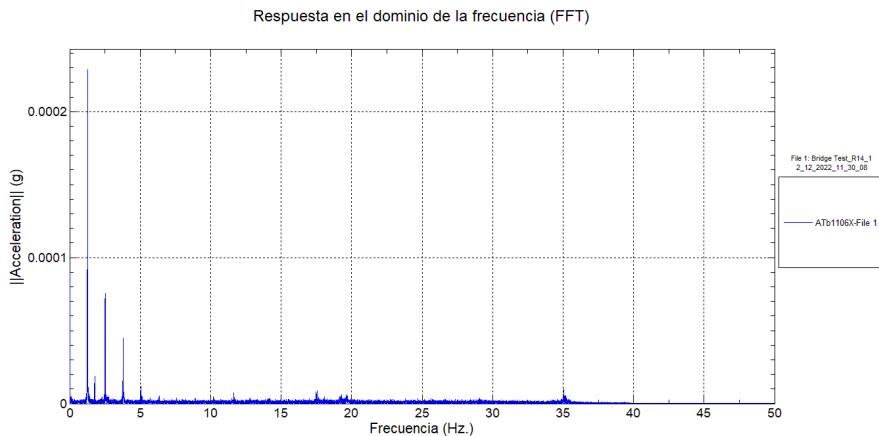


Figura 18: Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para el cable C1Ra_E1 para C1

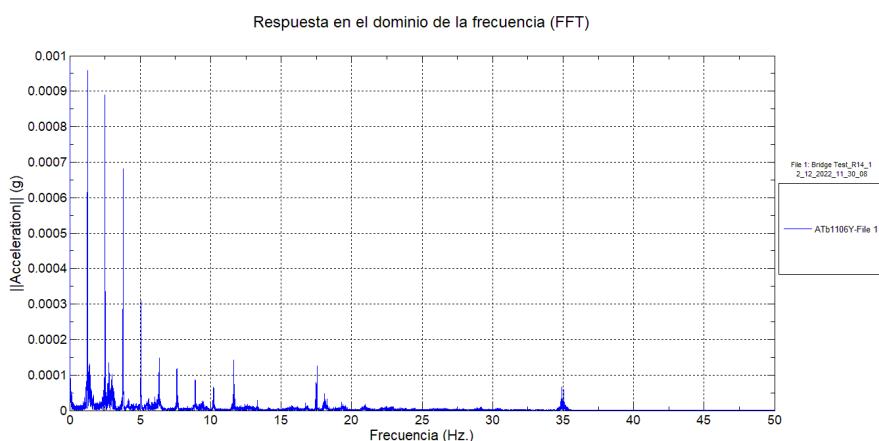


Figura 19: Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para el cable C1Ra_E1 para C1

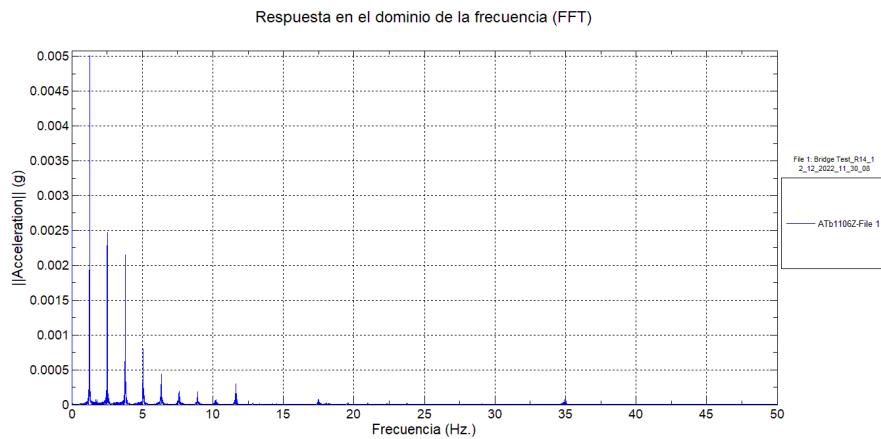


Figura 20: Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para el cable C1Ra_E1 para C1

3.3.2. Tablero

Los registros en el dominio del tiempo, para el punto D1_E1, en las direcciones X, Y y Z se muestran en las figuras 21, 22 y 23, respectivamente.

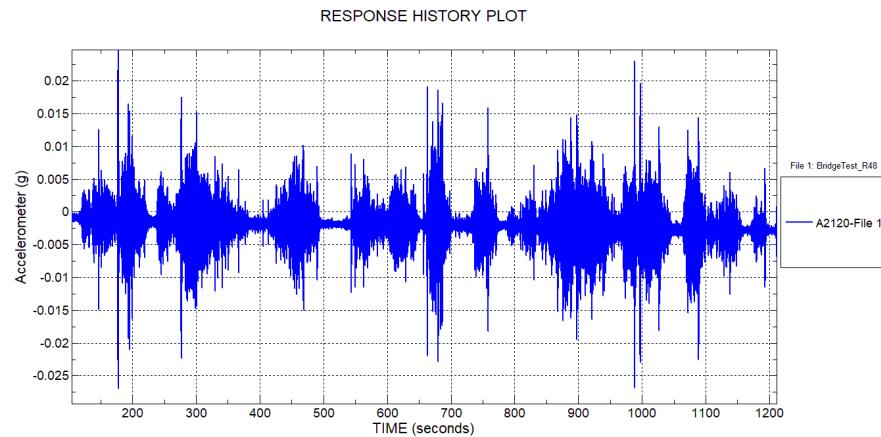


Figura 21: Registro de aceleraciones en la dirección X para el punto D1_E1

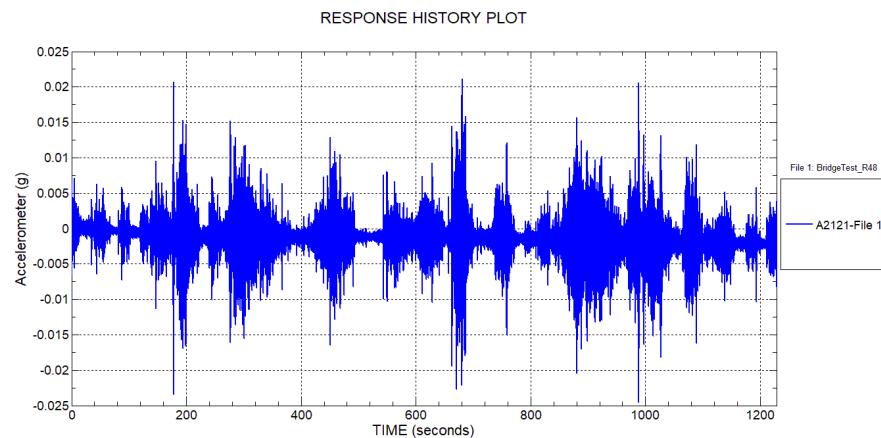


Figura 22: Registro de aceleraciones en la dirección Y para el punto D1_E1

Fecha de emisión del formato: 17/ene/23 Entrada en vigencia de este formato: 17/ene/23

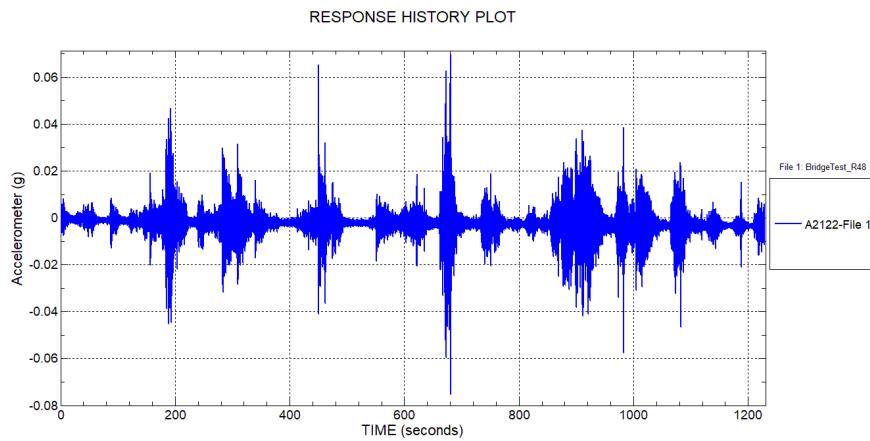


Figura 23: Registro de aceleraciones en la dirección Z para el punto D1_E1

Para pasar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, se utilizó la transformada rápida de Fourier, por medio del programa STS View. Se analizaron los datos en dos ventanas de tiempo llamadas ciclo 1 (C1) y ciclo 2 (C2), considerando una muestra de 131072 datos para cada ciclo. En las figuras 24, 25 y 26 se muestran los resultados, para el punto D1_E1, para el ciclo 1, en las direcciones X, Y y Z, respectivamente.

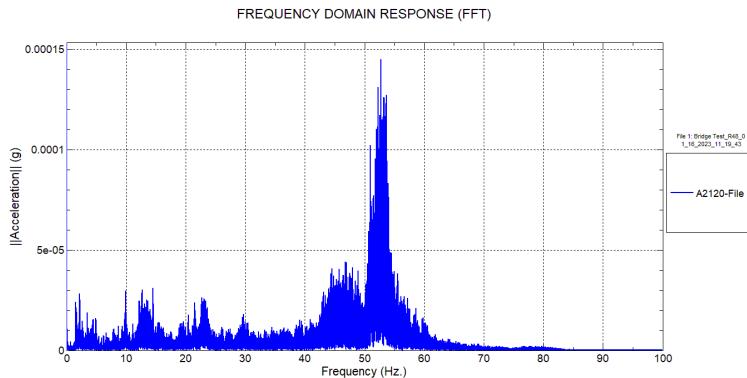


Figura 24: Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para el punto D1_E1

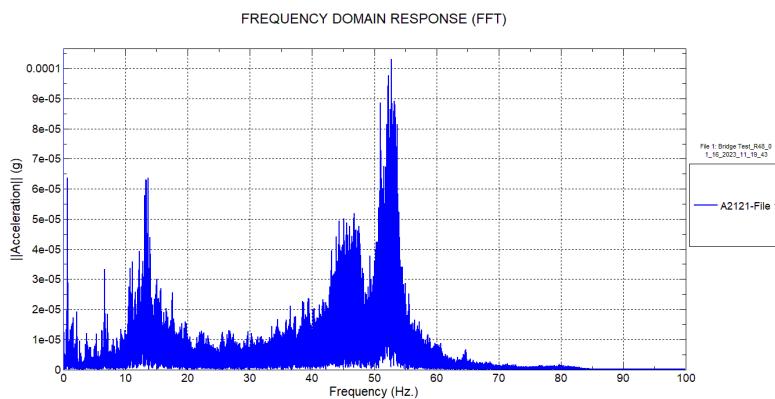


Figura 25: Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para el punto D1_E1

Fecha de emisión del formato: 17/ene/23 Entrada en vigencia de este formato: 17/ene/23

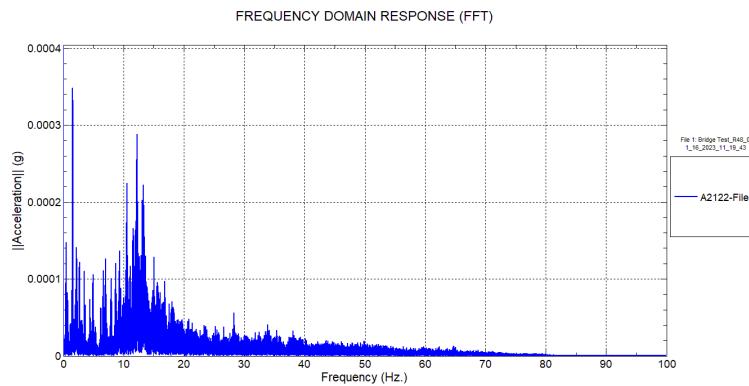
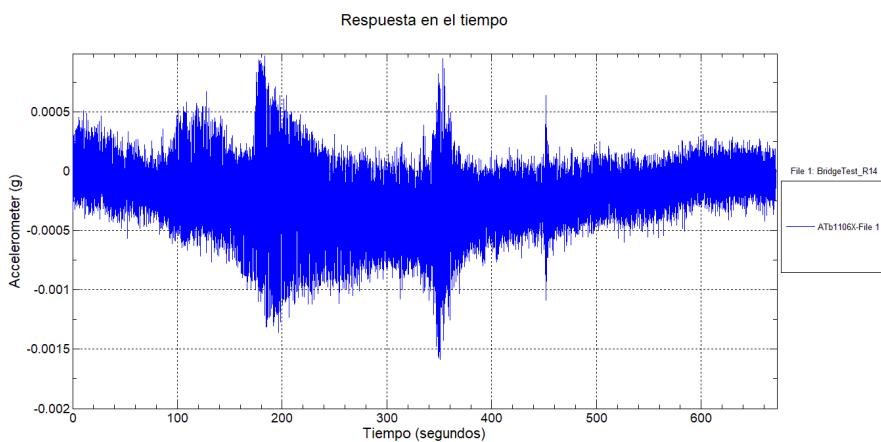


Figura 26: Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para el punto D1_E1

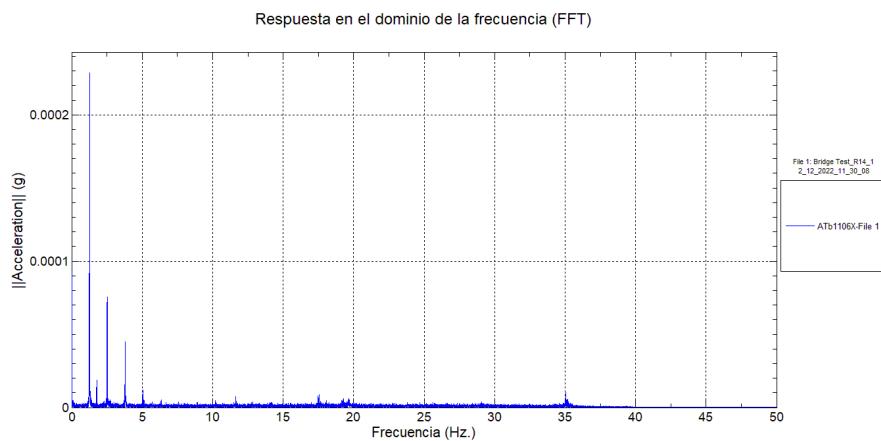
4. Apéndices

Apéndice 1. Resultados cable C1Ra_E1

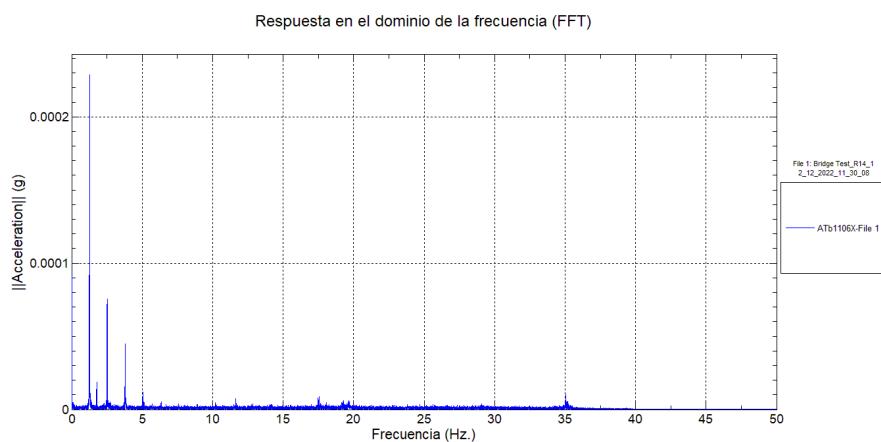
Registro de aceleraciones en la dirección X



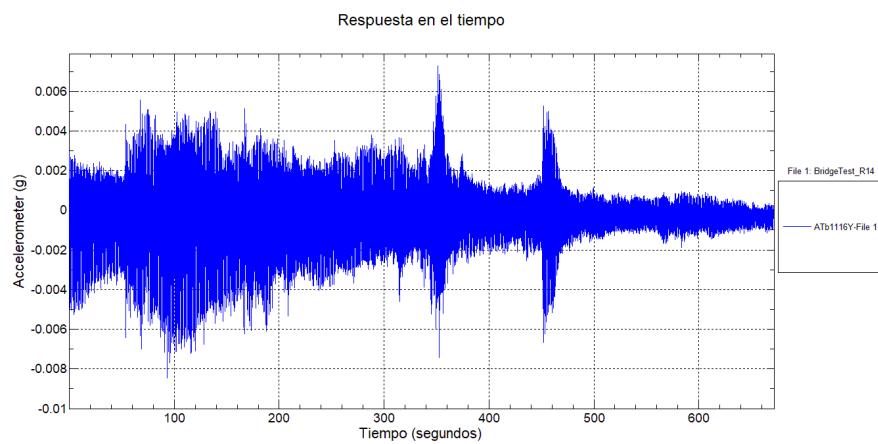
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



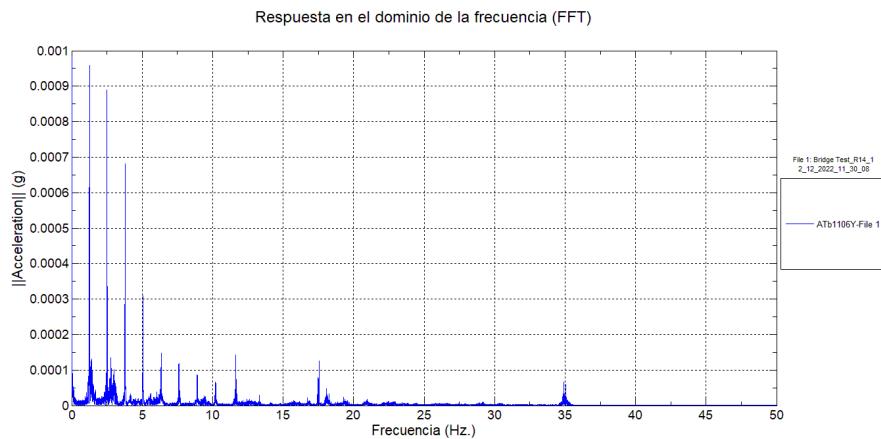
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



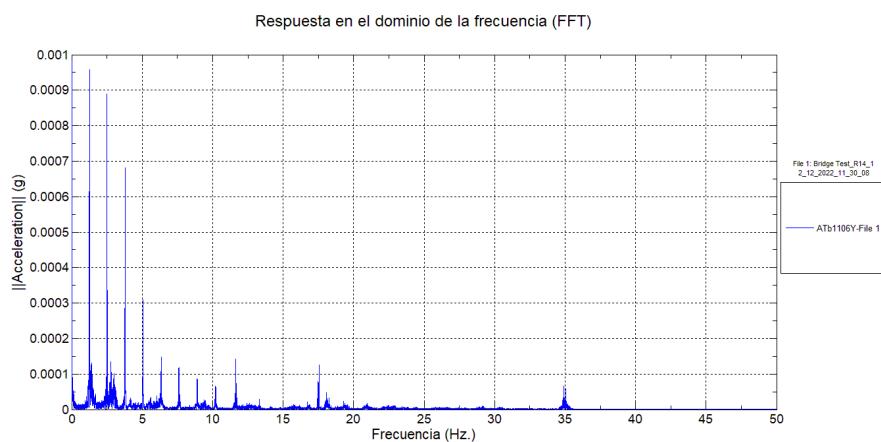
Registro de aceleraciones en la dirección Y



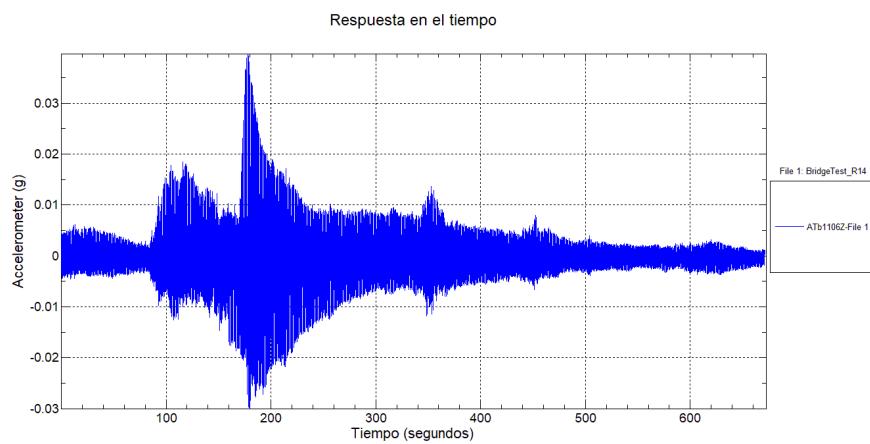
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



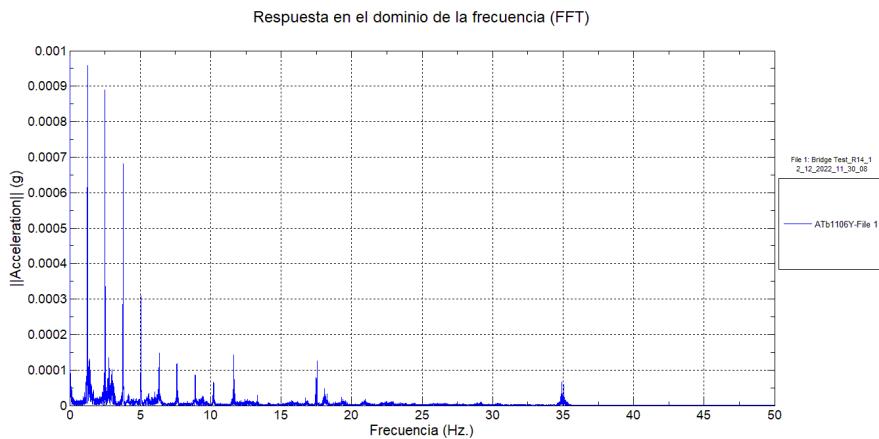
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



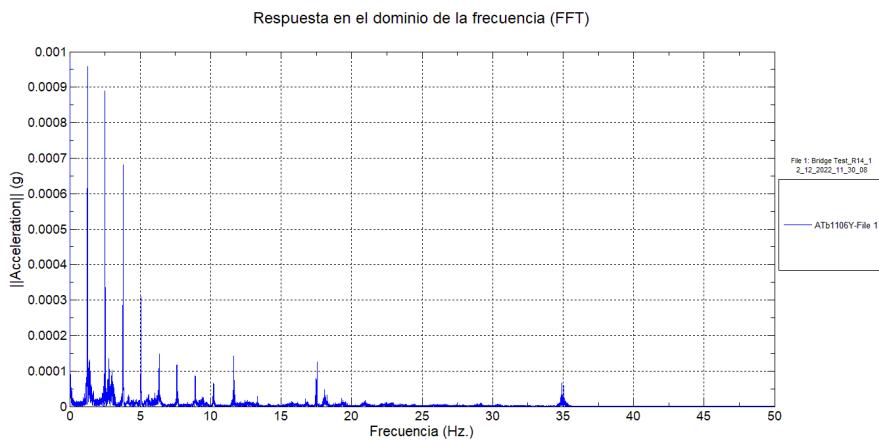
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

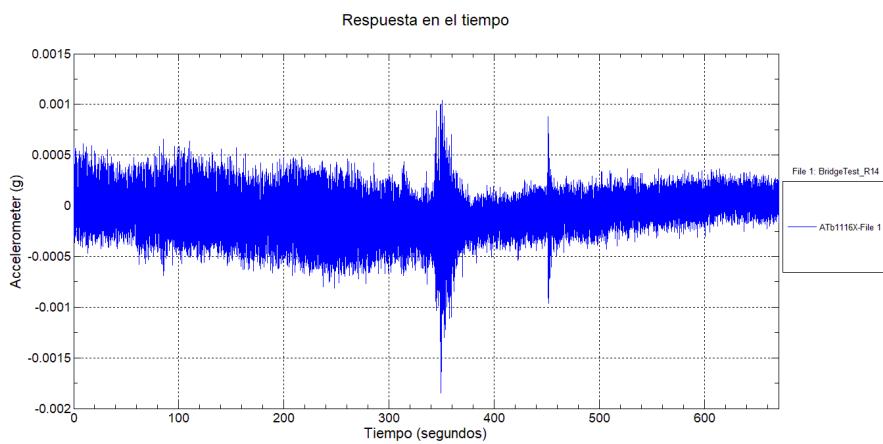


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

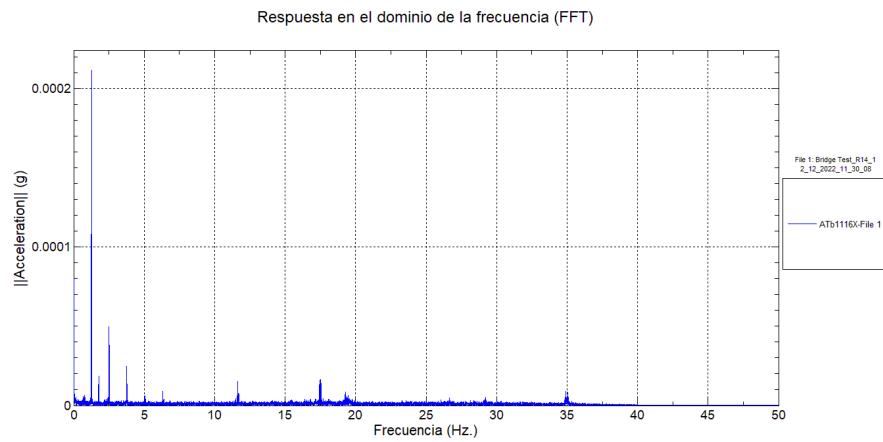


Apéndice 2. Resultados cable C1Ra_E2

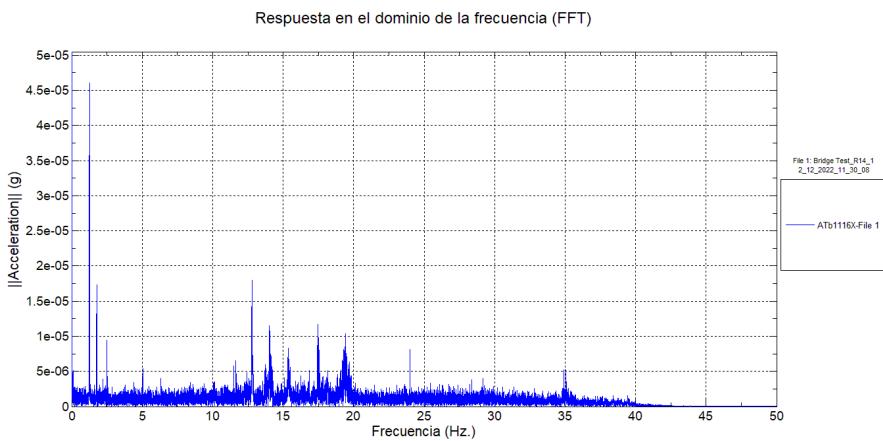
Registro de aceleraciones en la dirección X



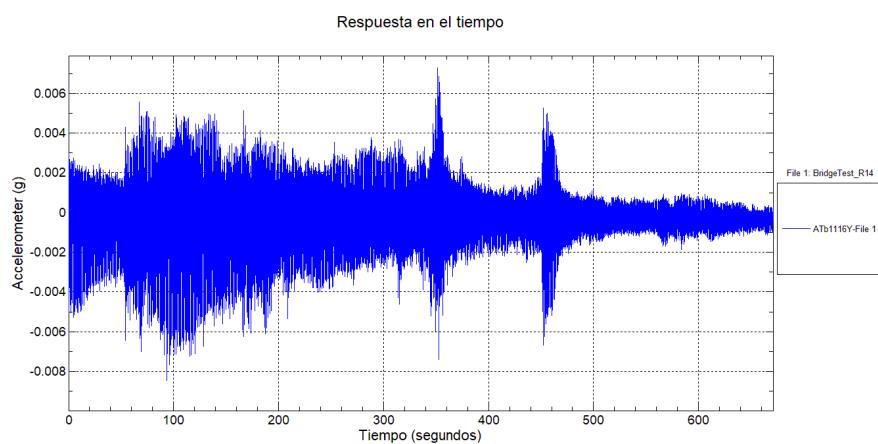
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



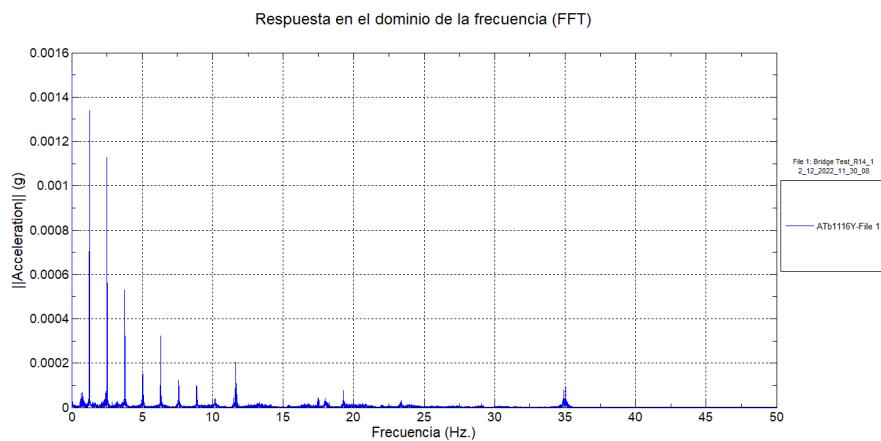
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



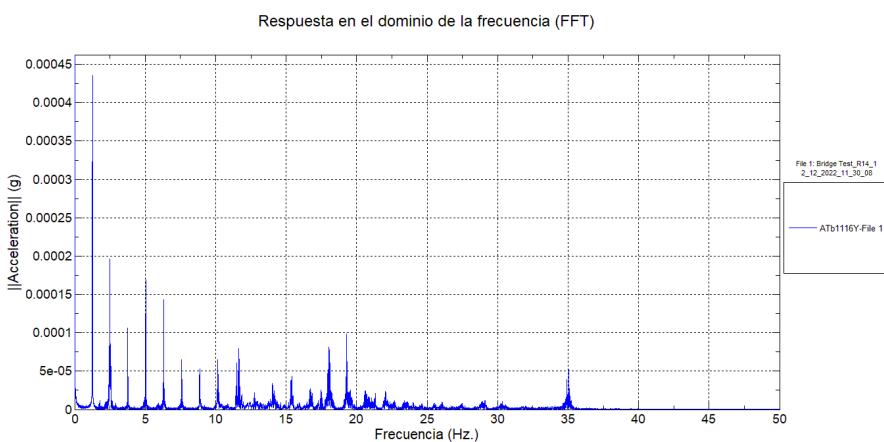
Registro de aceleraciones en la dirección Y



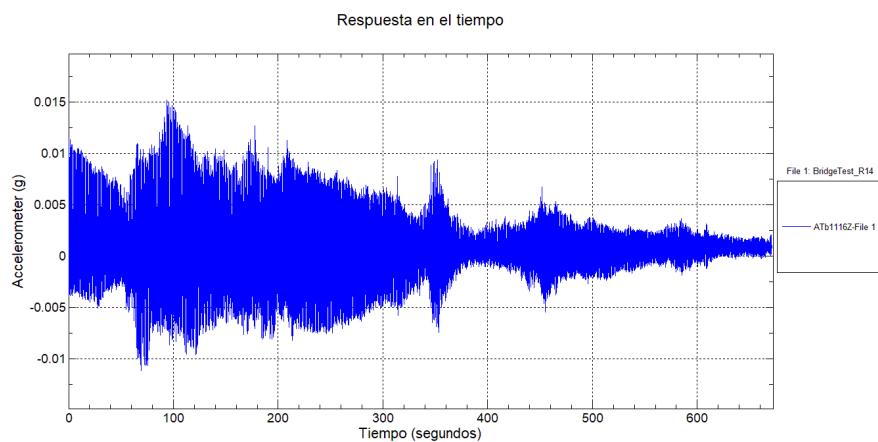
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



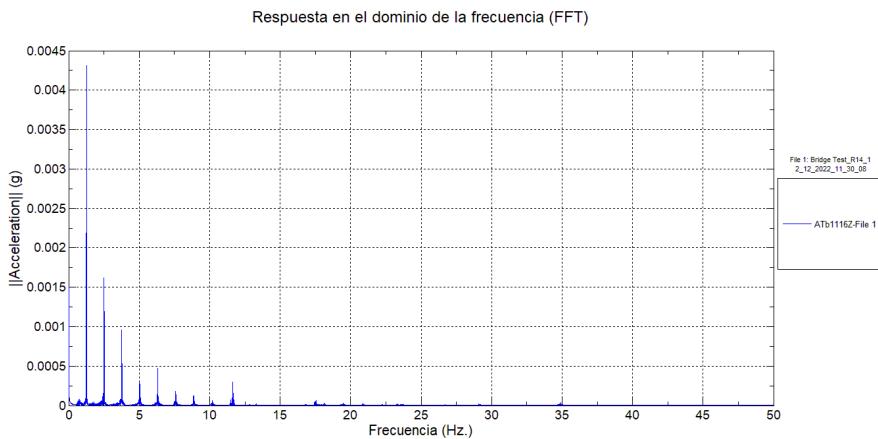
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



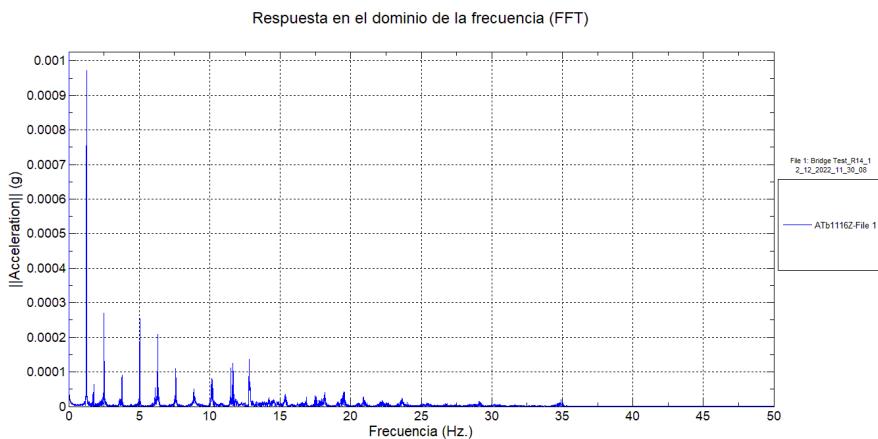
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

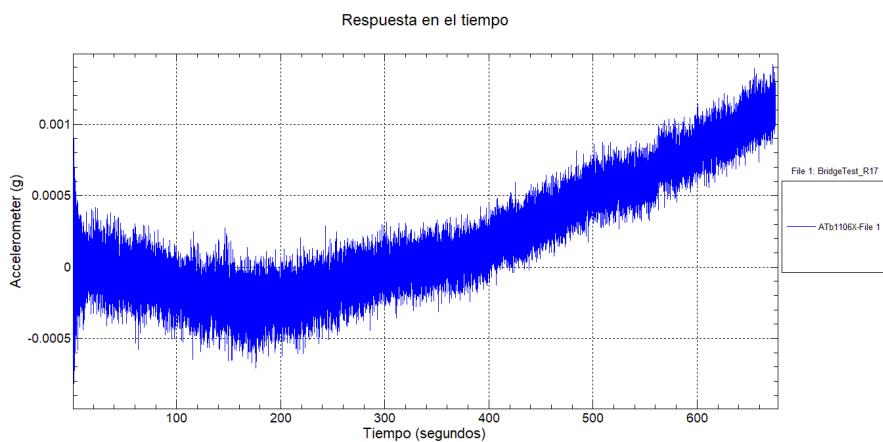


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

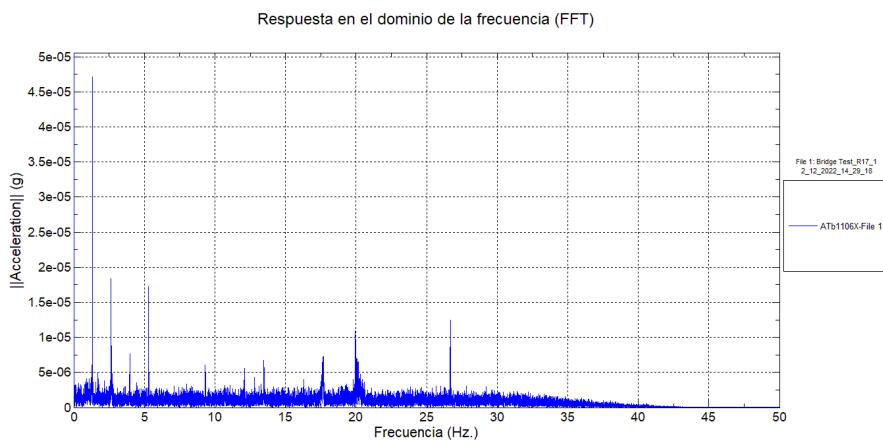


Apéndice 3. Resultados cable C1Rb_E1

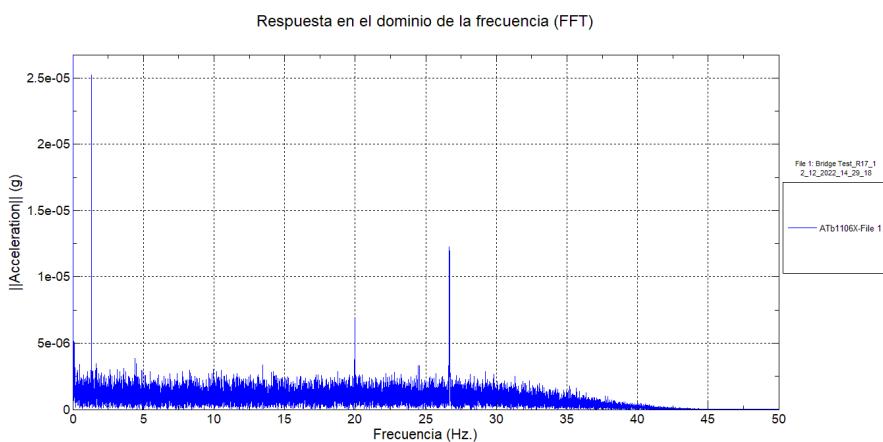
Registro de aceleraciones en la dirección X



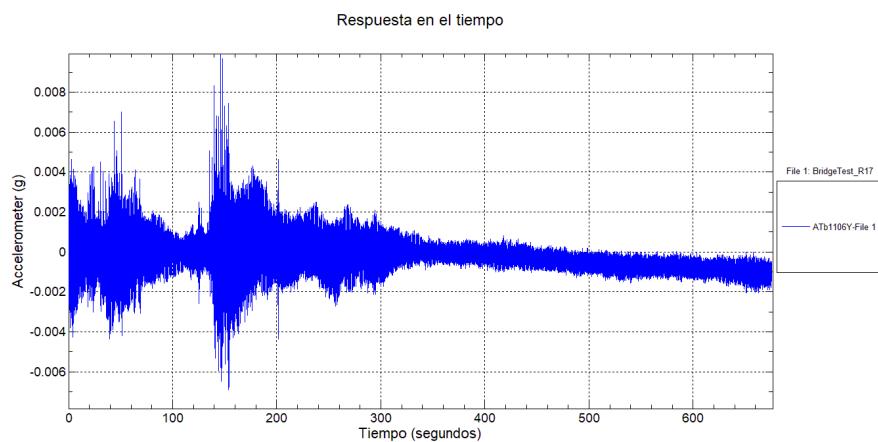
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



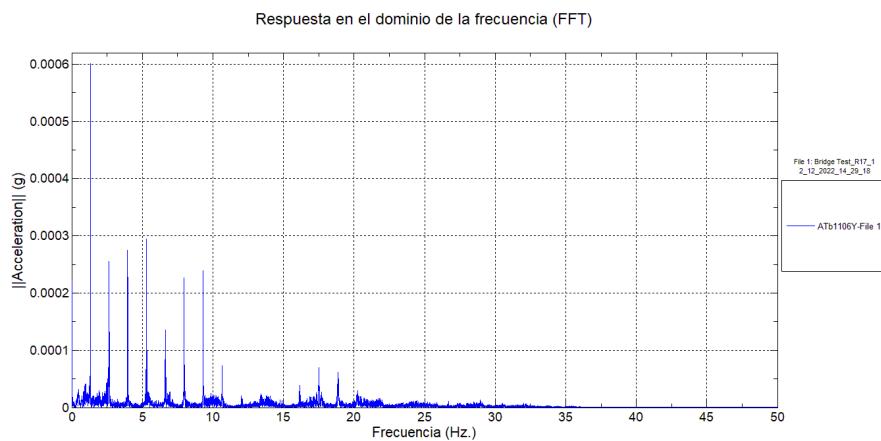
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



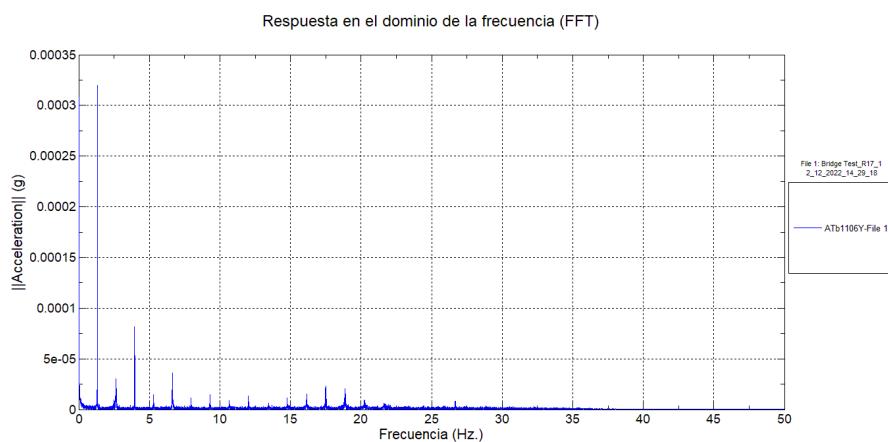
Registro de aceleraciones en la dirección Y



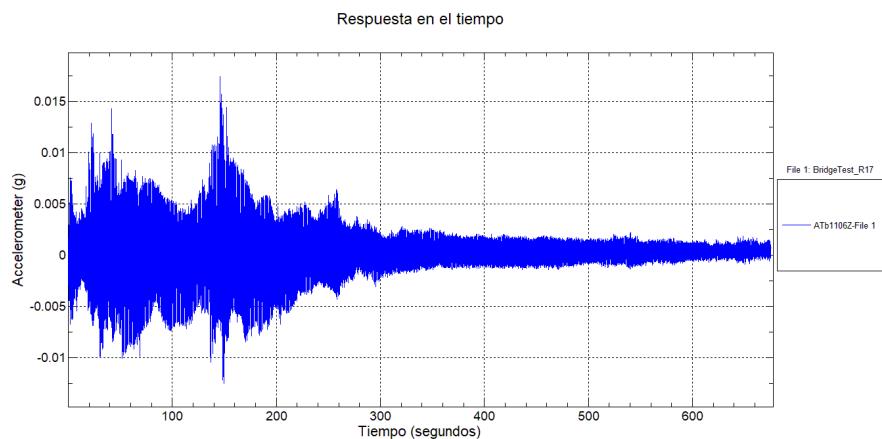
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



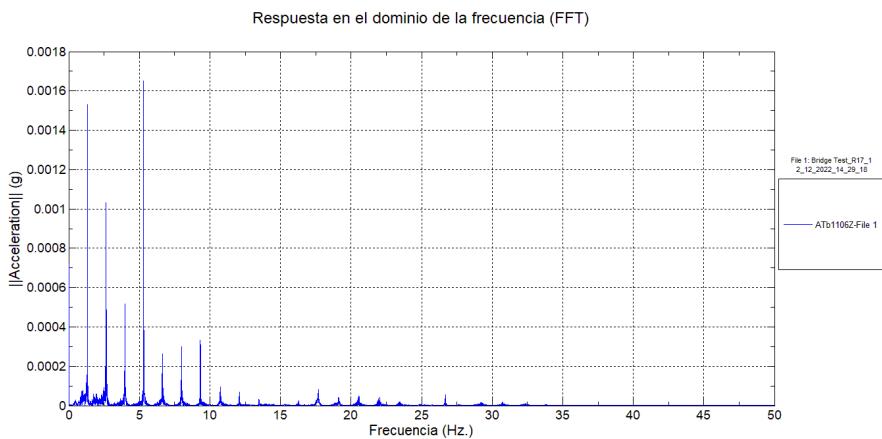
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



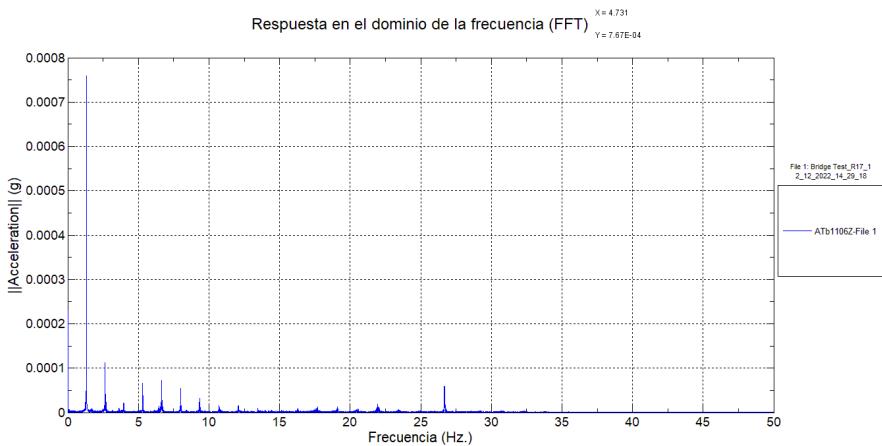
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

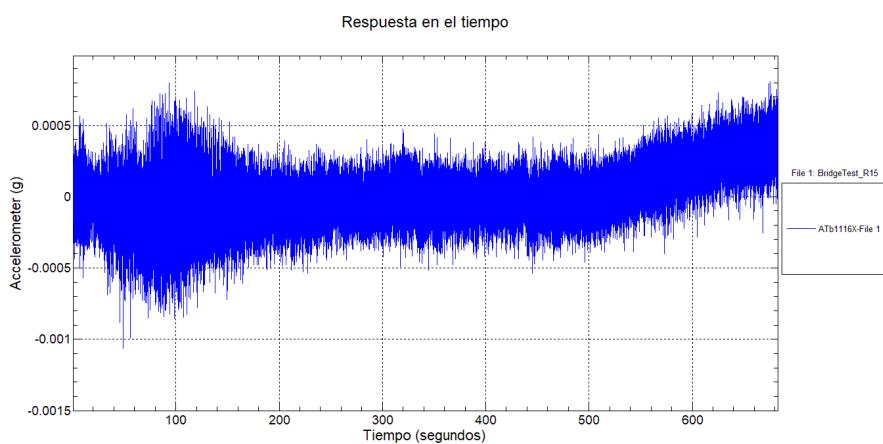


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

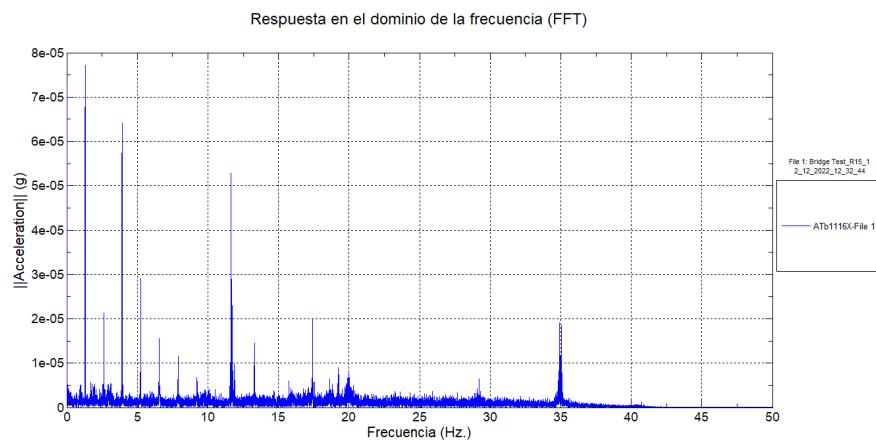


Apéndice 4. Resultados cable C1Rb E2

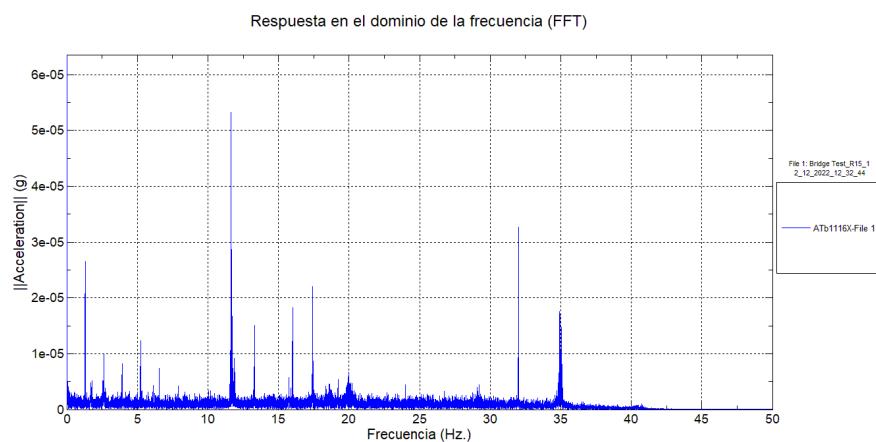
Registro de aceleraciones en la dirección X



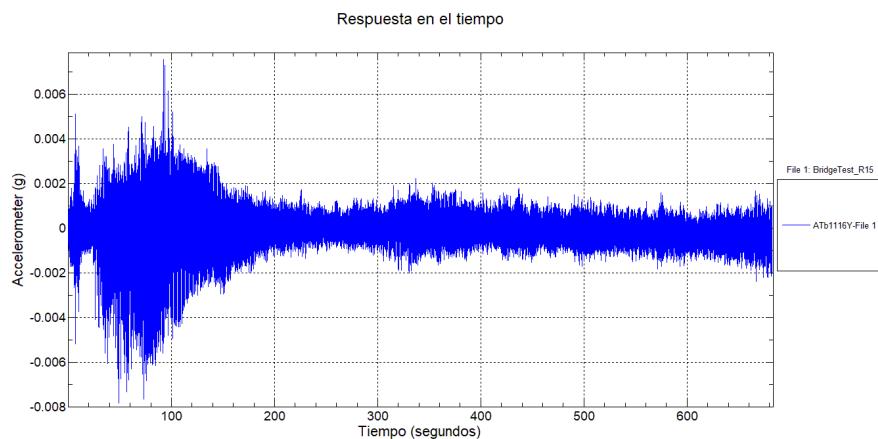
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



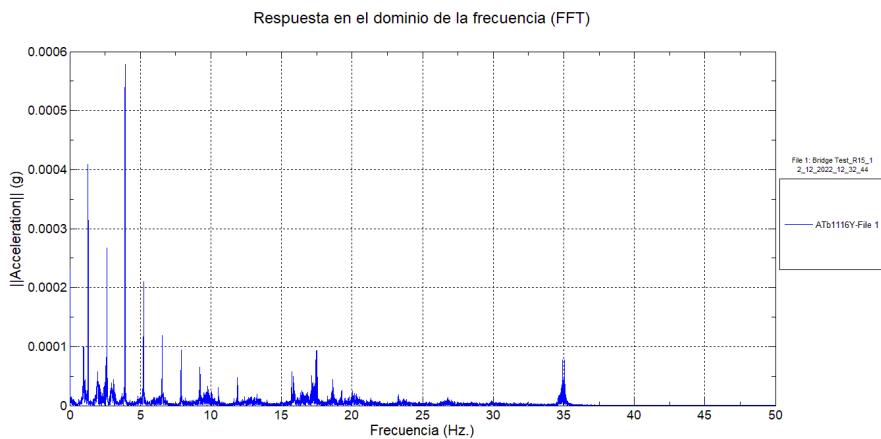
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



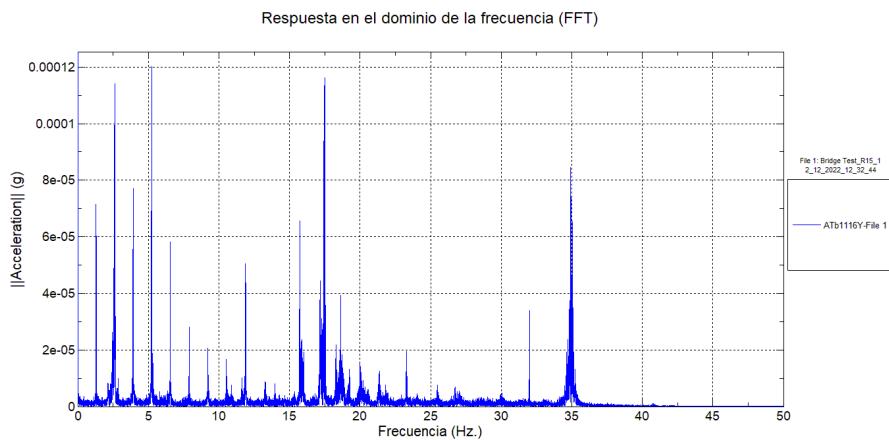
Registro de aceleraciones en la dirección Y



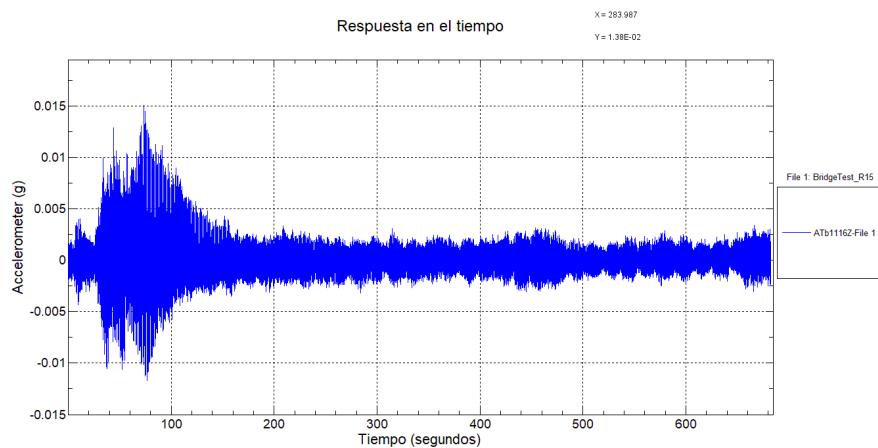
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



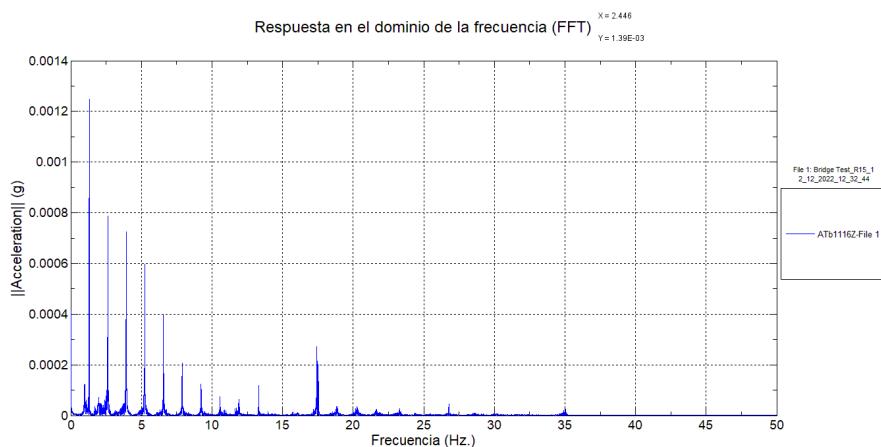
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



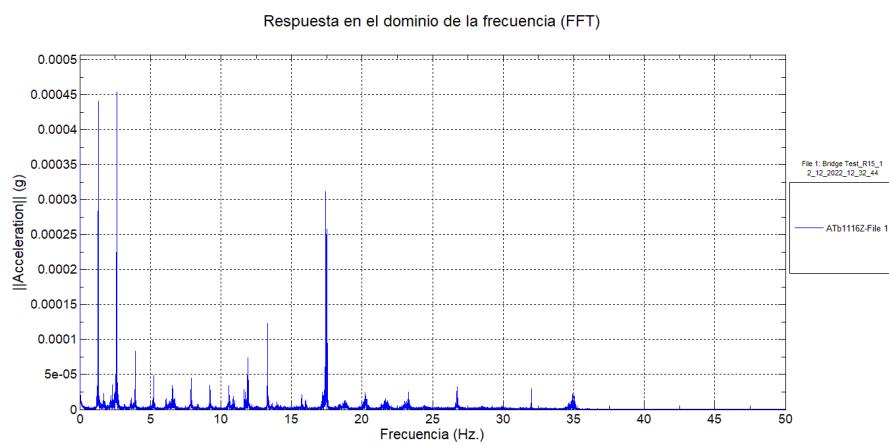
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

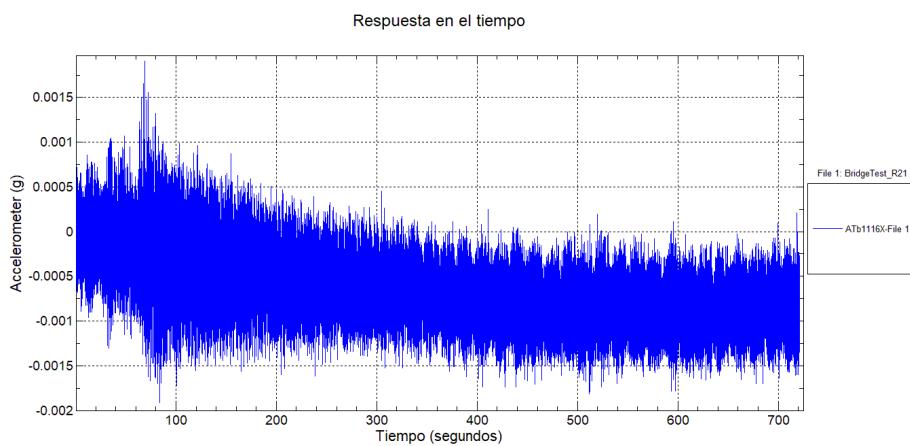


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

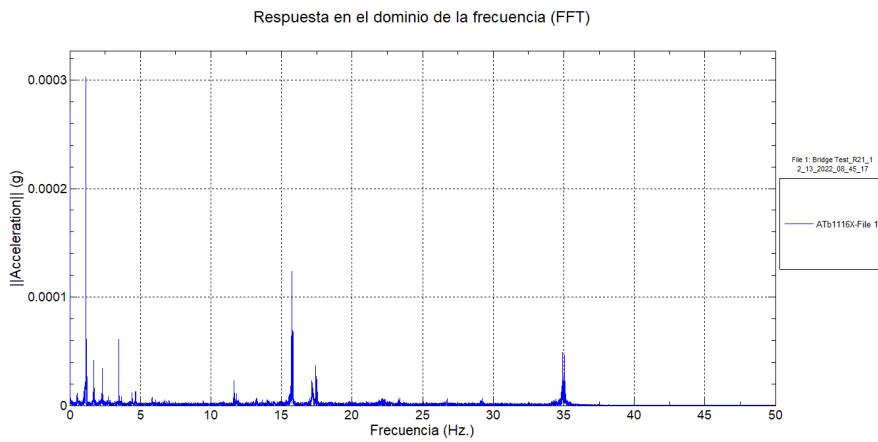


Apéndice 5. Resultados cable C2R E1

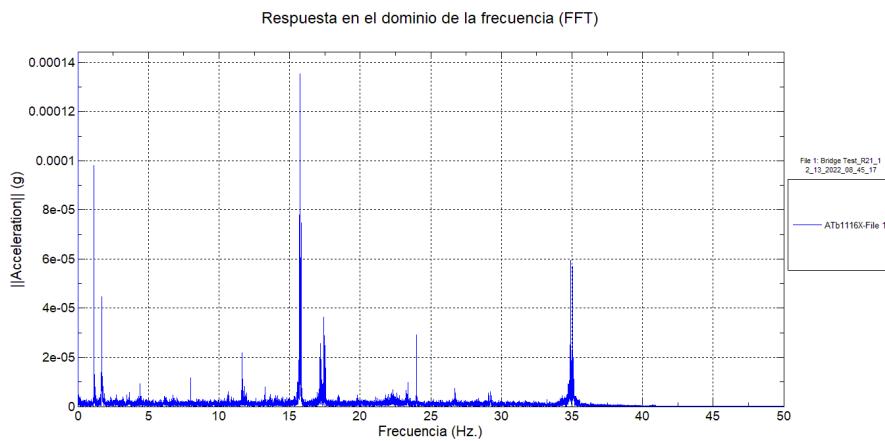
Registro de aceleraciones en la dirección X



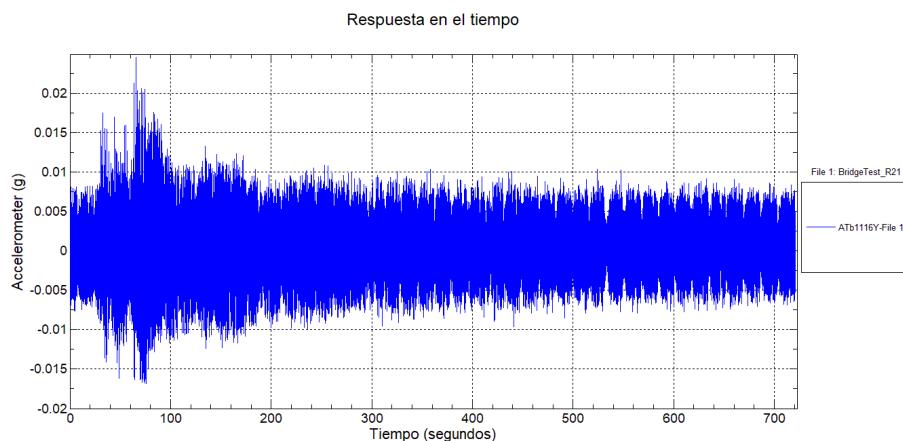
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



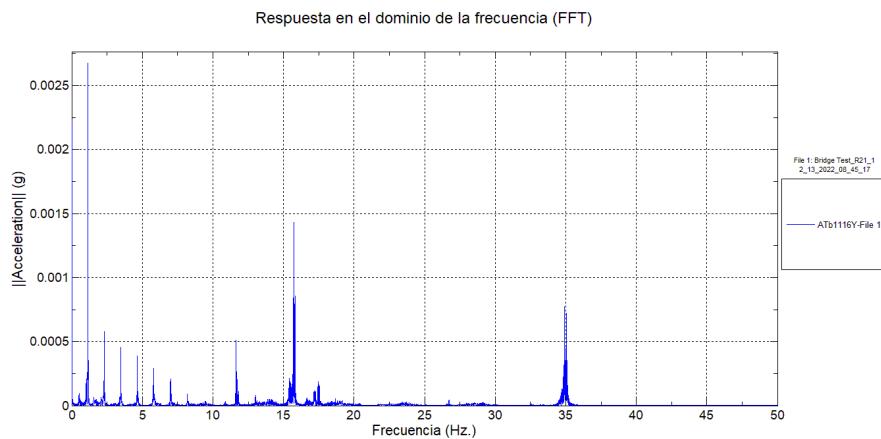
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



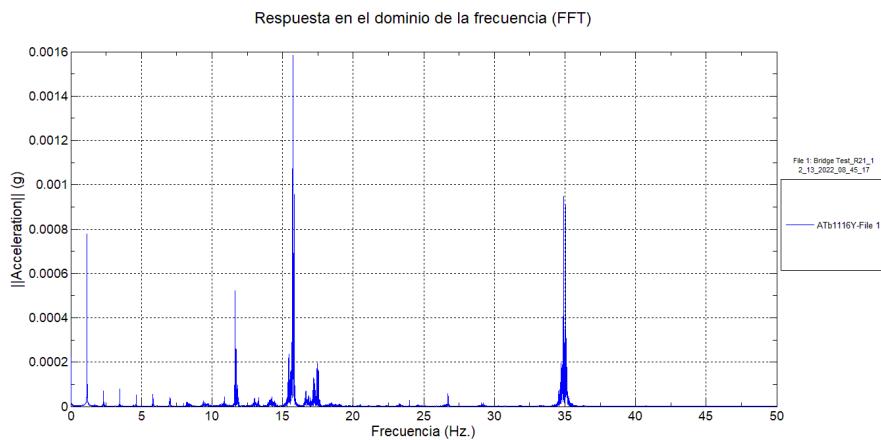
Registro de aceleraciones en la dirección Y



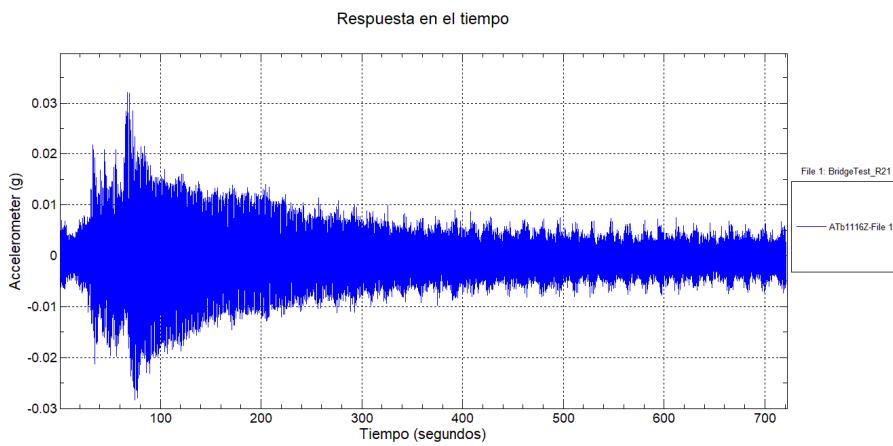
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



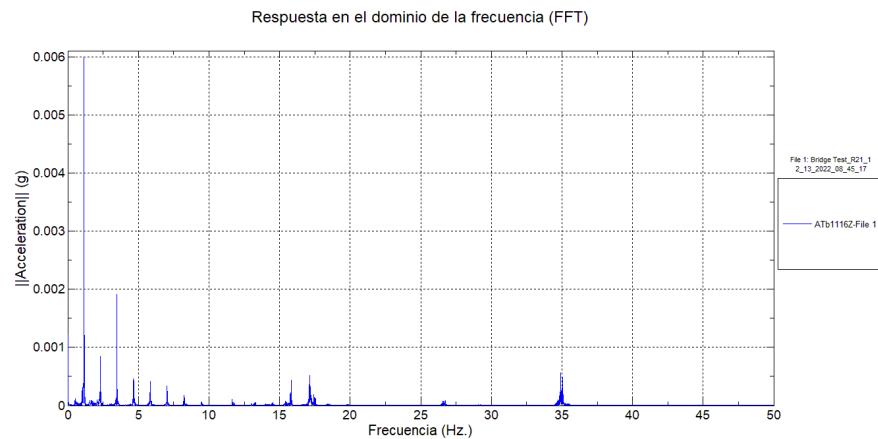
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



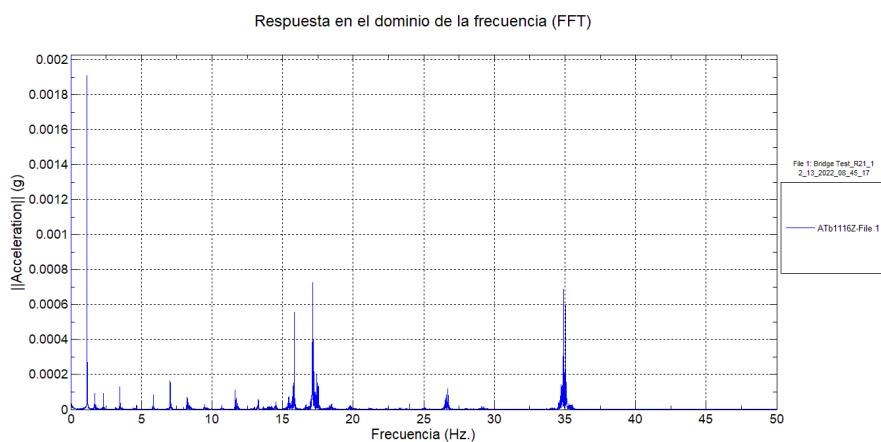
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

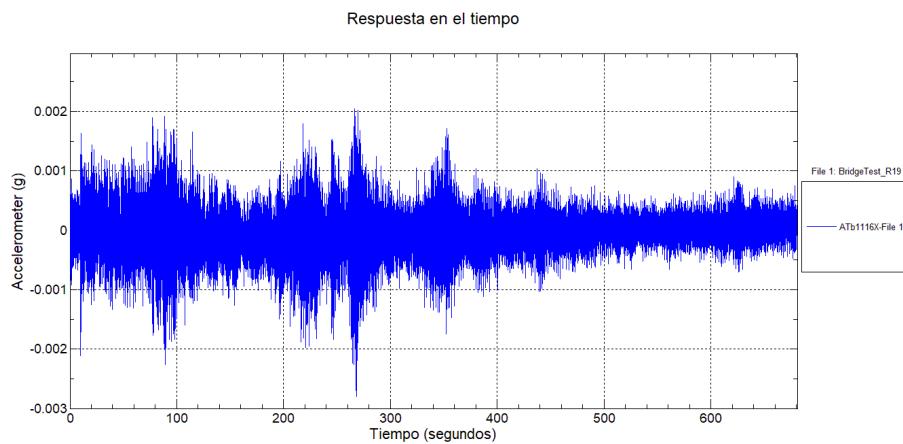


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

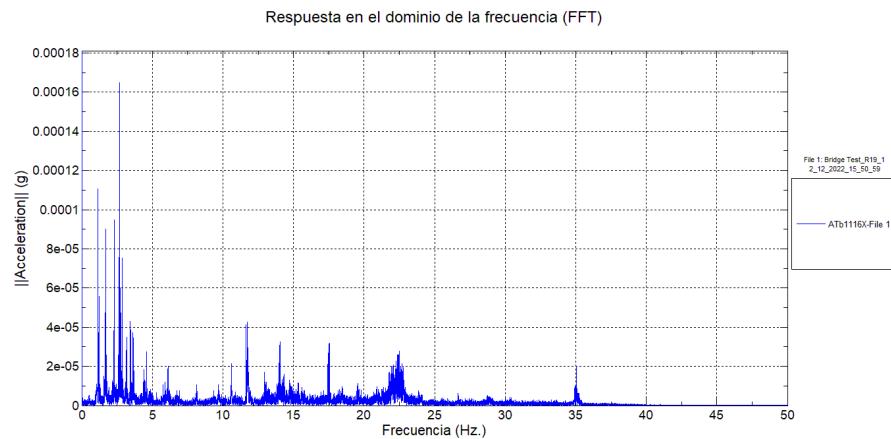


Apéndice 6. Resultados cable C2R E2

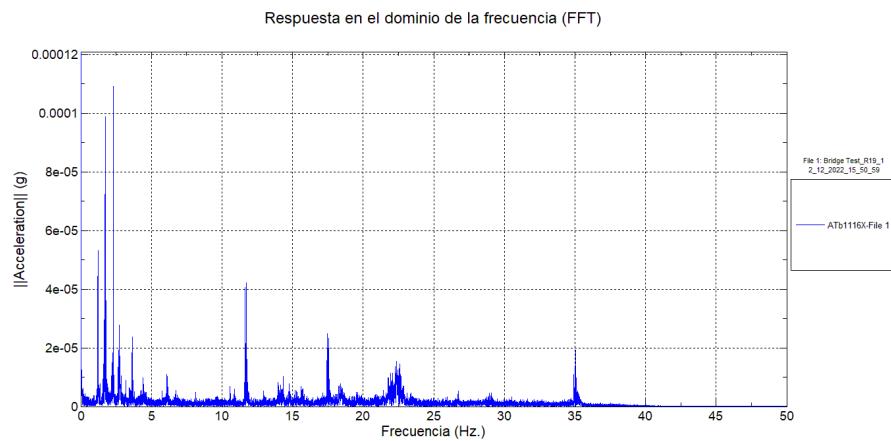
Registro de aceleraciones en la dirección X



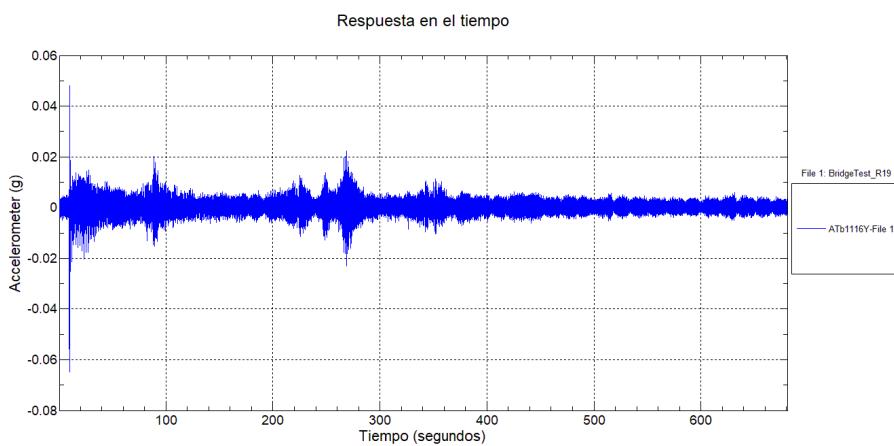
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



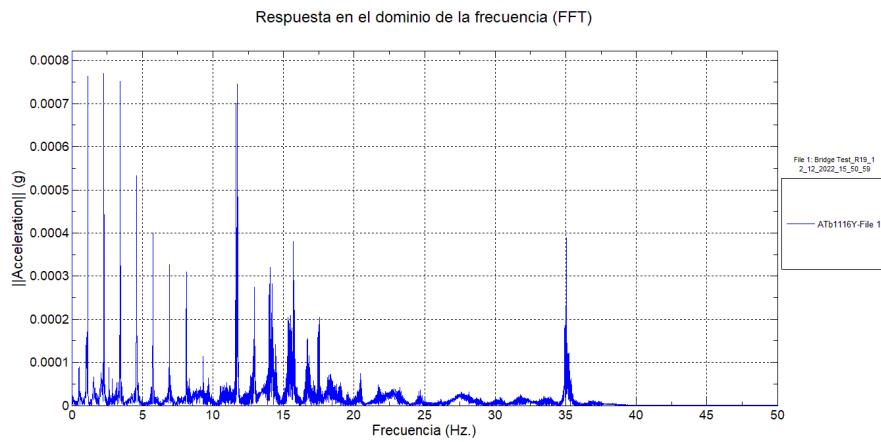
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



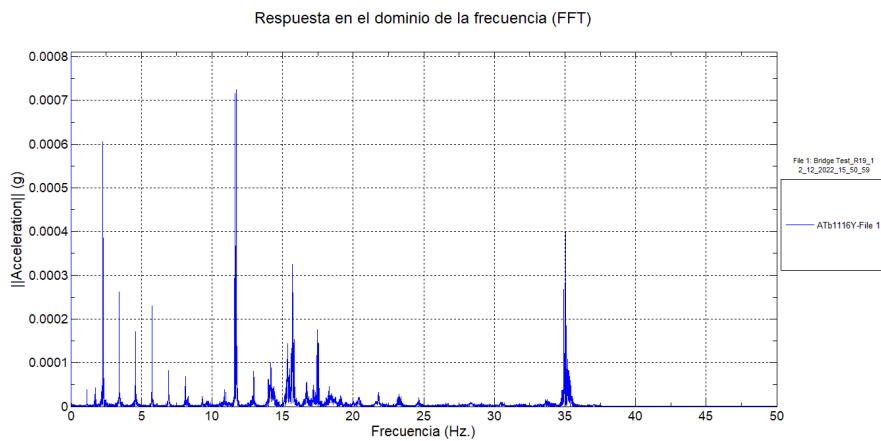
Registro de aceleraciones en la dirección Y



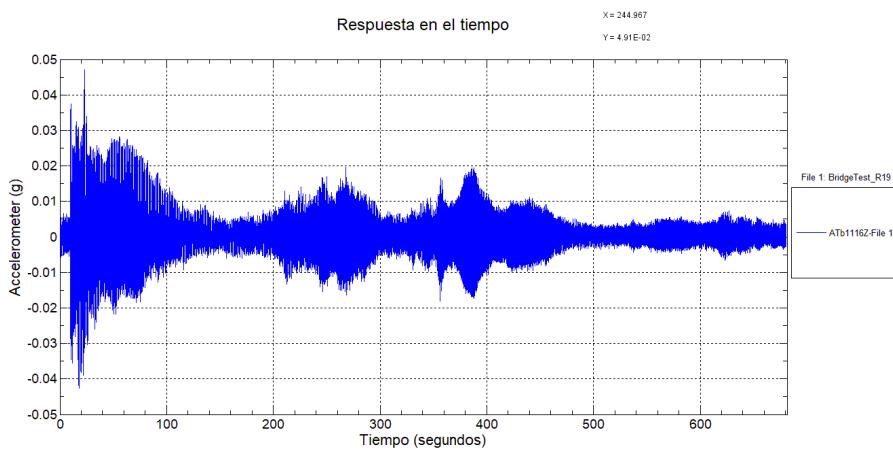
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



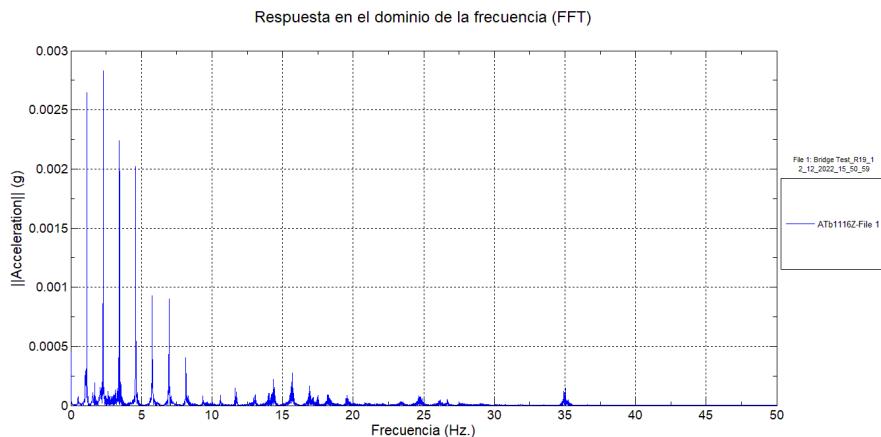
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



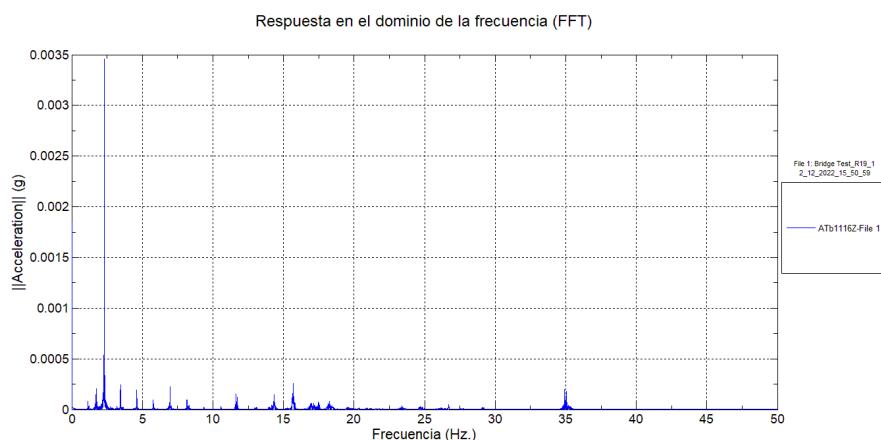
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

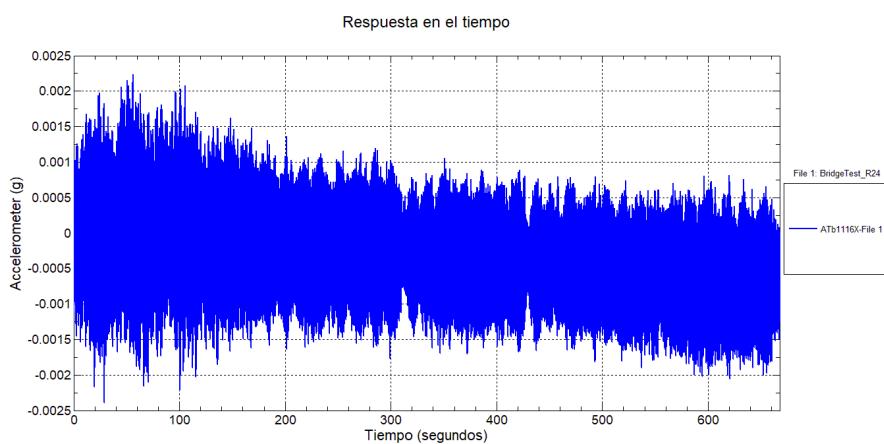


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

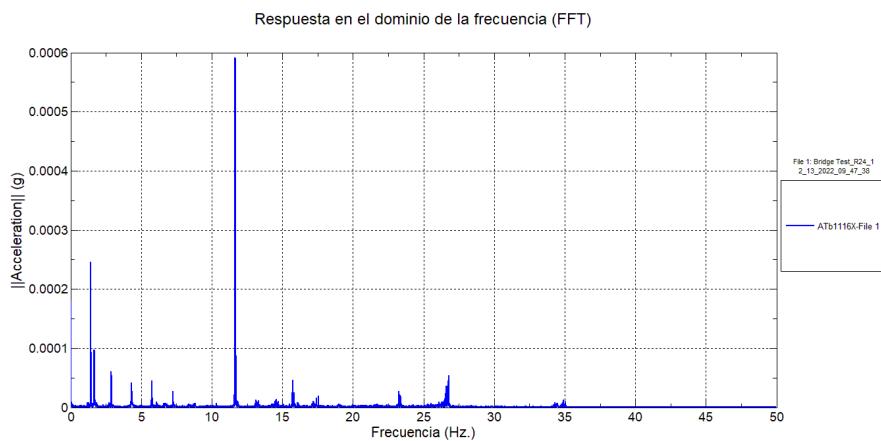


Apéndice 7. Resultados cable C3R E1

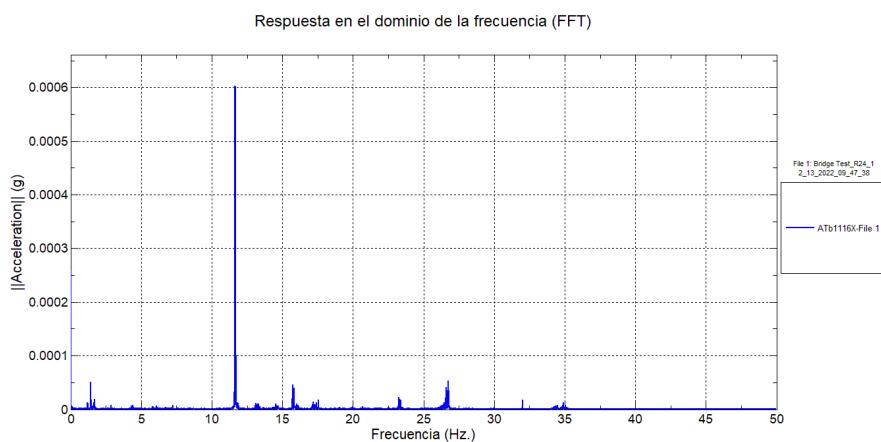
Registro de aceleraciones en la dirección X



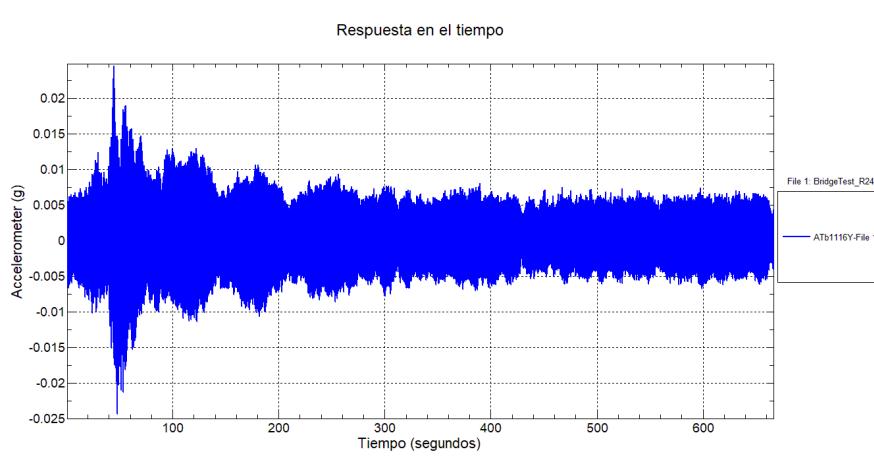
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



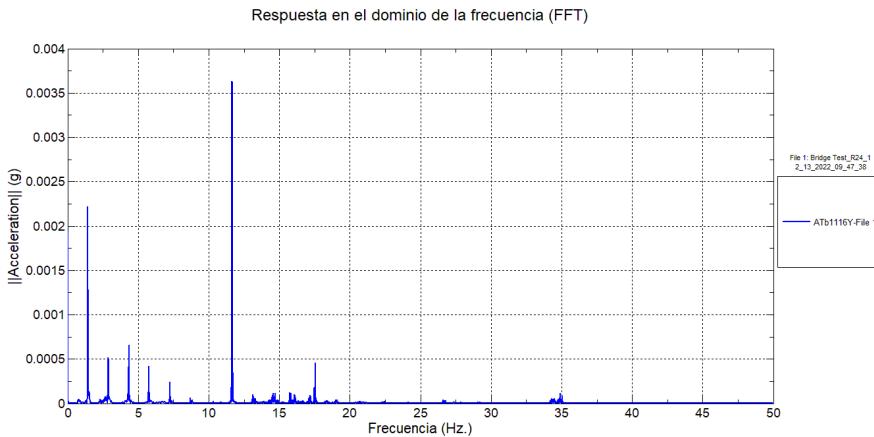
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



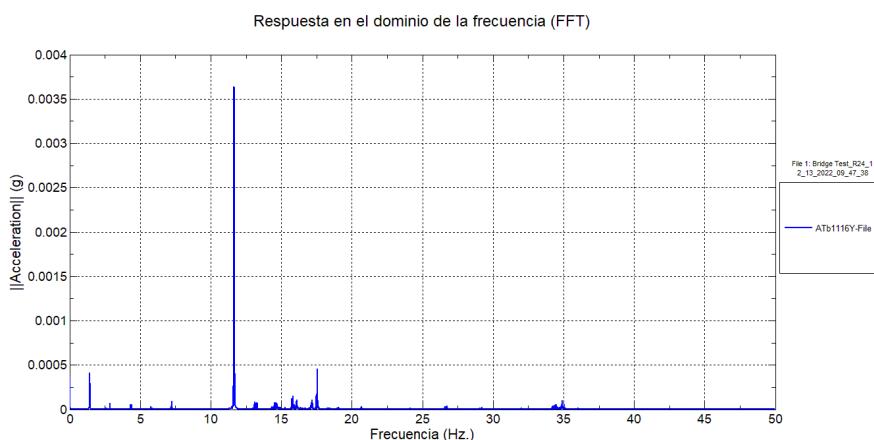
Registro de aceleraciones en la dirección Y



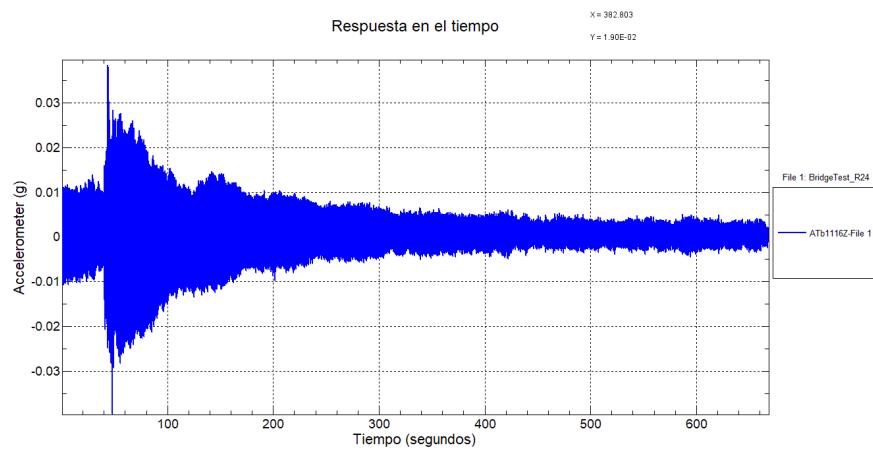
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



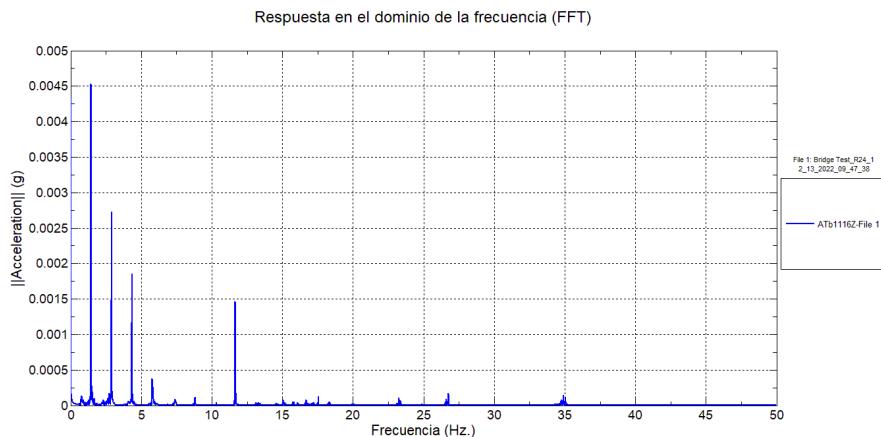
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



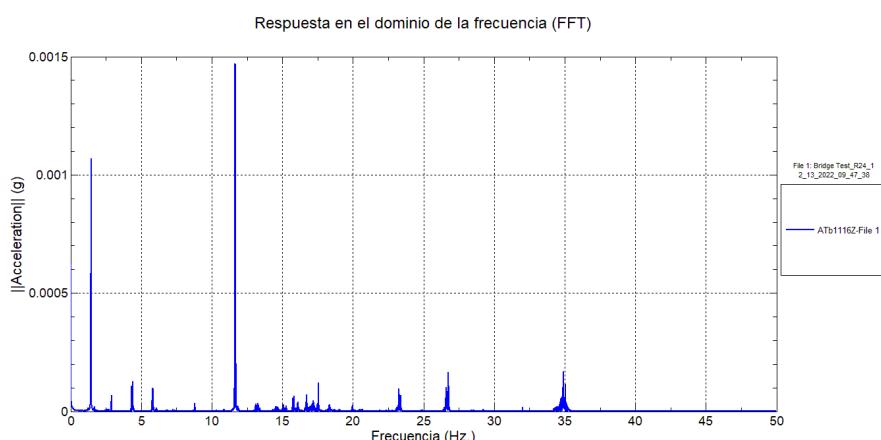
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

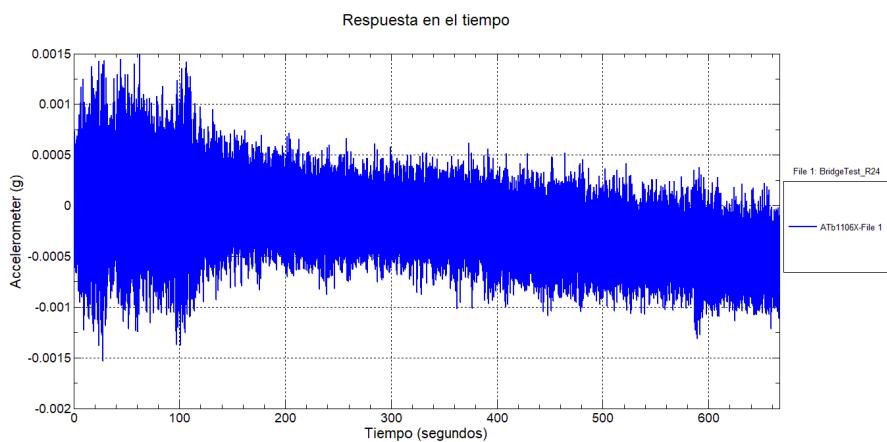


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

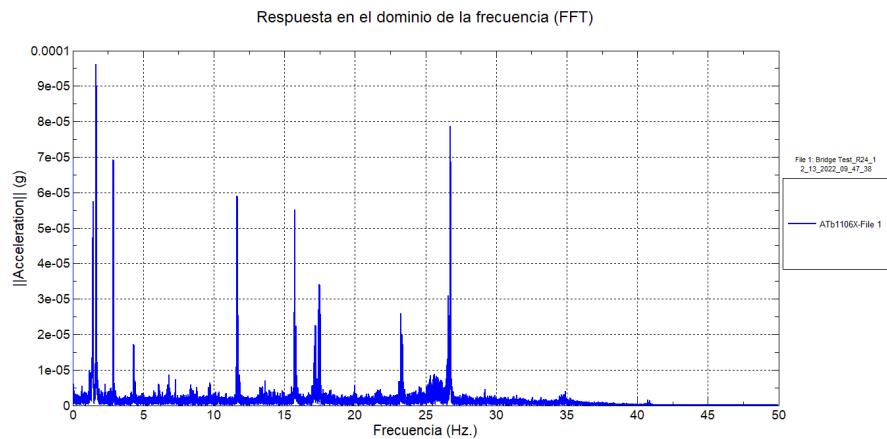


Apéndice 8. Resultados cable C3R E2

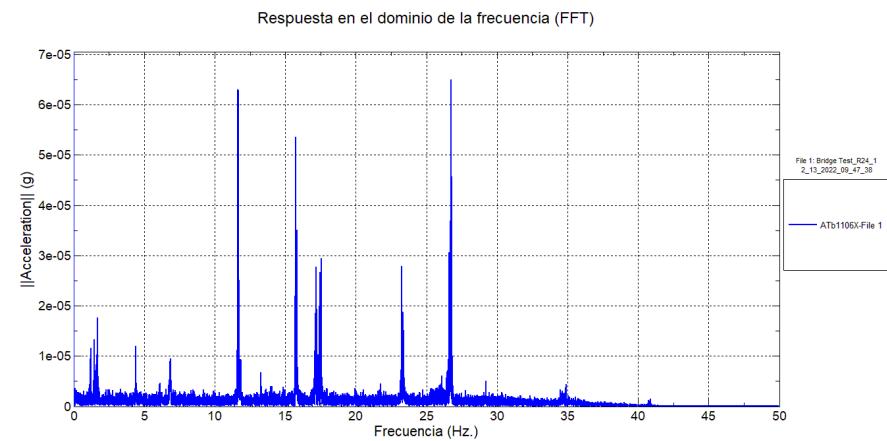
Registro de aceleraciones en la dirección X



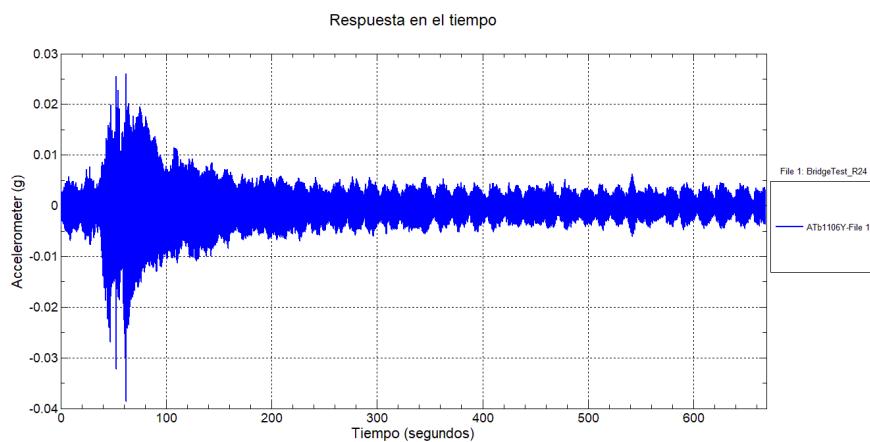
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



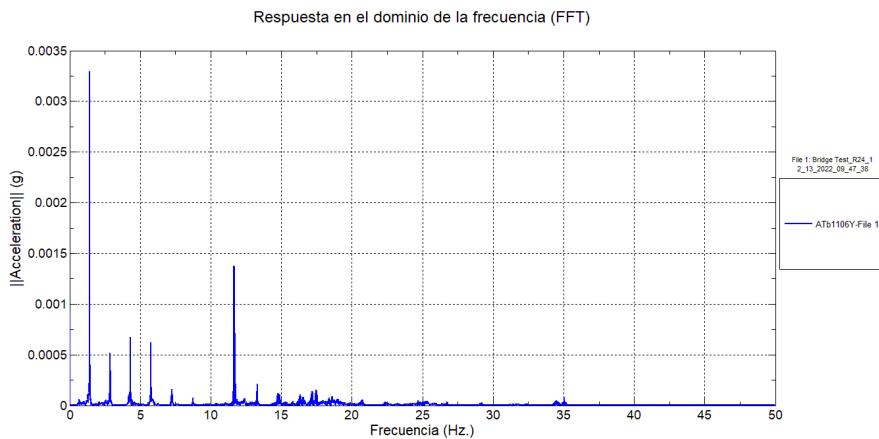
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



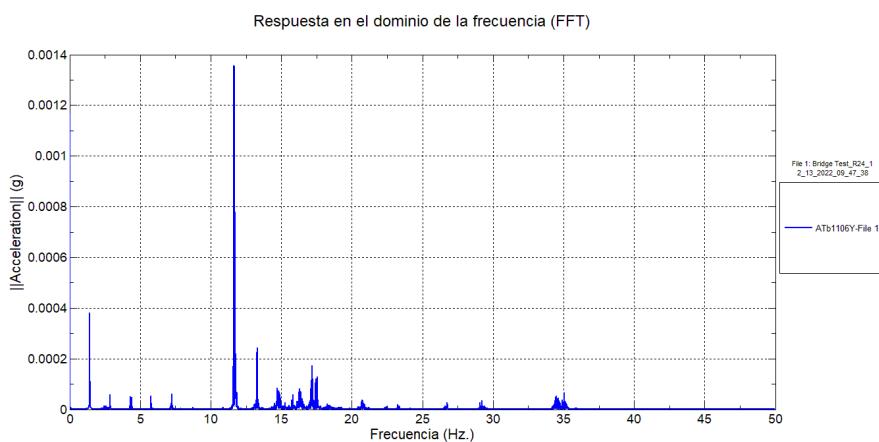
Registro de aceleraciones en la dirección Y



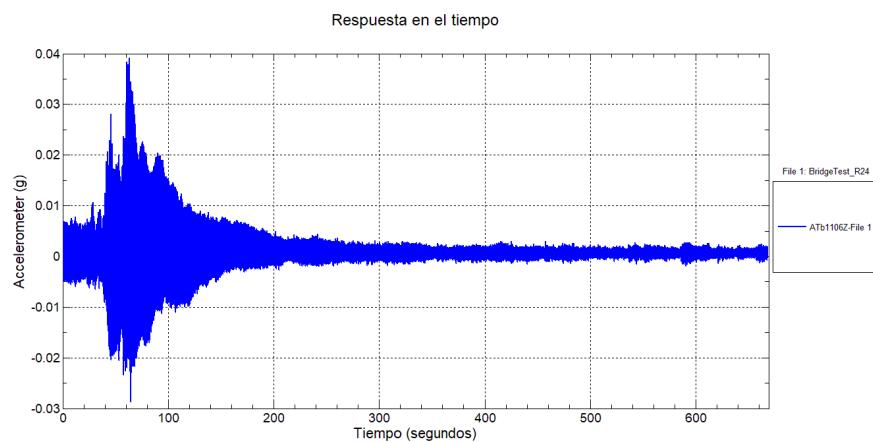
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



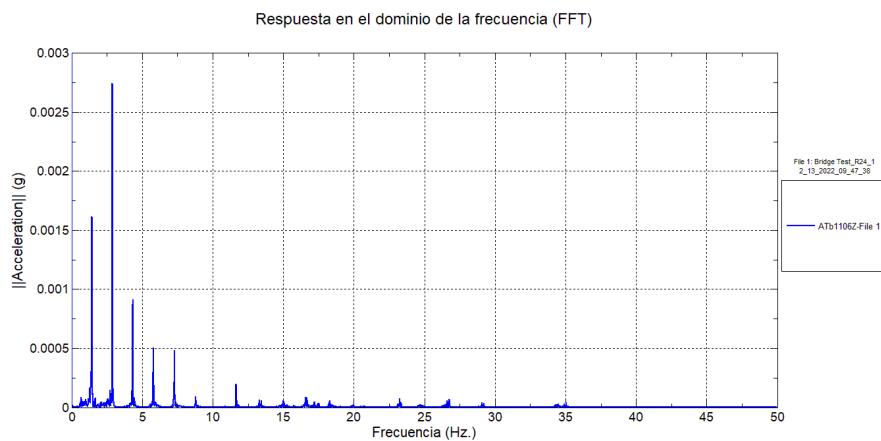
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



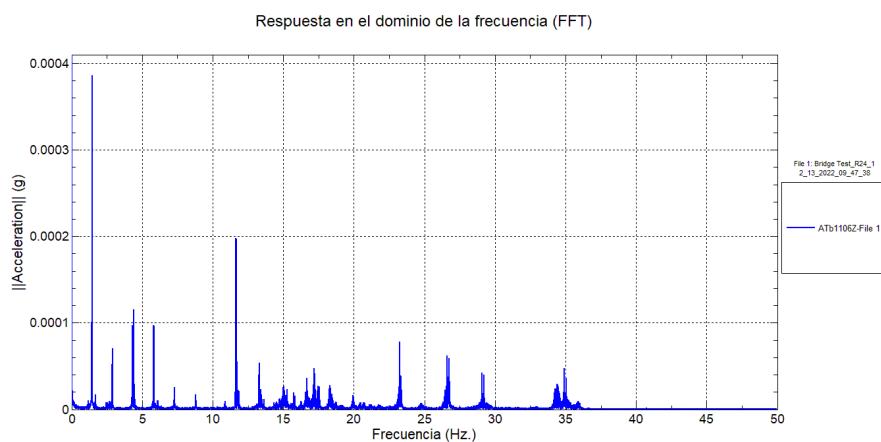
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

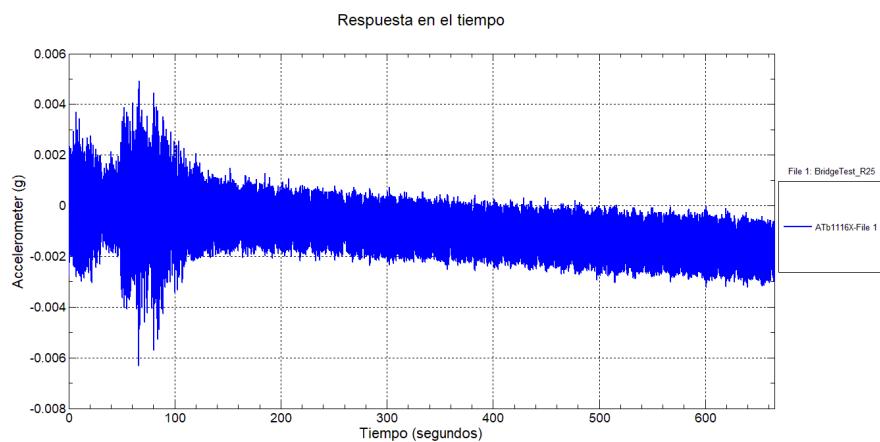


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

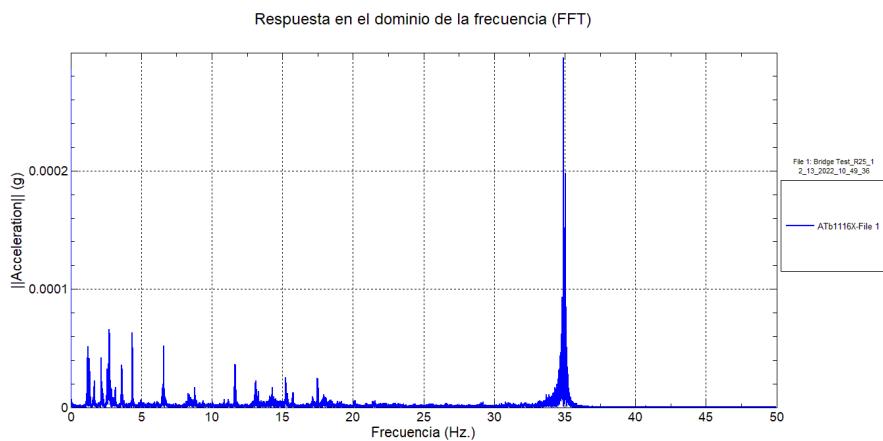


Apéndice 9. Resultados cable C4R E1

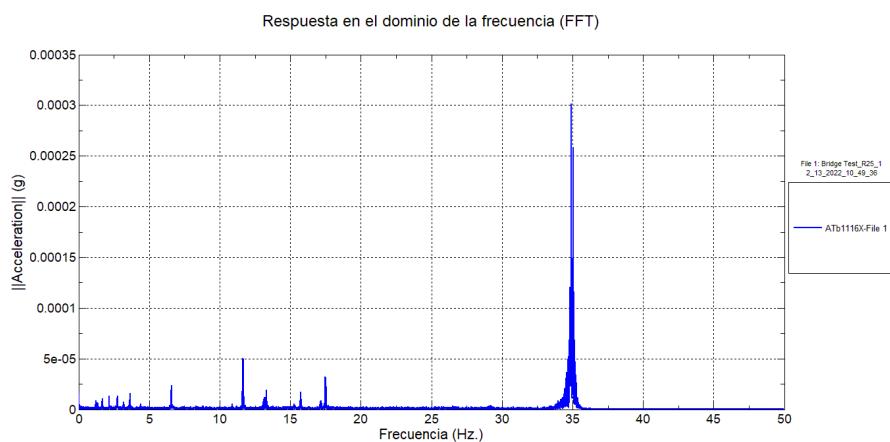
Registro de aceleraciones en la dirección X



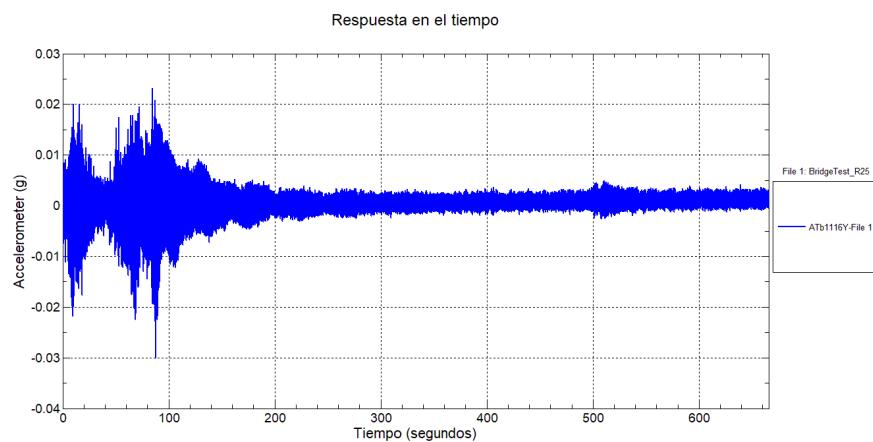
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



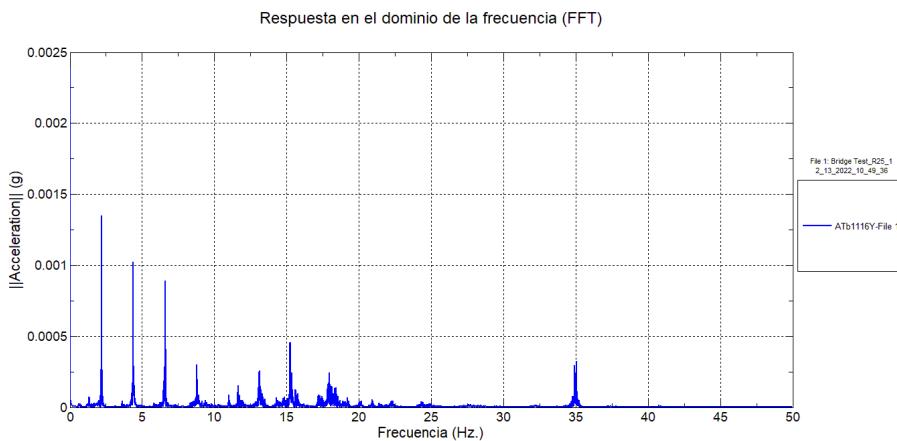
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



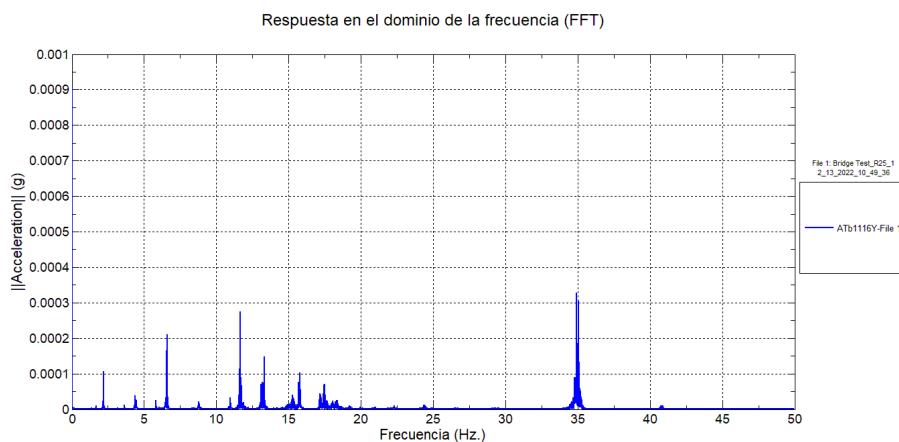
Registro de aceleraciones en la dirección Y



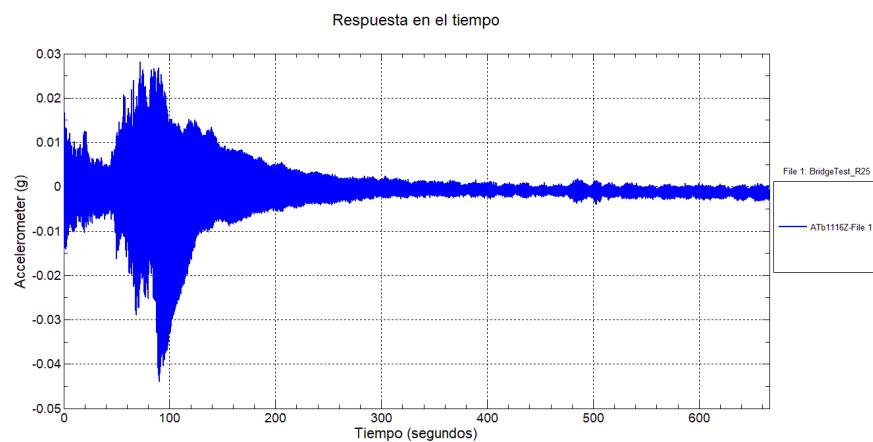
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



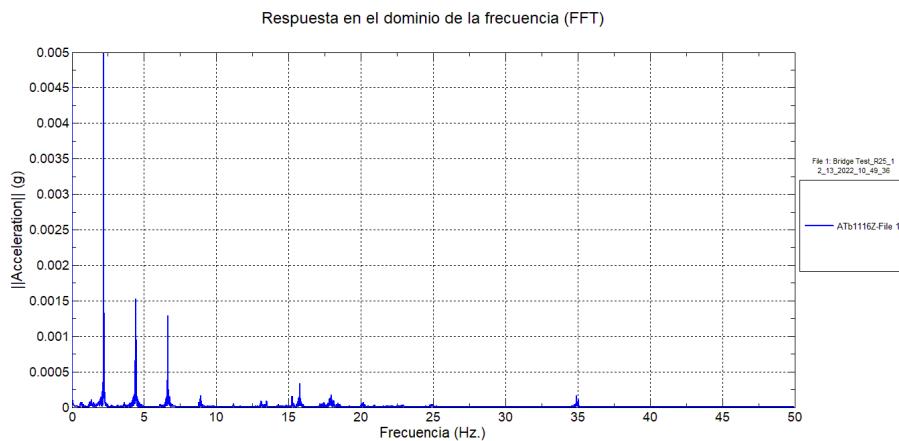
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



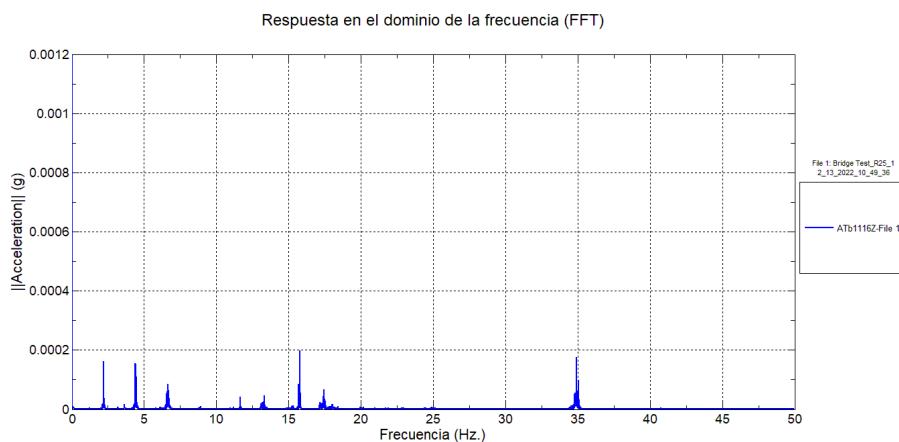
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

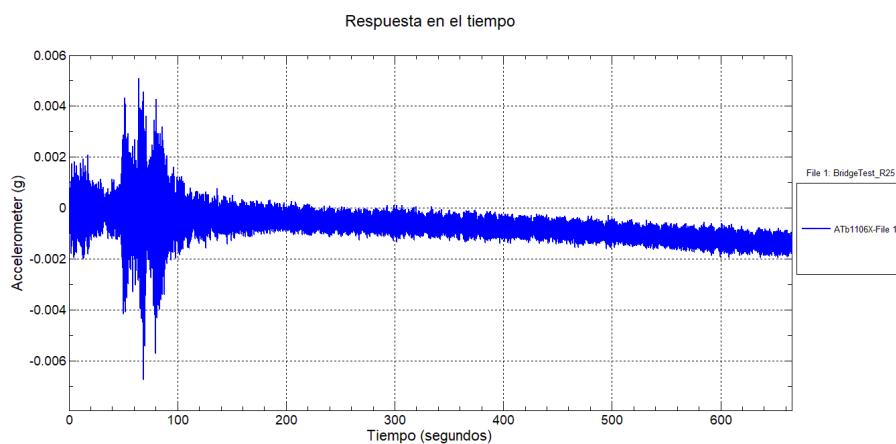


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

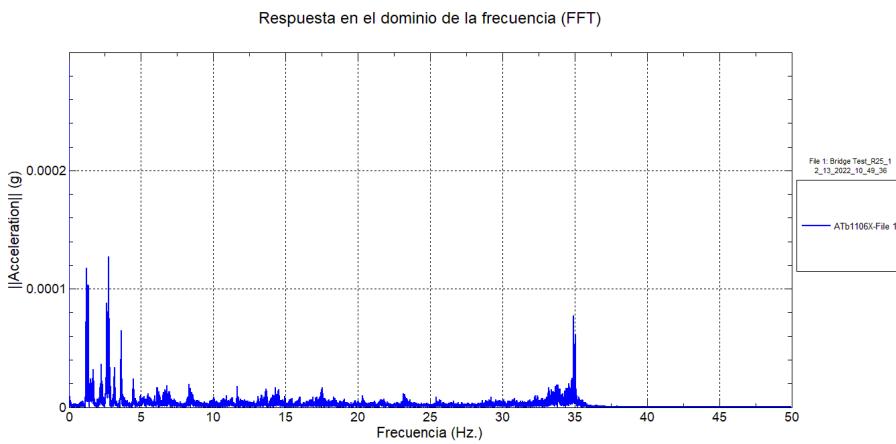


Apéndice 10. Resultados cable C4R E2

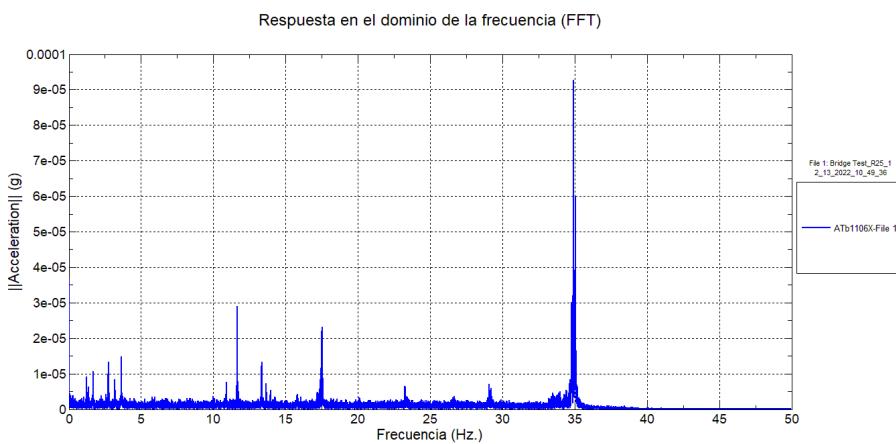
Registro de aceleraciones en la dirección X



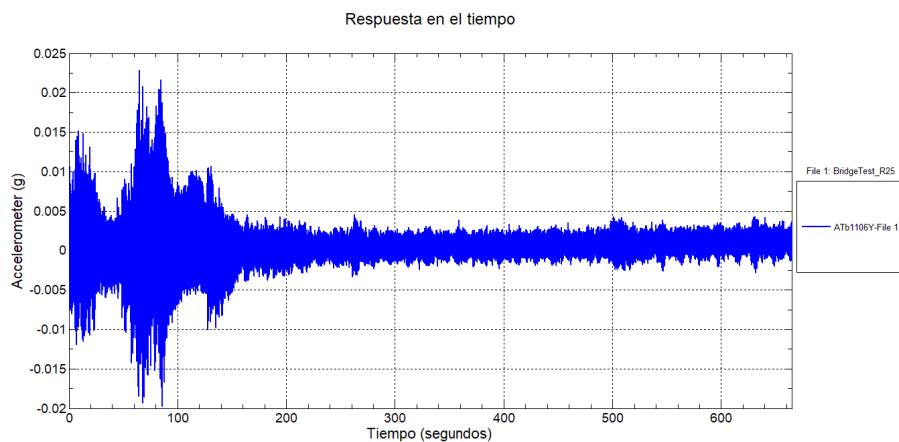
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



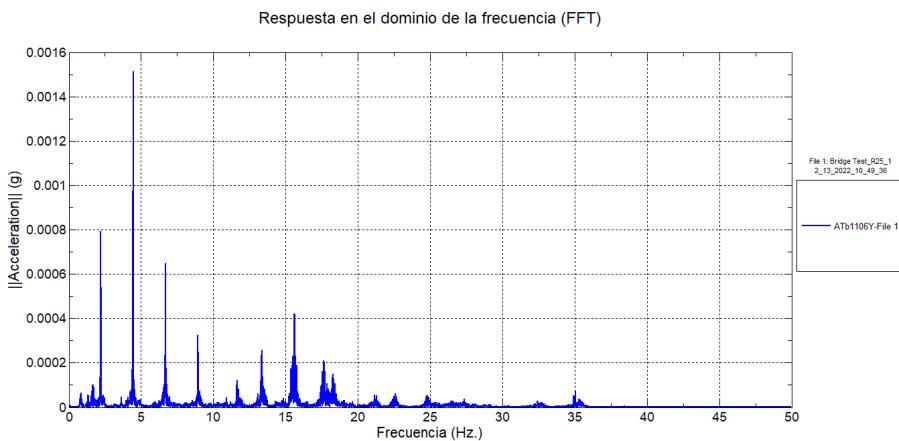
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



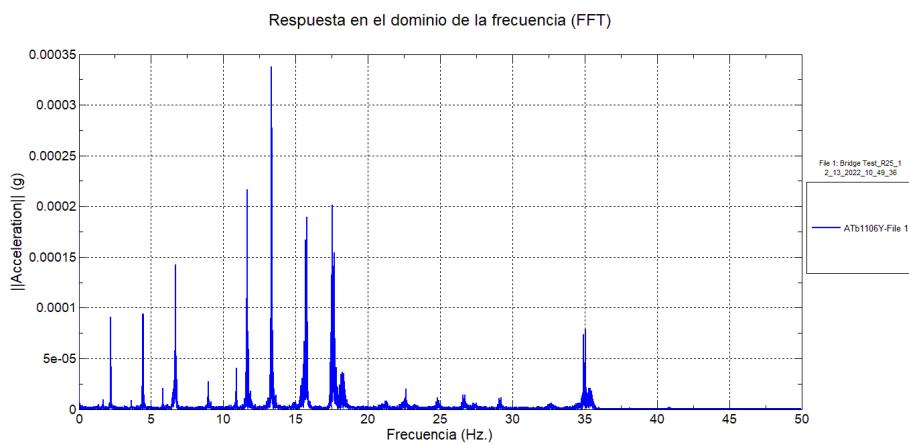
Registro de aceleraciones en la dirección Y



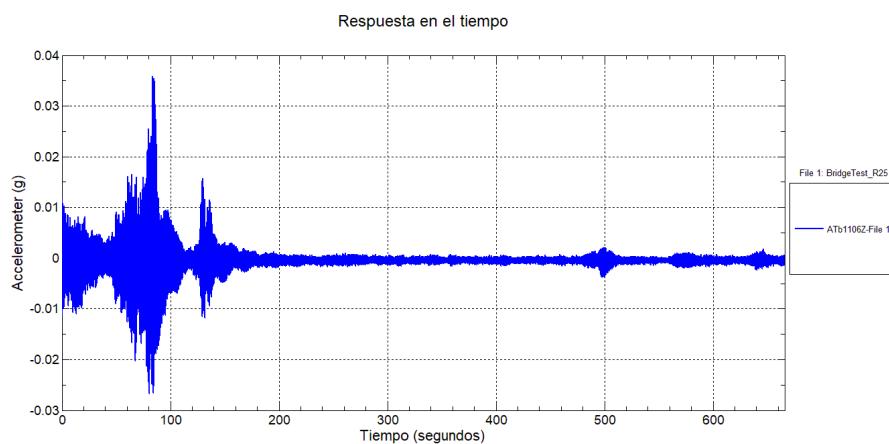
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



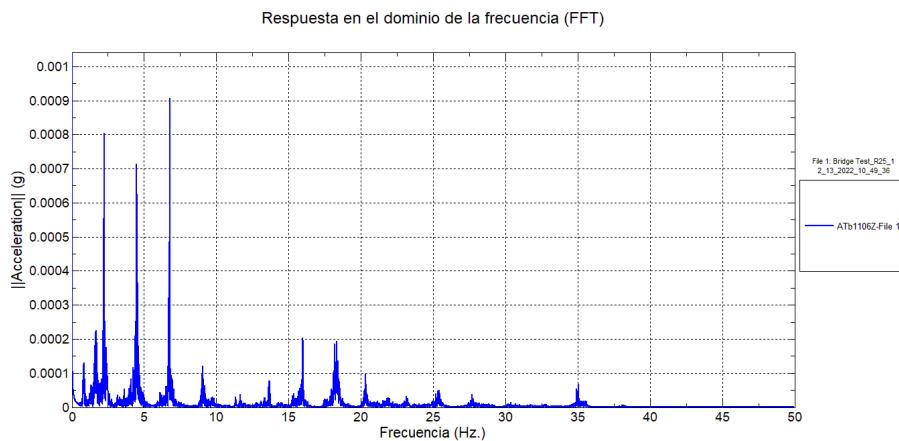
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



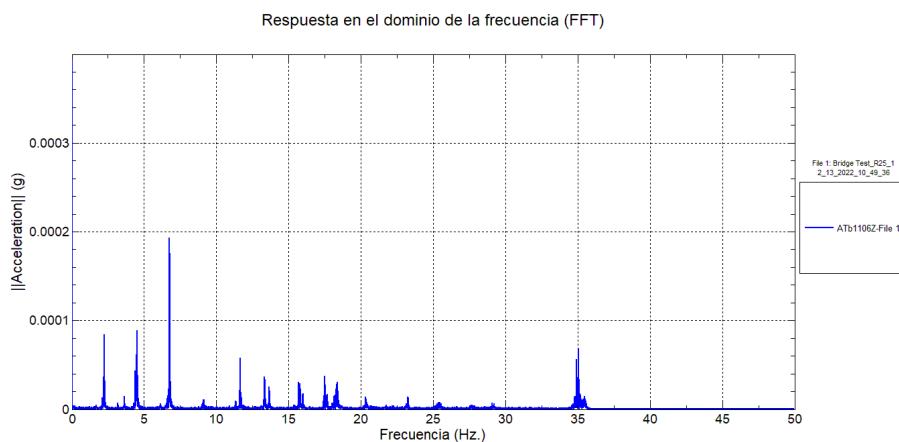
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

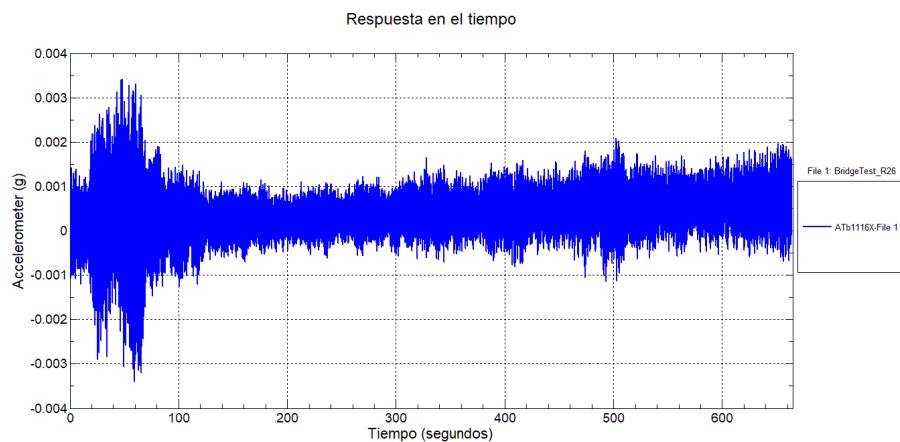


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

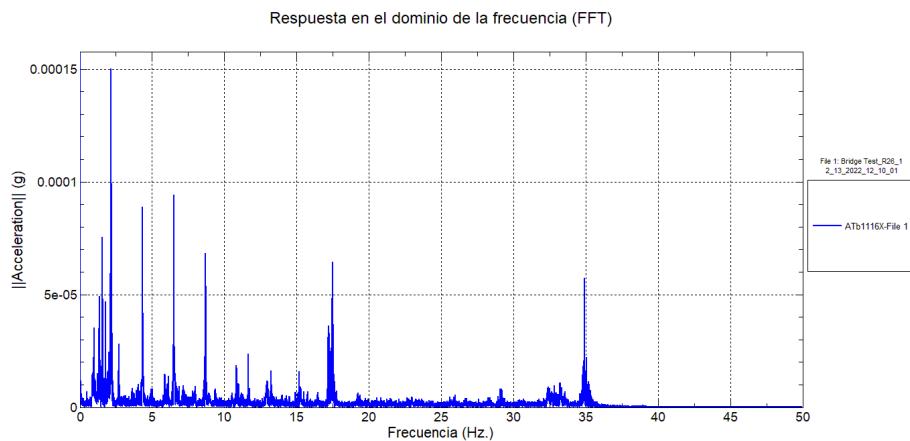


Apéndice 11. Resultados cable C4L E1

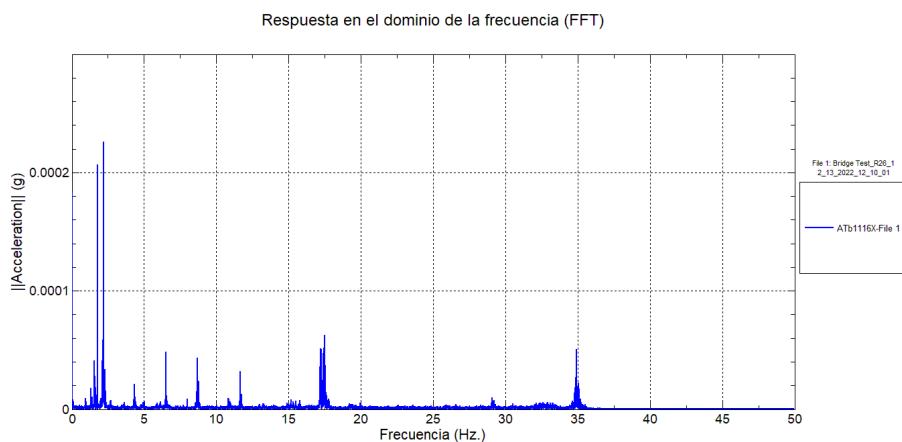
Registro de aceleraciones en la dirección X



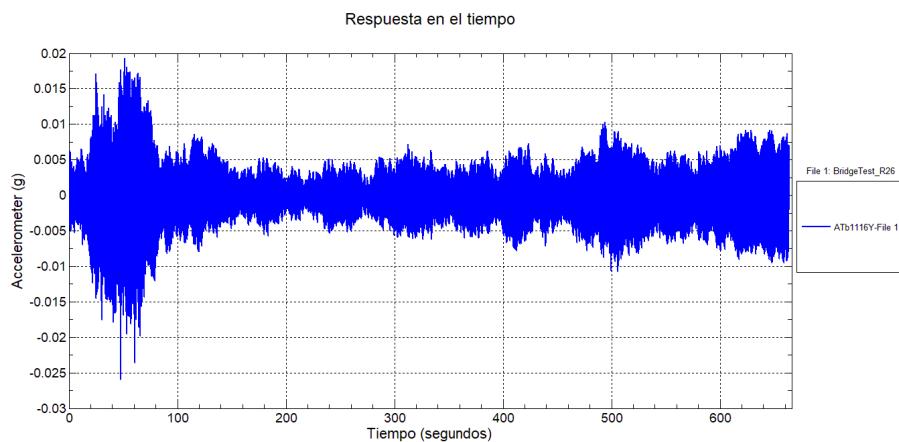
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



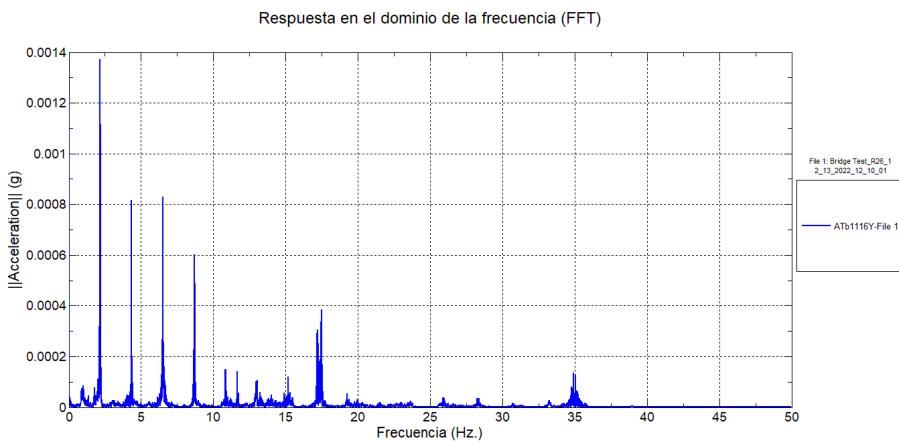
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



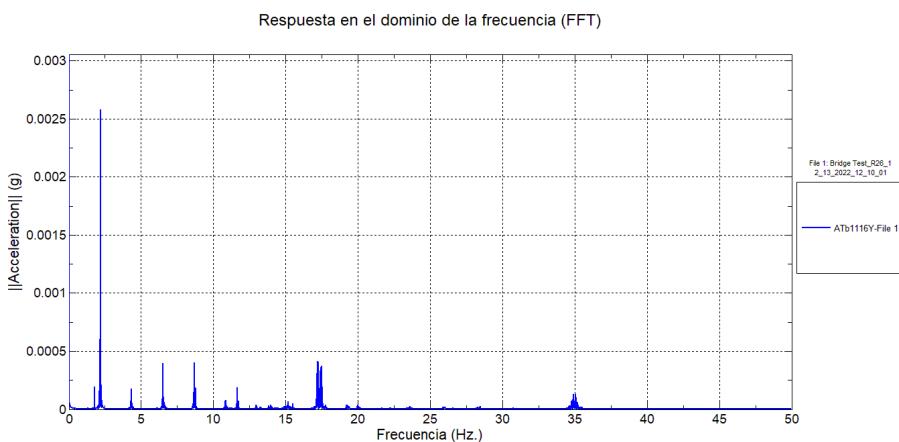
Registro de aceleraciones en la dirección Y



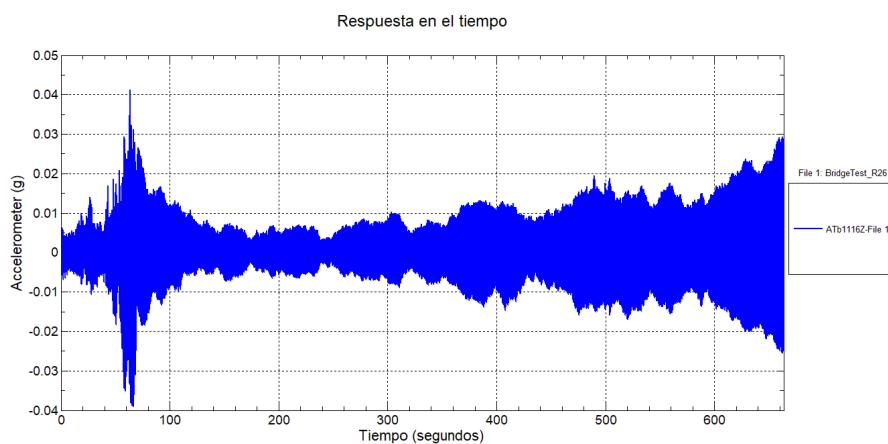
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



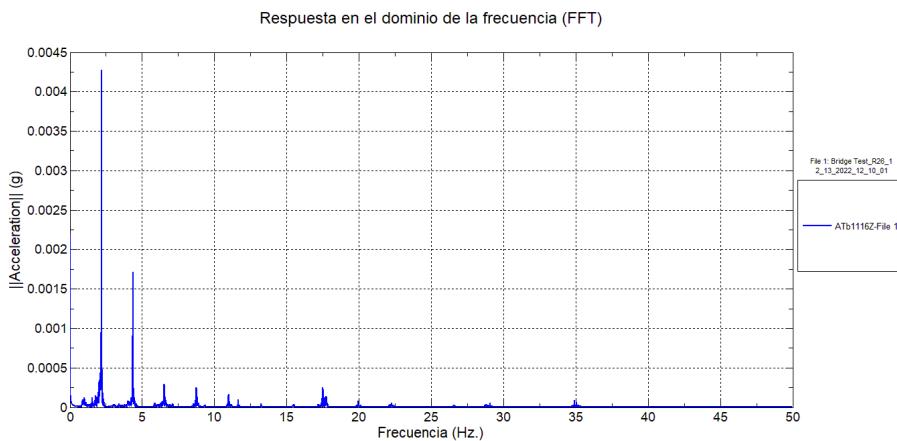
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



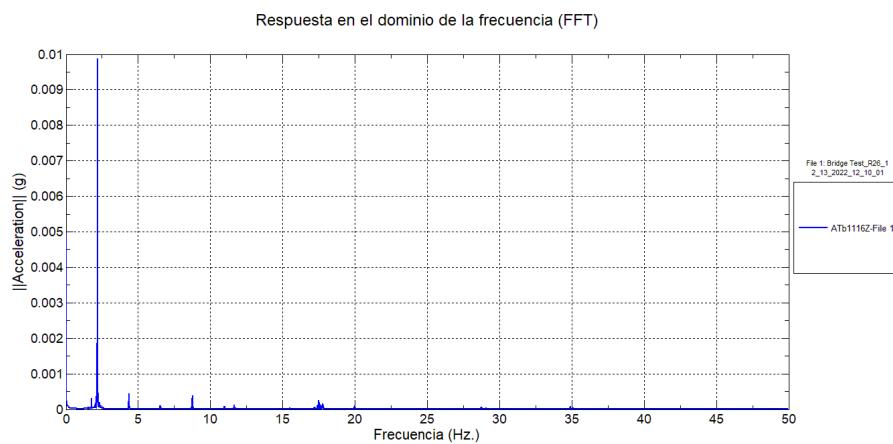
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

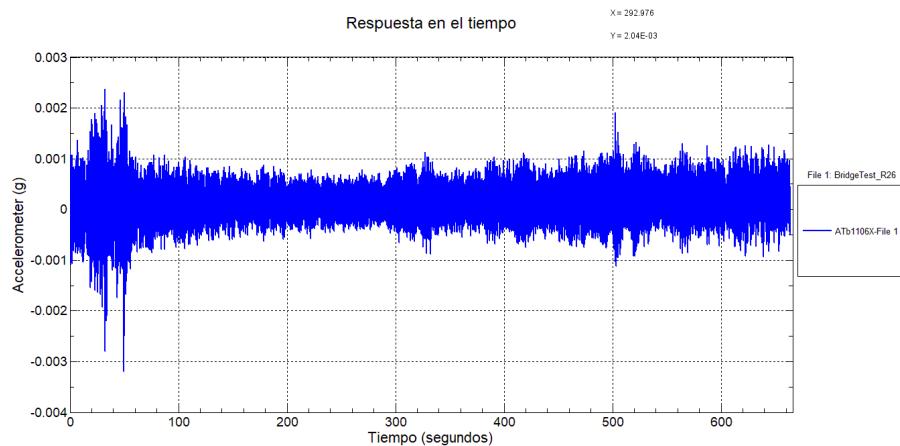


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

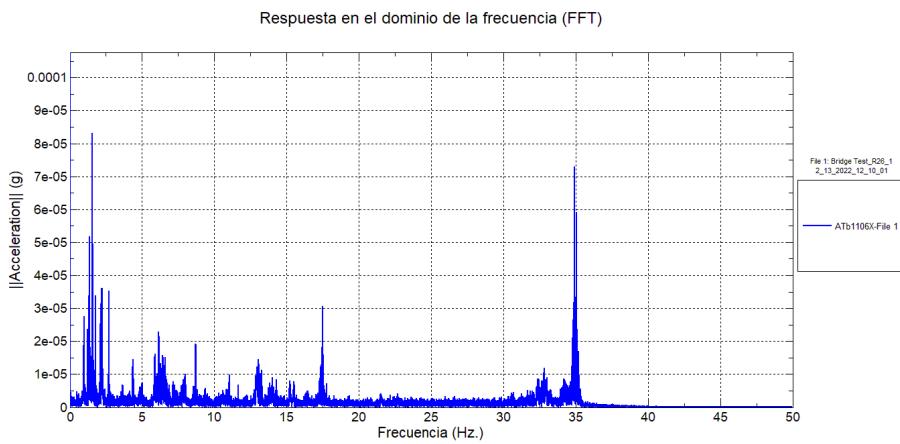


Apéndice 12. Resultados cable C4L E2

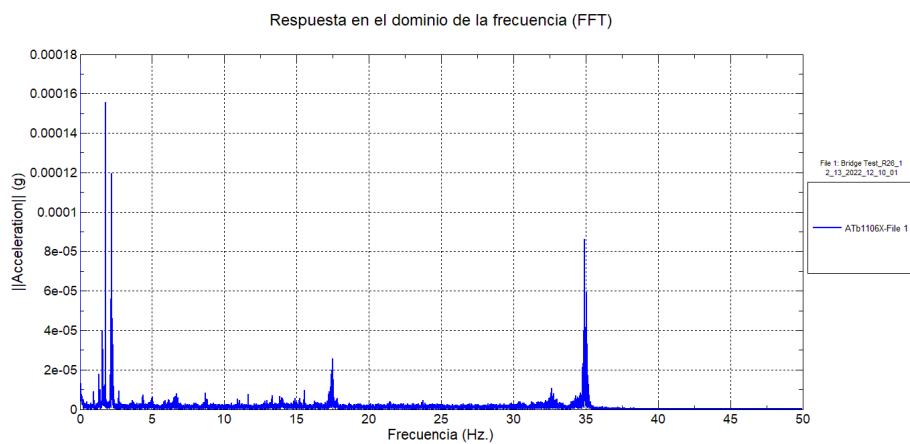
Registro de aceleraciones en la dirección X



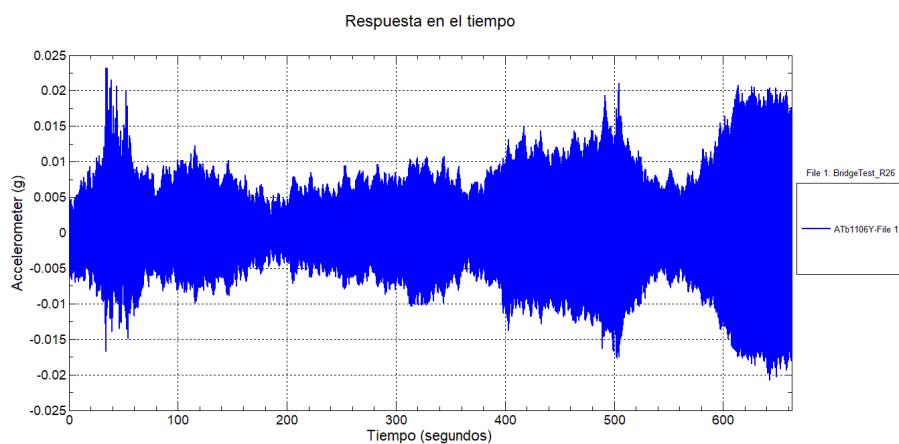
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



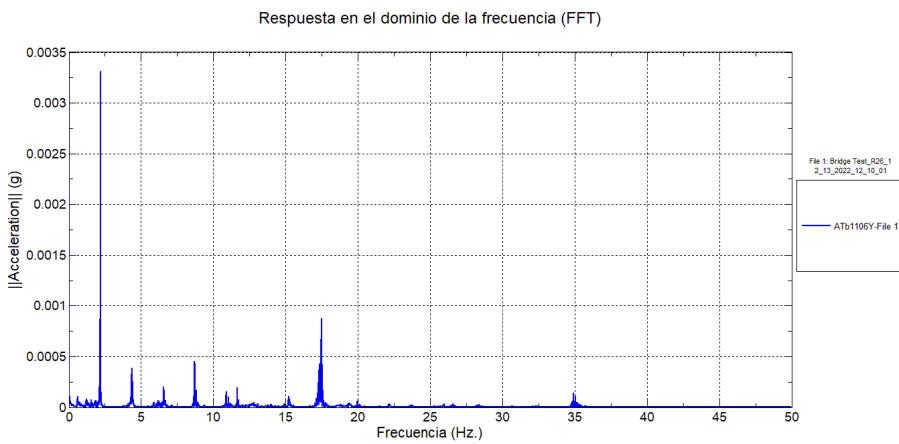
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



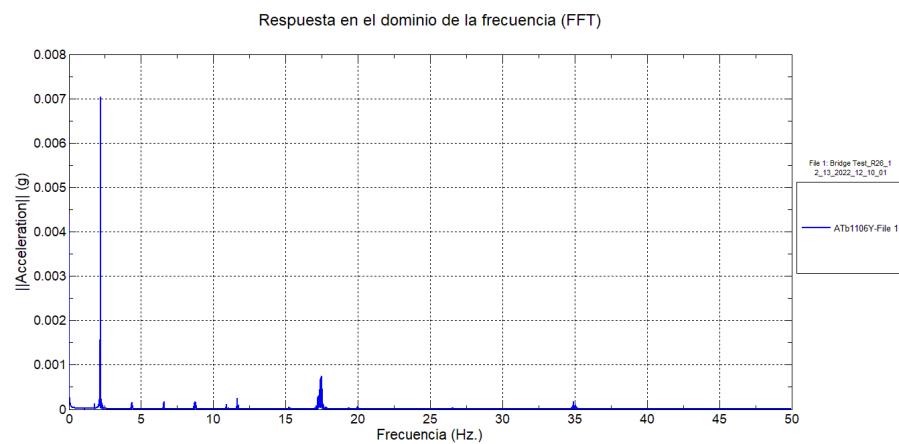
Registro de aceleraciones en la dirección Y



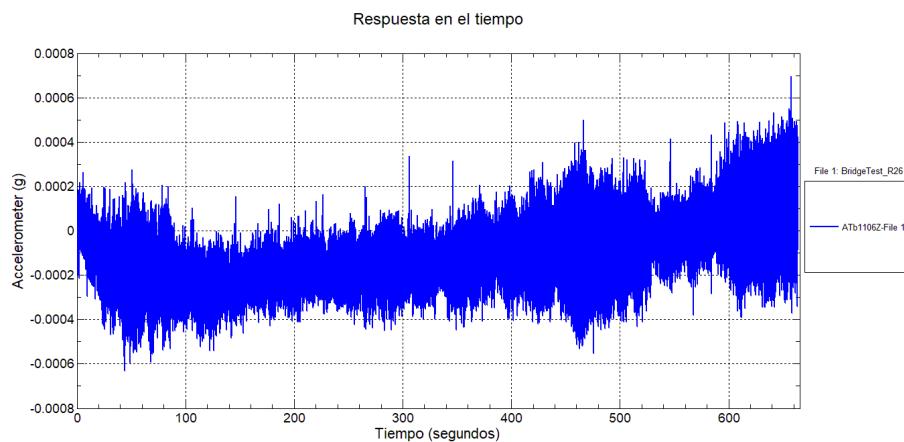
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



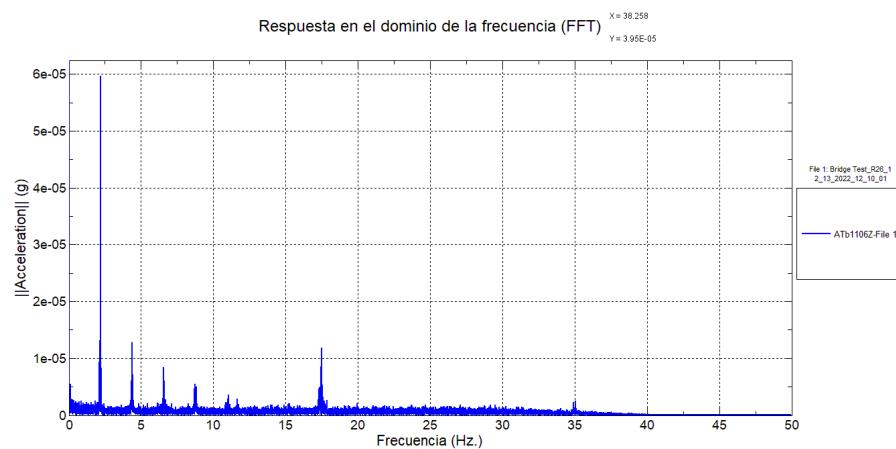
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



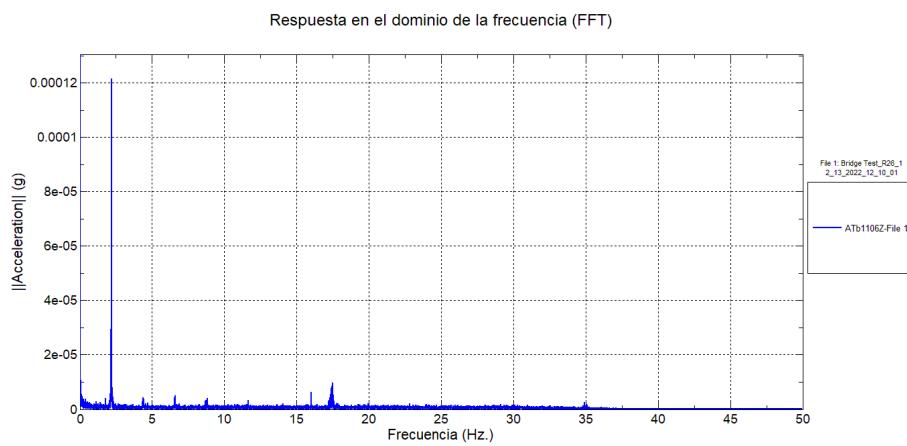
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

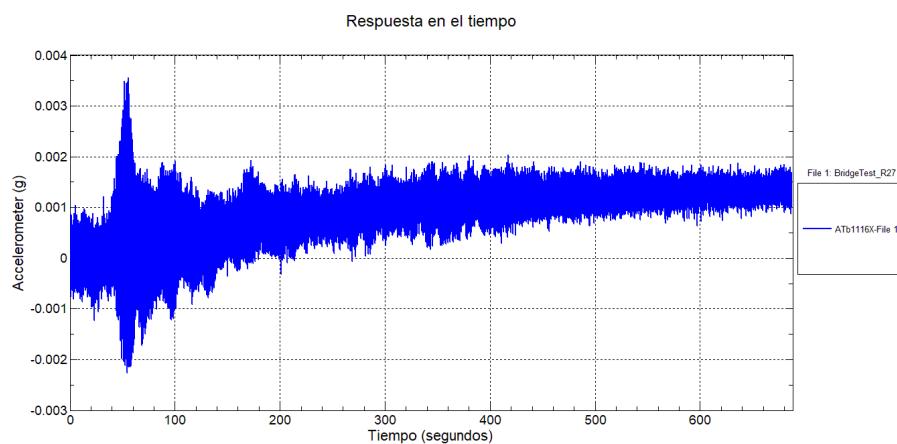


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

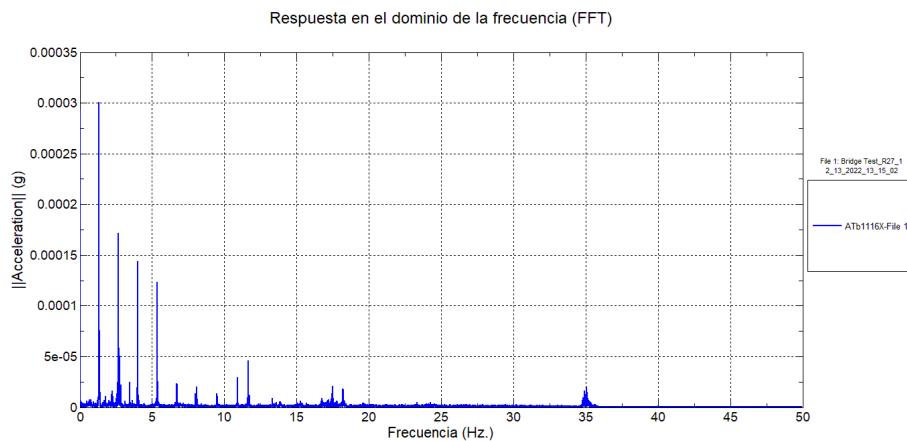


Apéndice 13. Resultados cable C3L E1

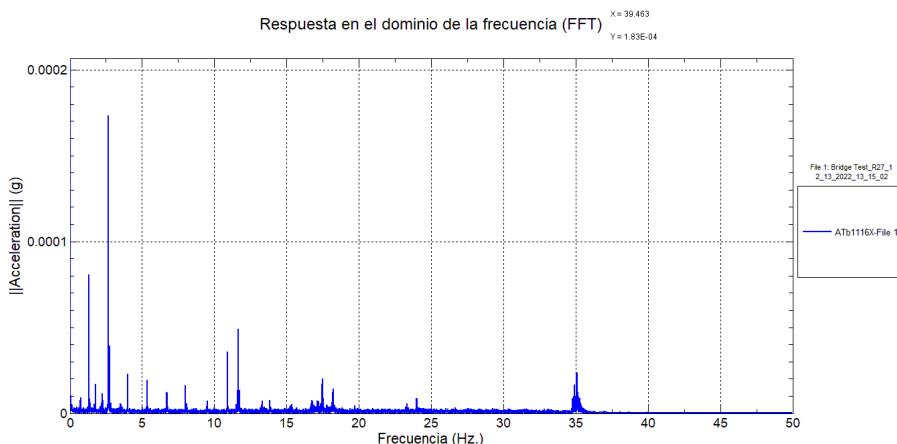
Registro de aceleraciones en la dirección X



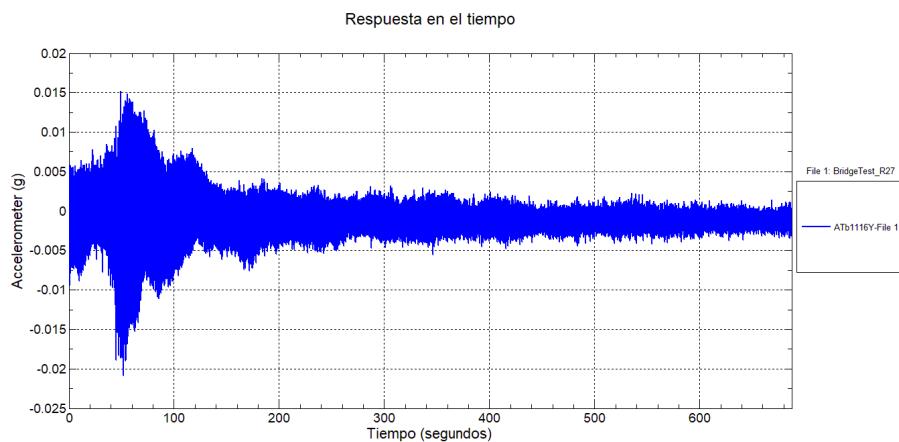
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



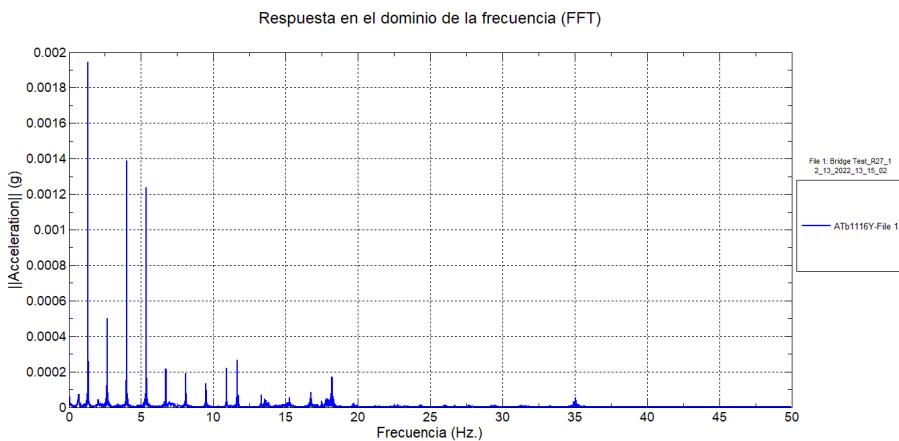
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



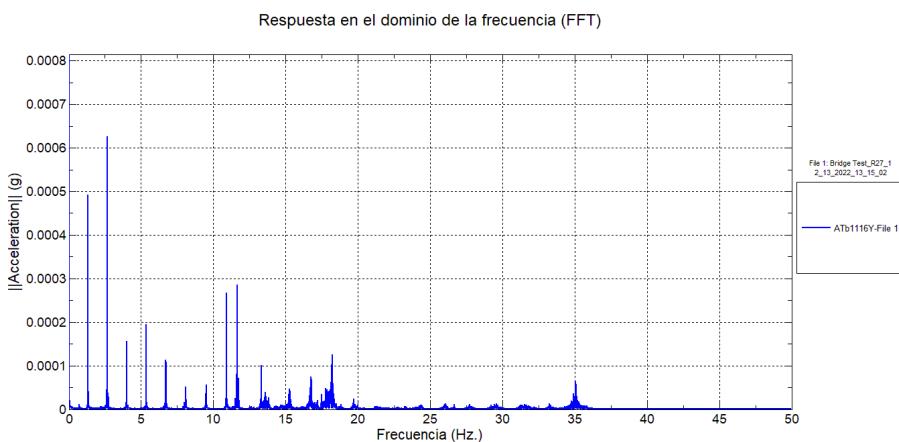
Registro de aceleraciones en la dirección Y



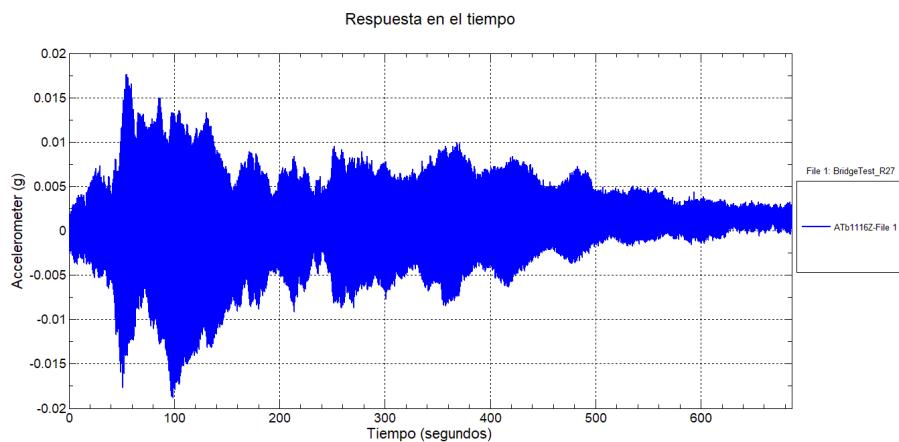
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



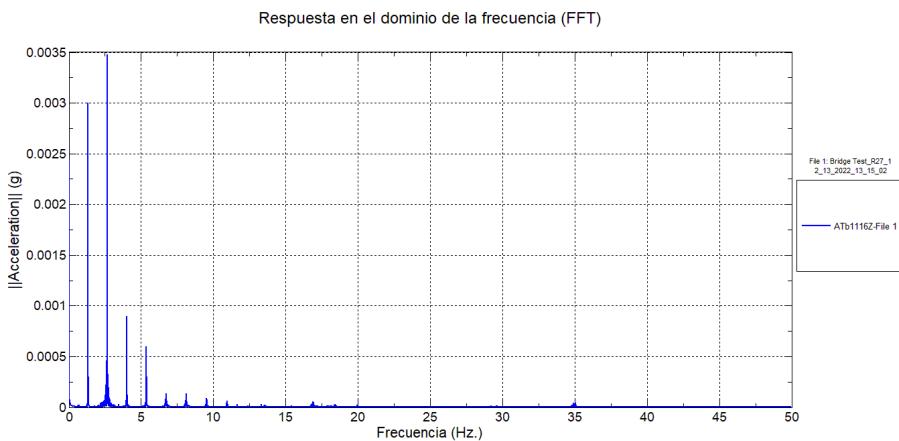
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



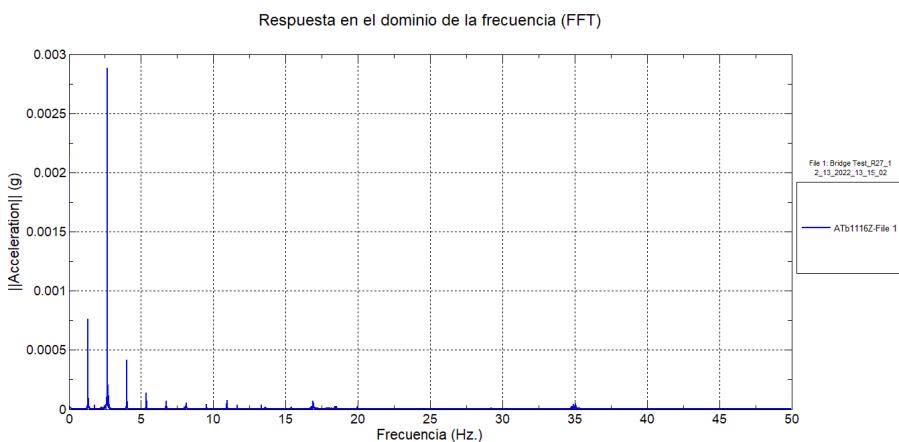
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

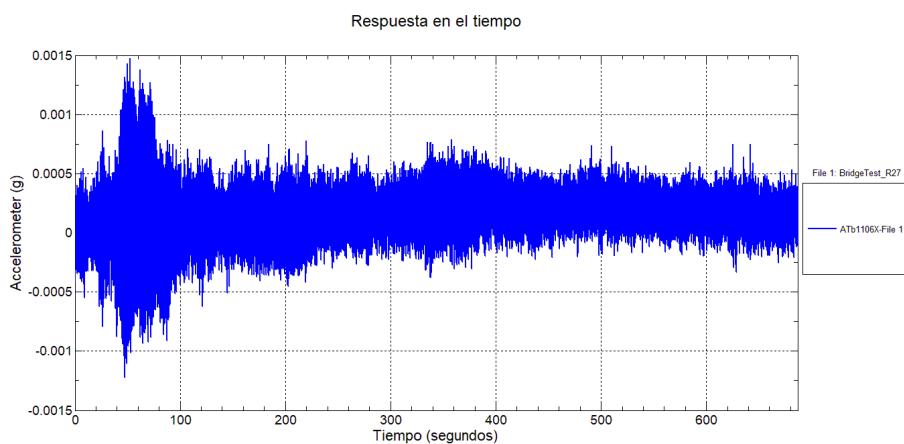


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

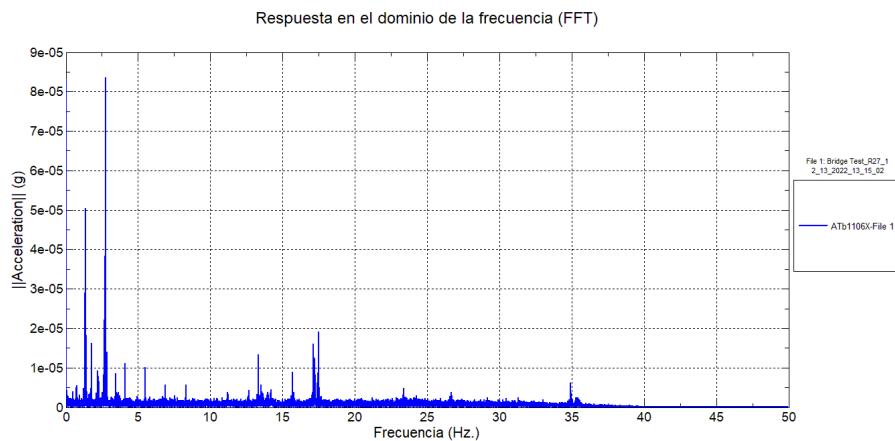


Apéndice 14. Resultados cable C3L E2

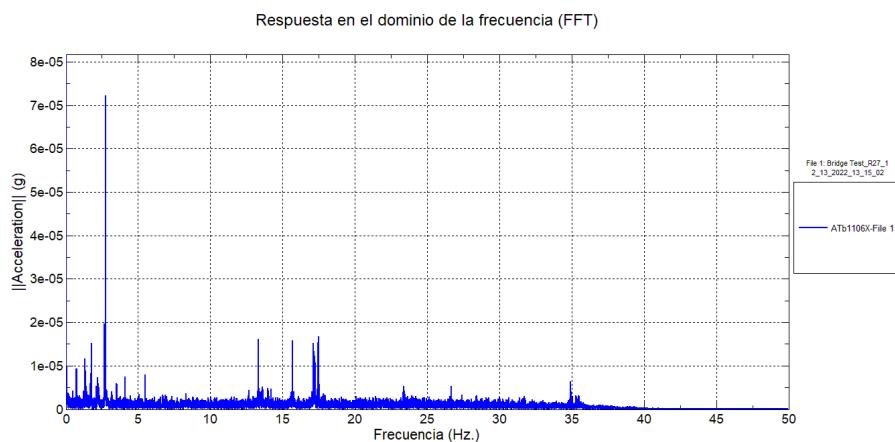
Registro de aceleraciones en la dirección X



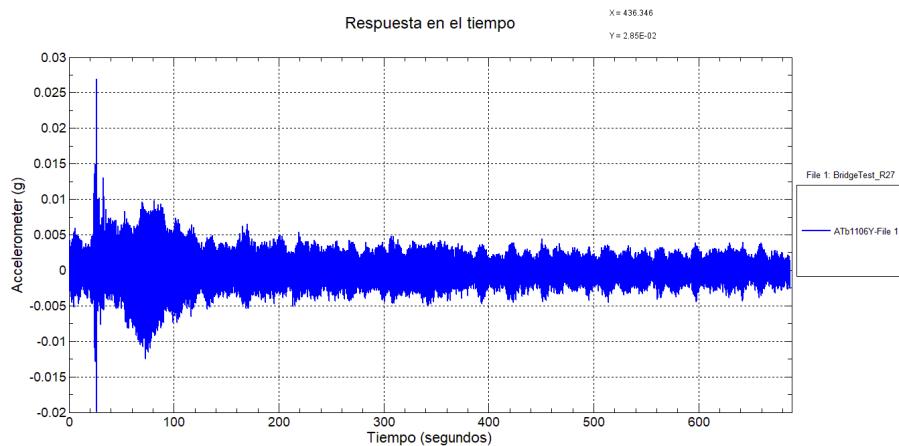
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



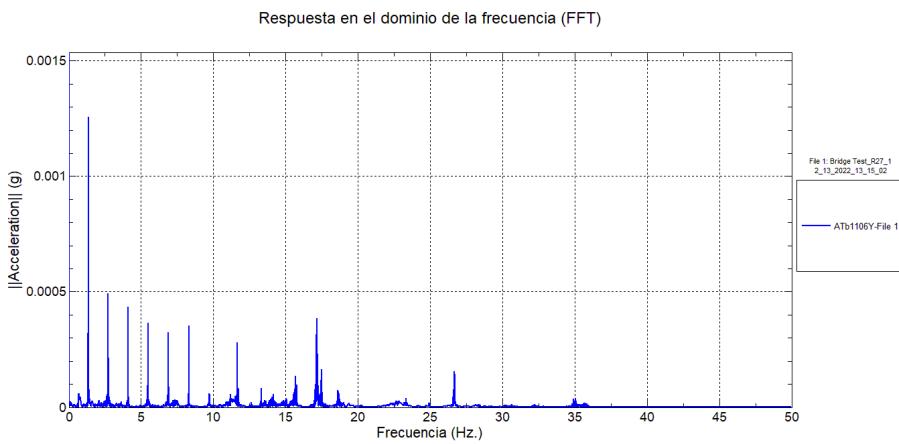
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



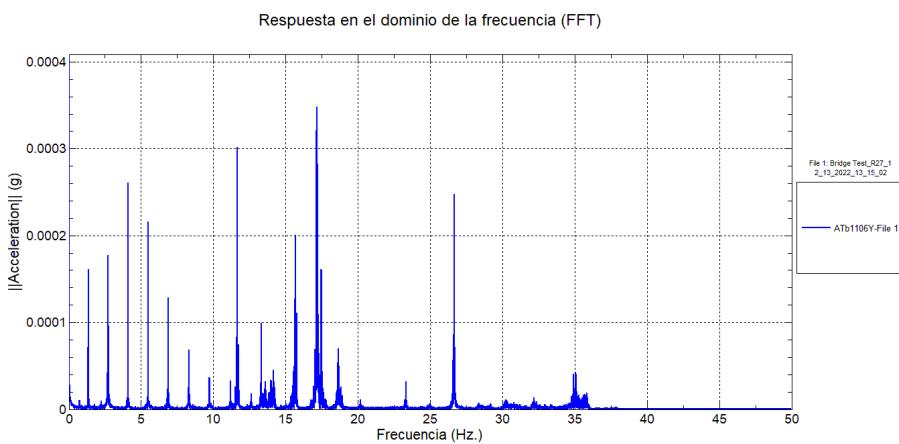
Registro de aceleraciones en la dirección Y



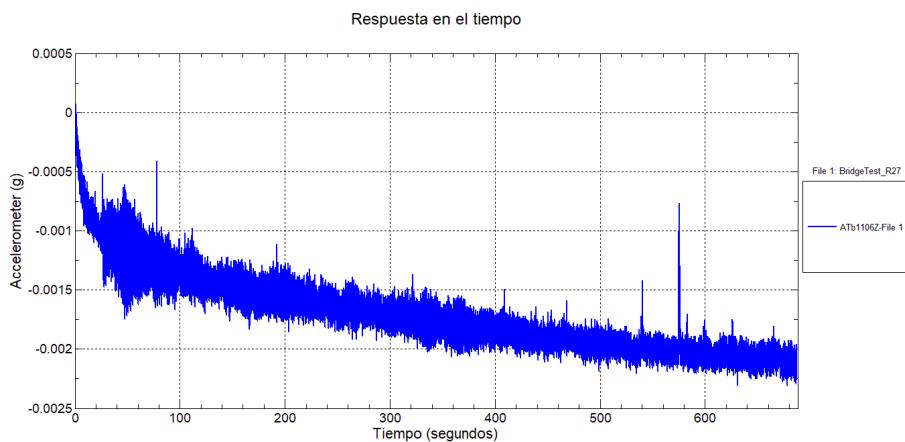
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



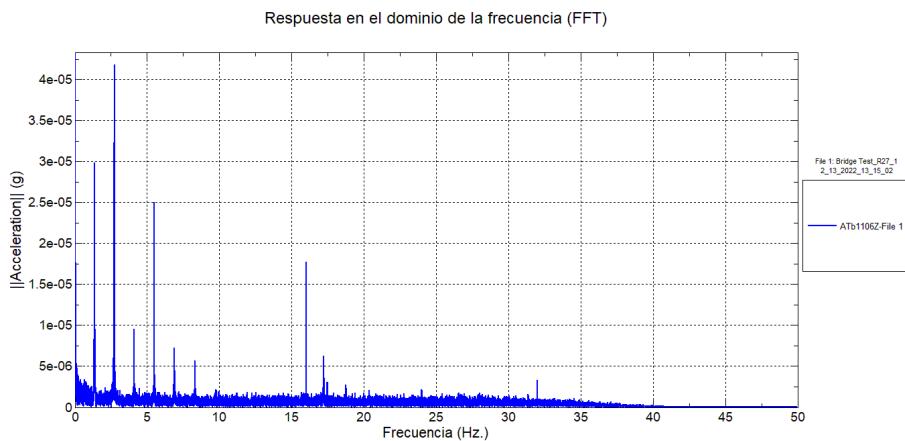
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



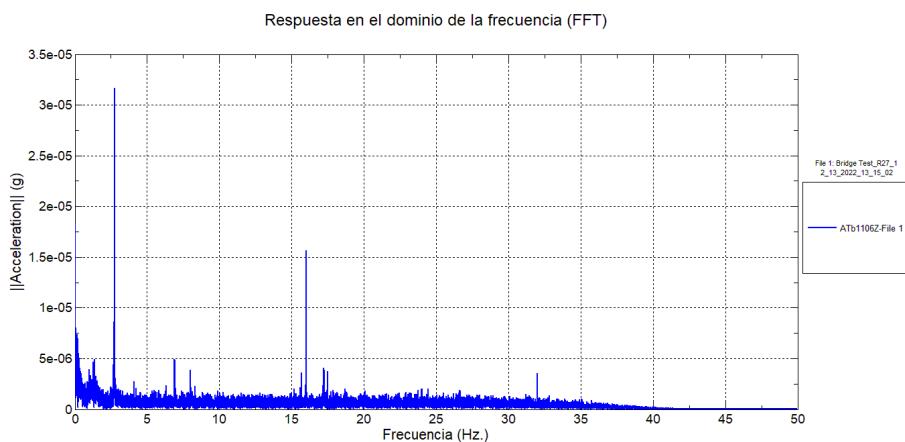
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

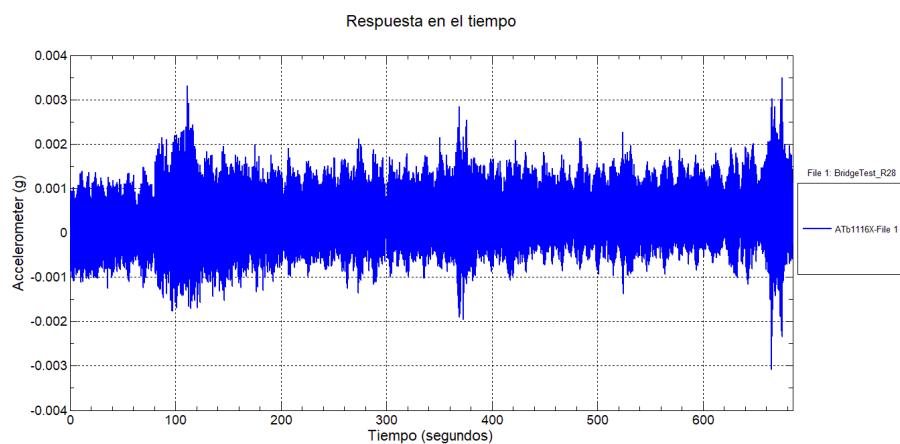


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

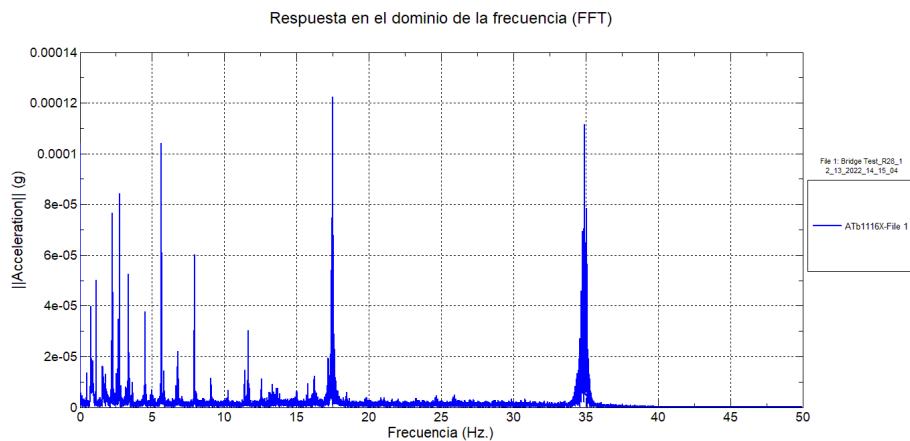


Apéndice 15. Resultados cable C2L E1

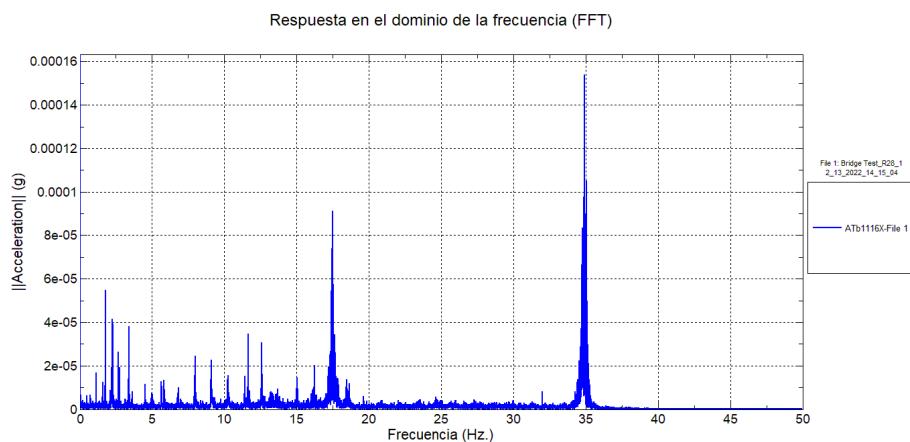
Registro de aceleraciones en la dirección X



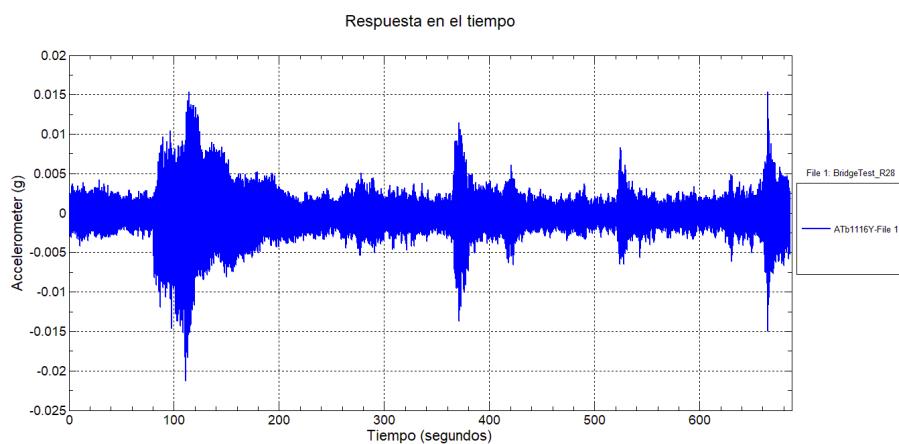
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



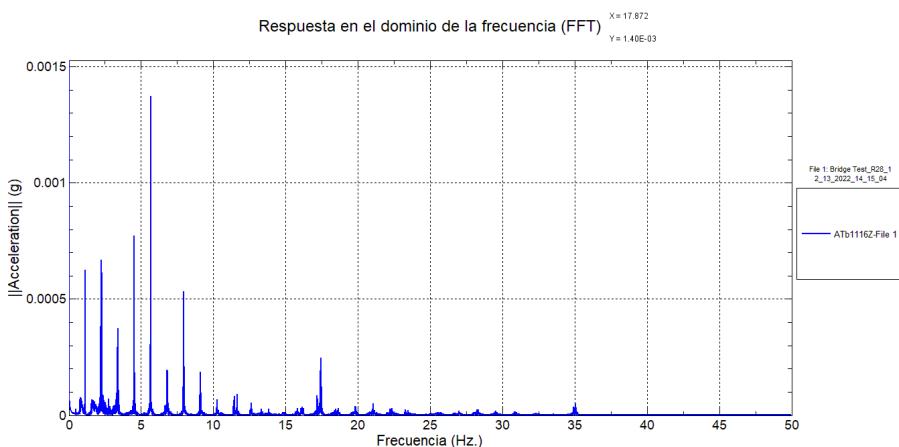
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



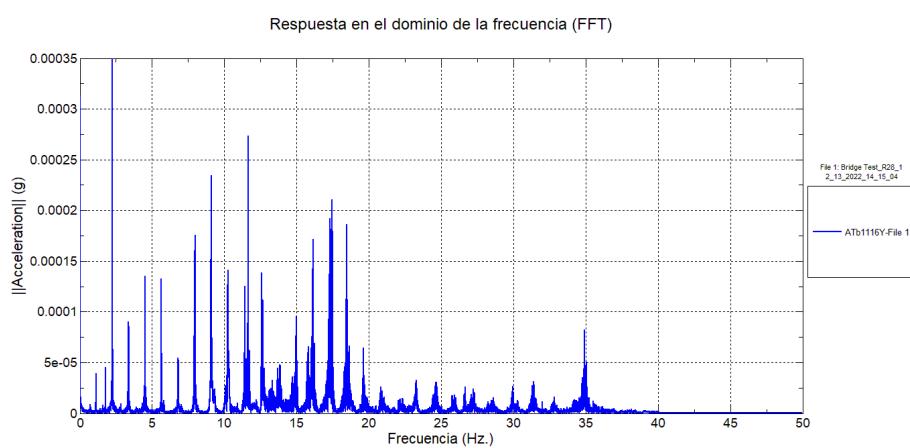
Registro de aceleraciones en la dirección Y



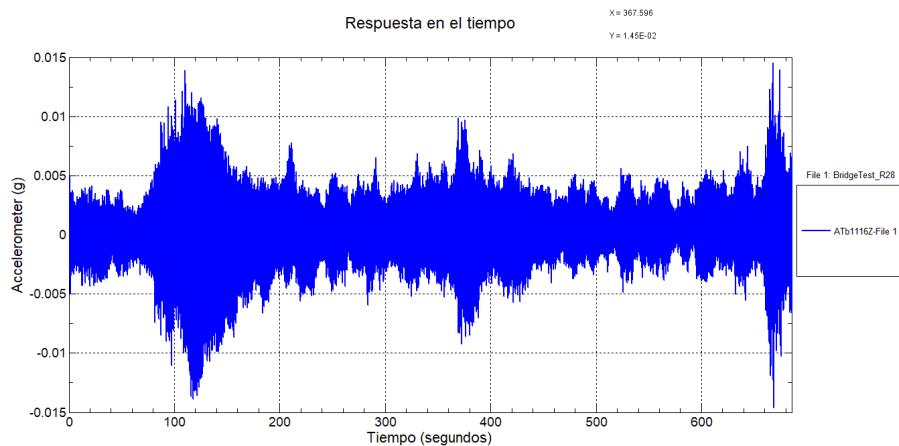
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



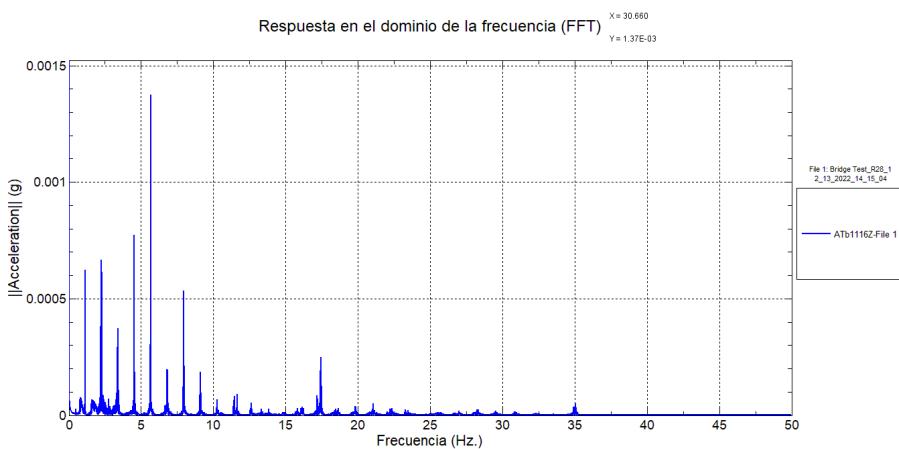
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



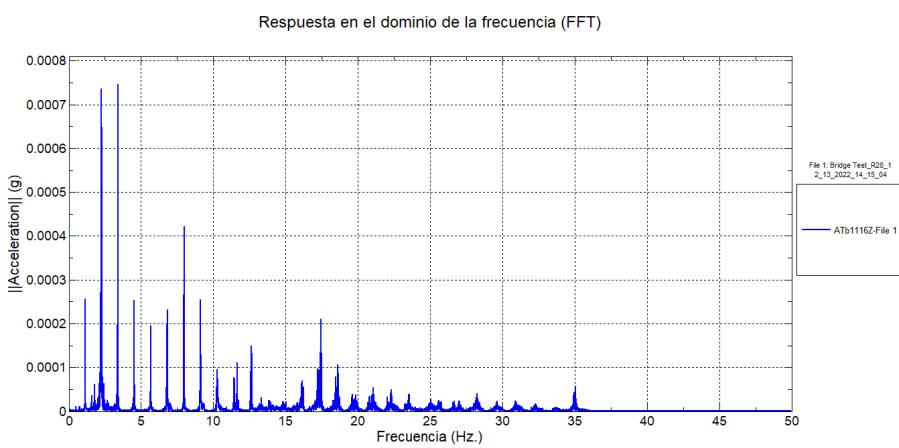
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

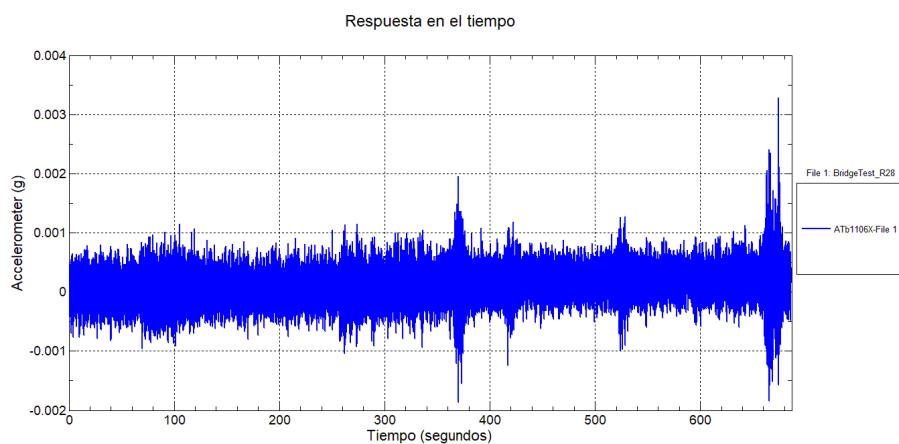


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

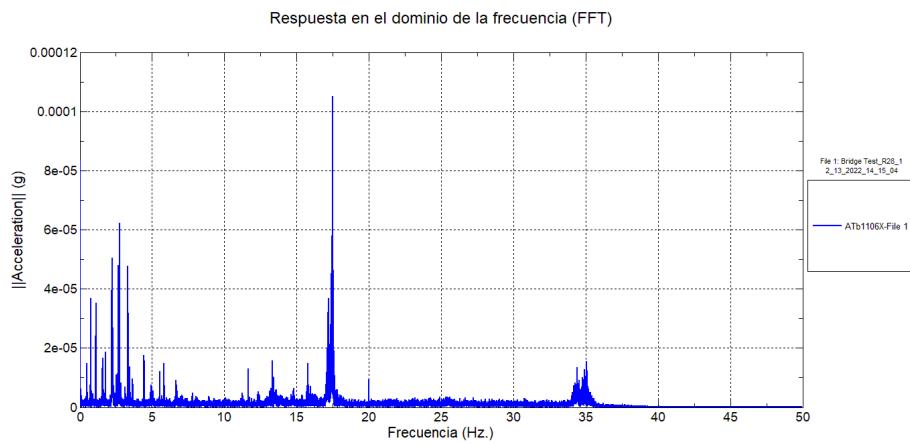


Apéndice 16. Resultados cable C2L E2

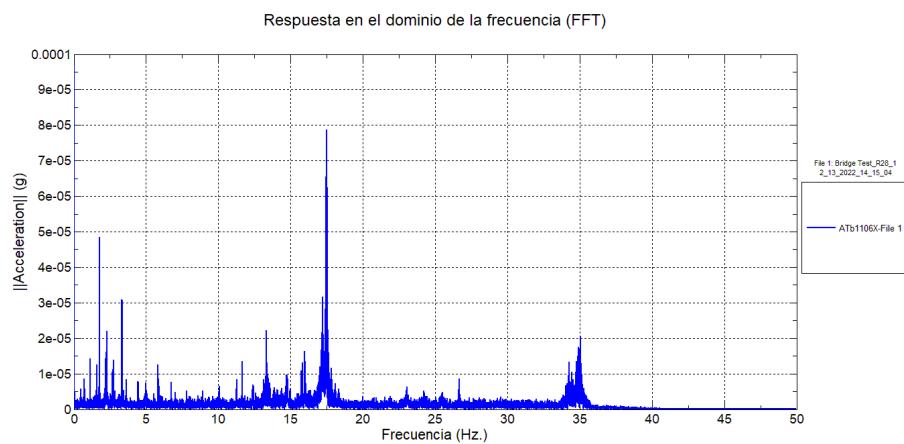
Registro de aceleraciones en la dirección X



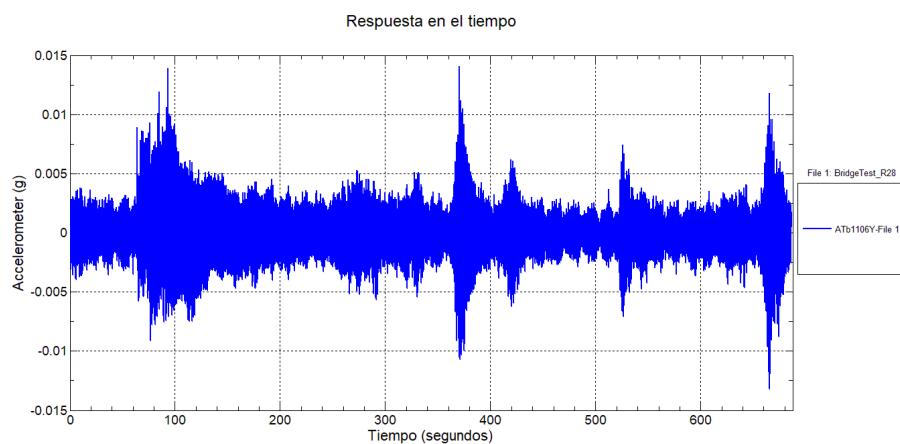
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



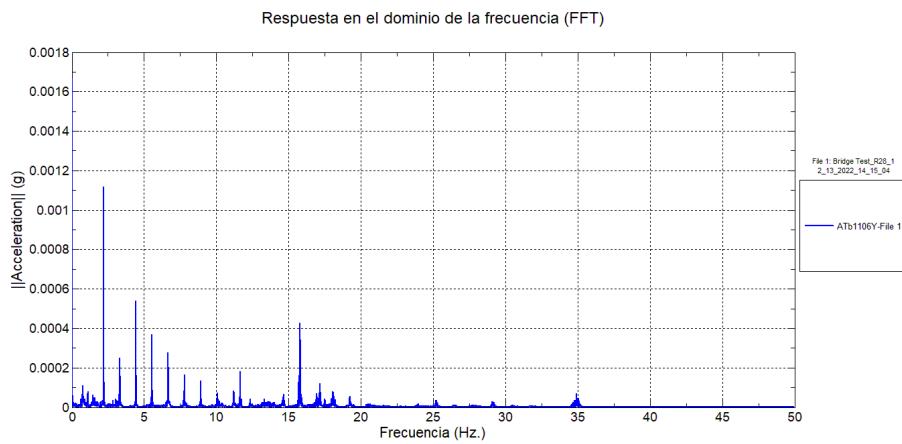
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



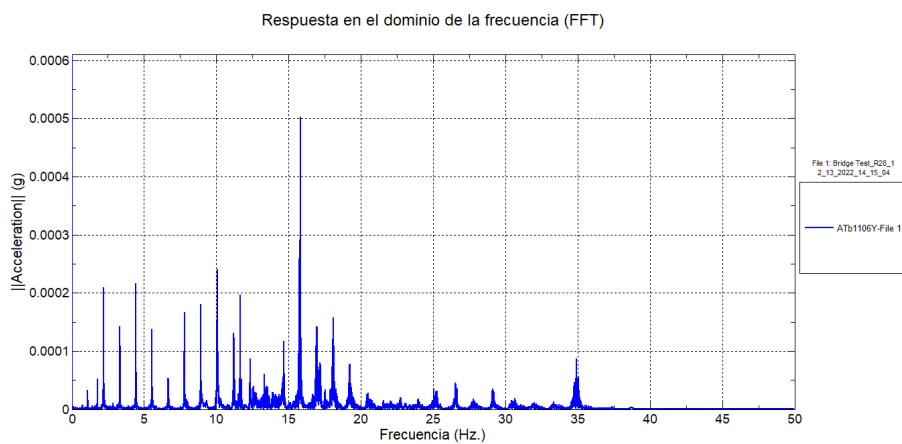
Registro de aceleraciones en la dirección Y



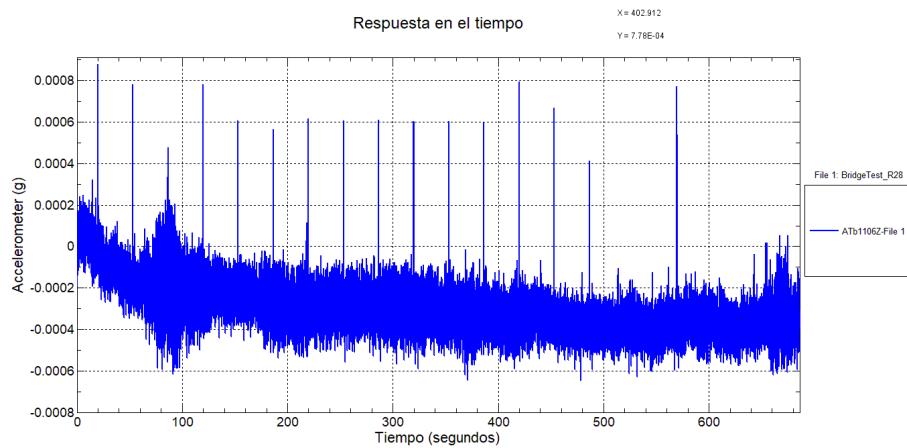
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



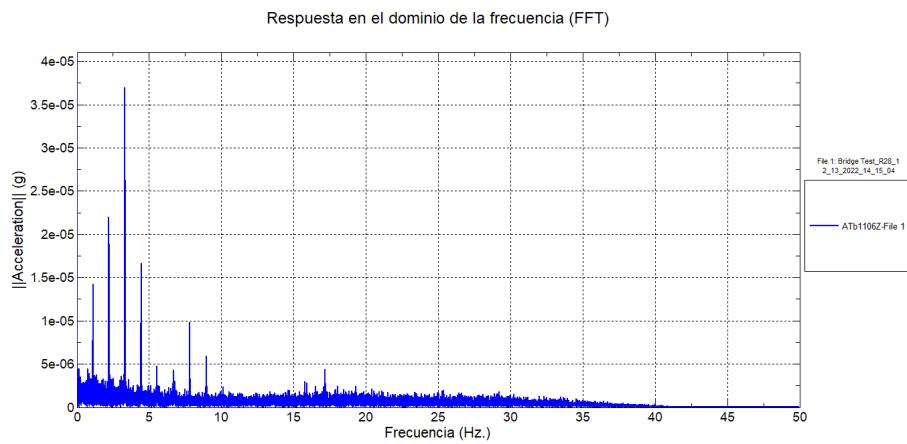
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



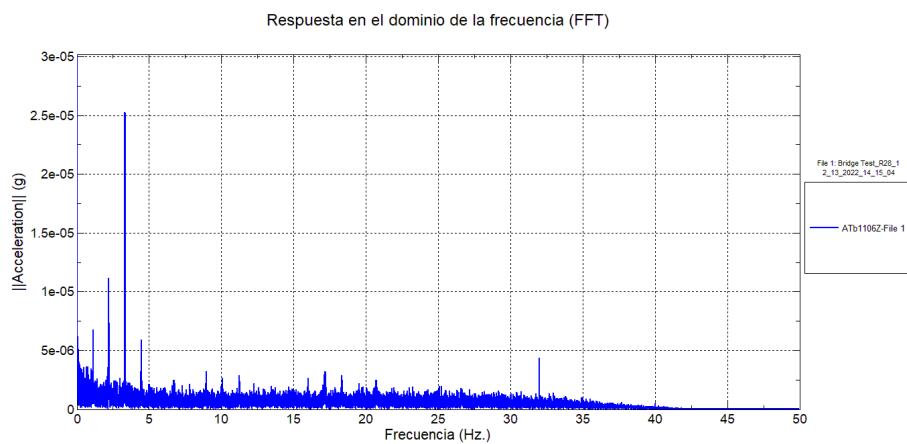
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

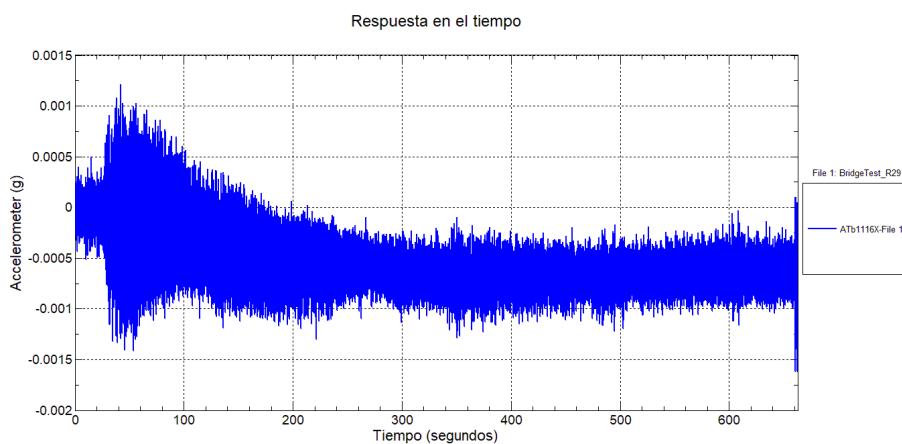


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

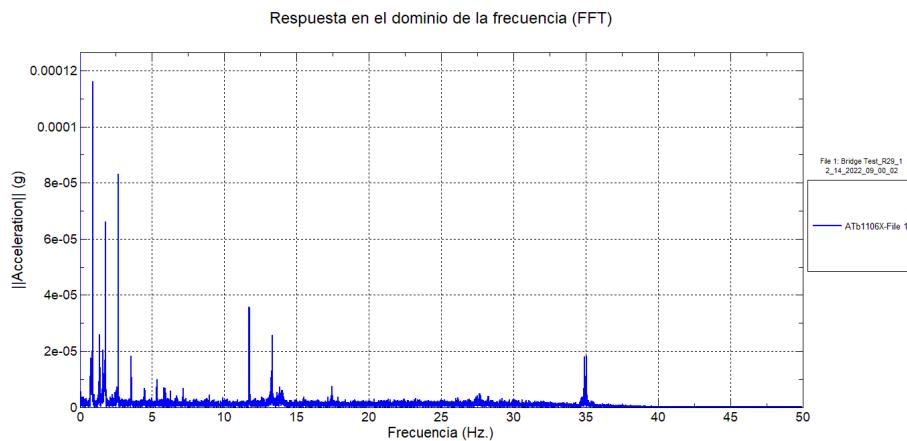


Apéndice 17. Resultados cable C1L E1

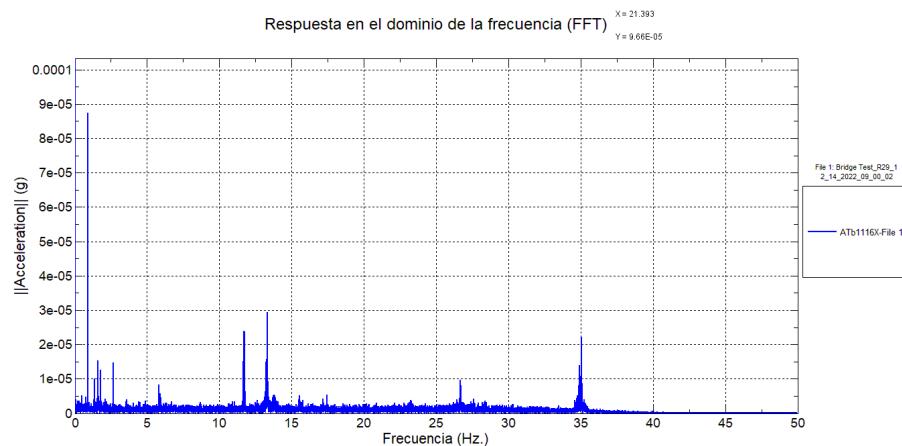
Registro de aceleraciones en la dirección X



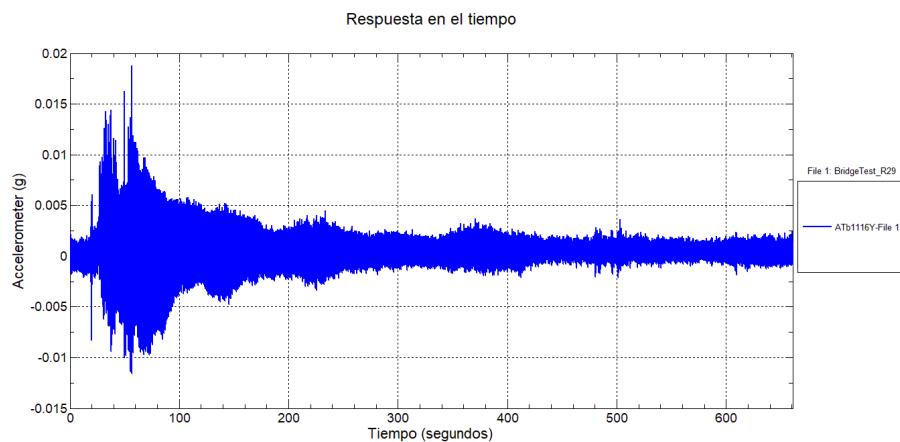
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



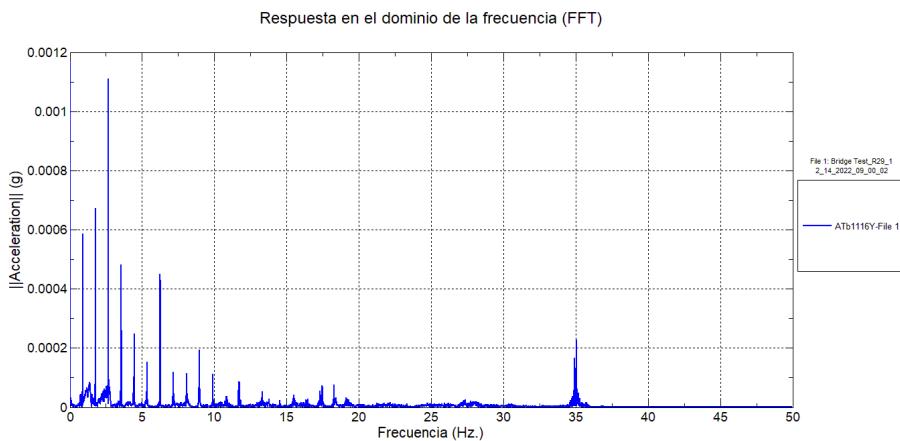
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



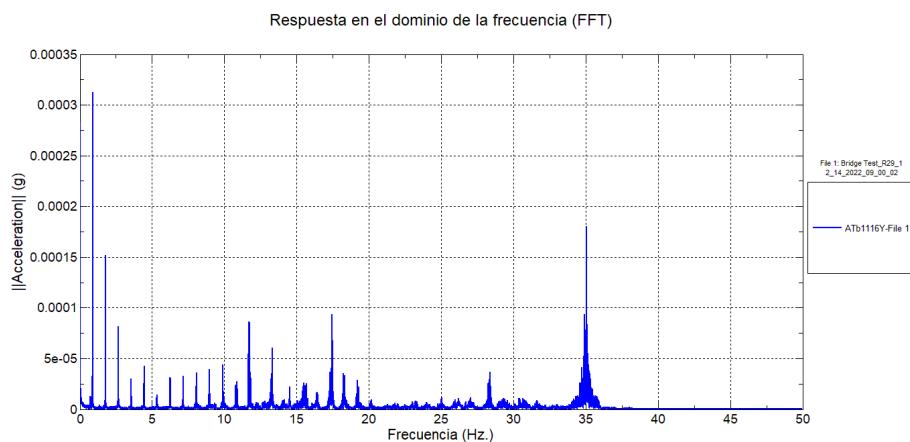
Registro de aceleraciones en la dirección Y



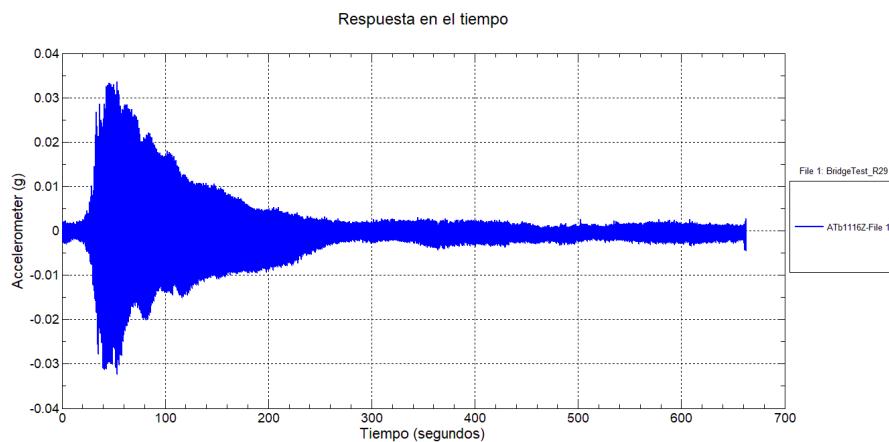
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



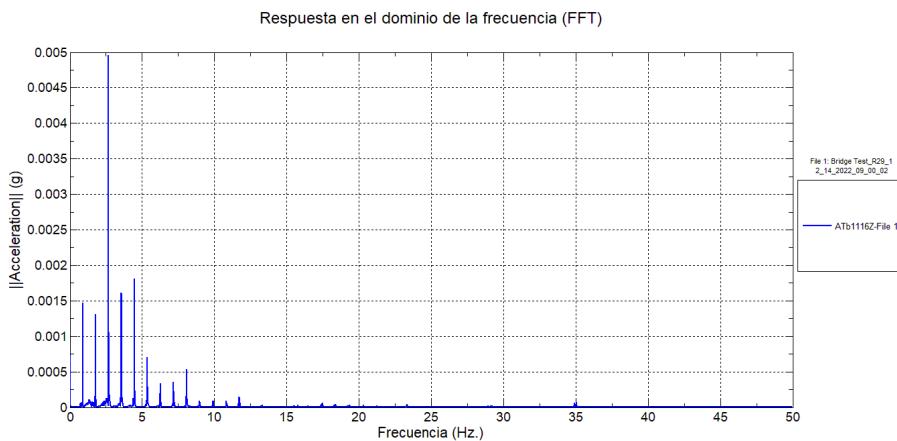
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



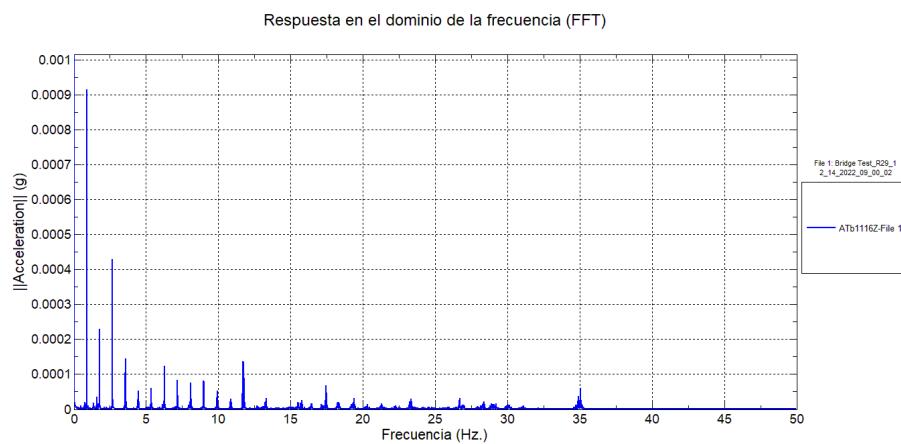
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

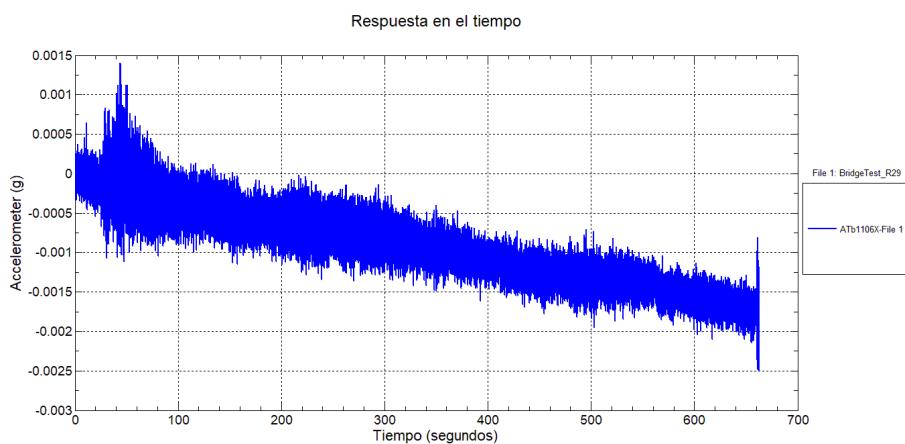


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

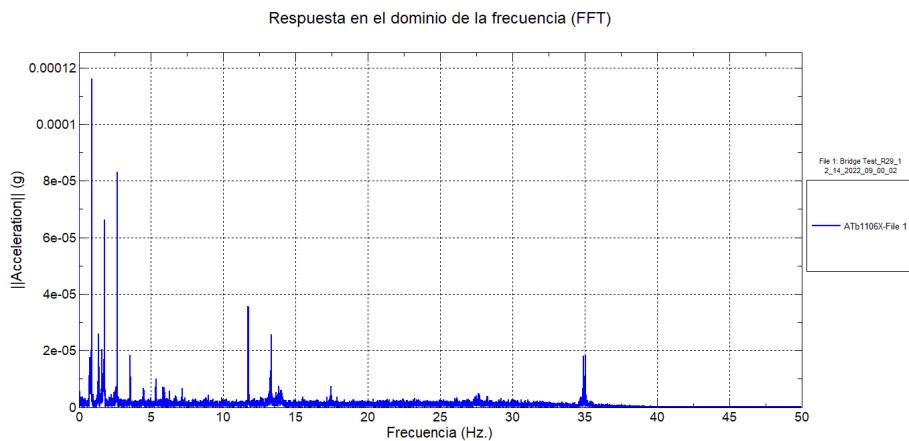


Apéndice 18. Resultados cable C1L E2

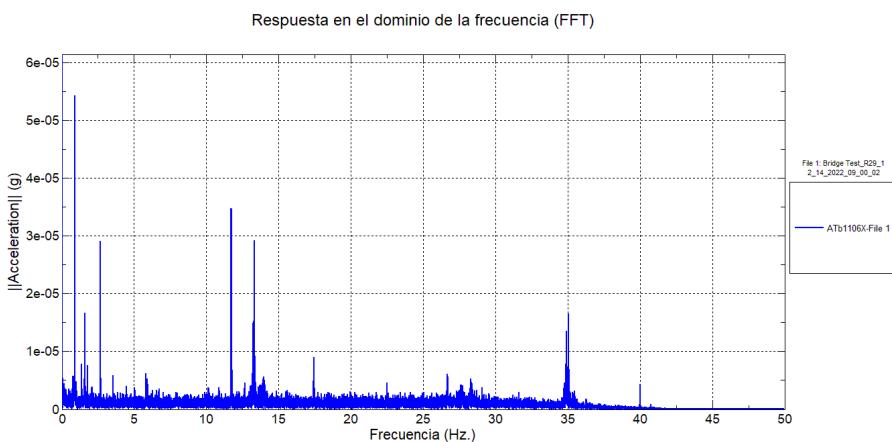
Registro de aceleraciones en la dirección X



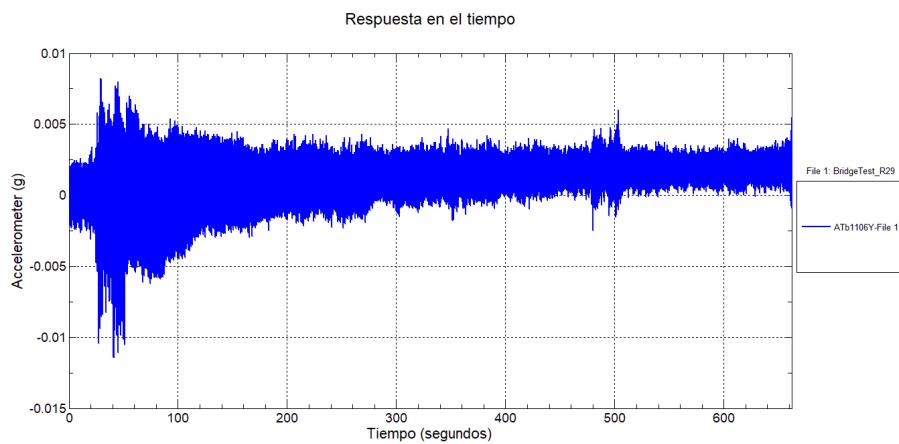
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



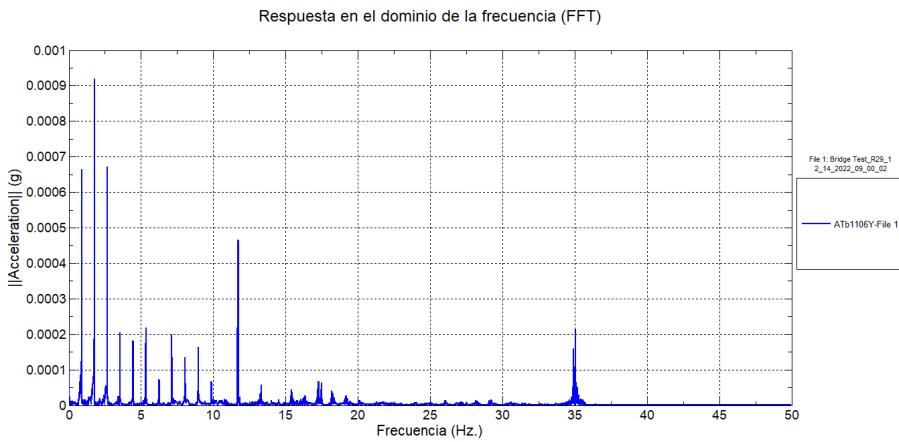
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



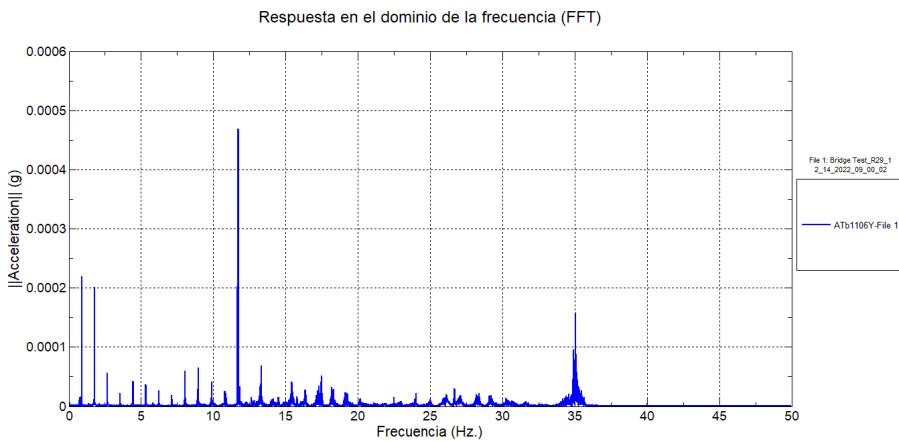
Registro de aceleraciones en la dirección Y



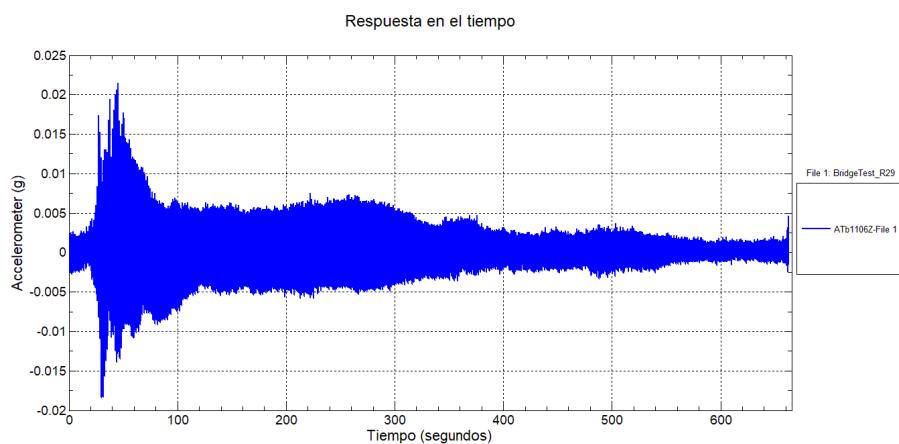
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



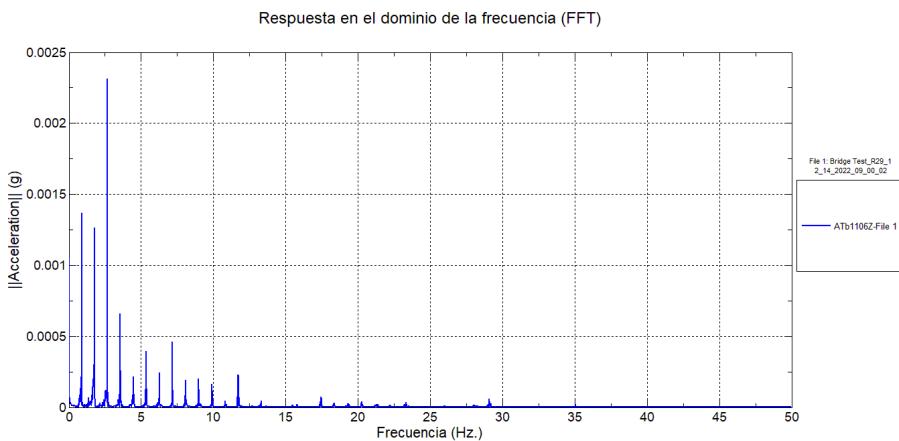
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



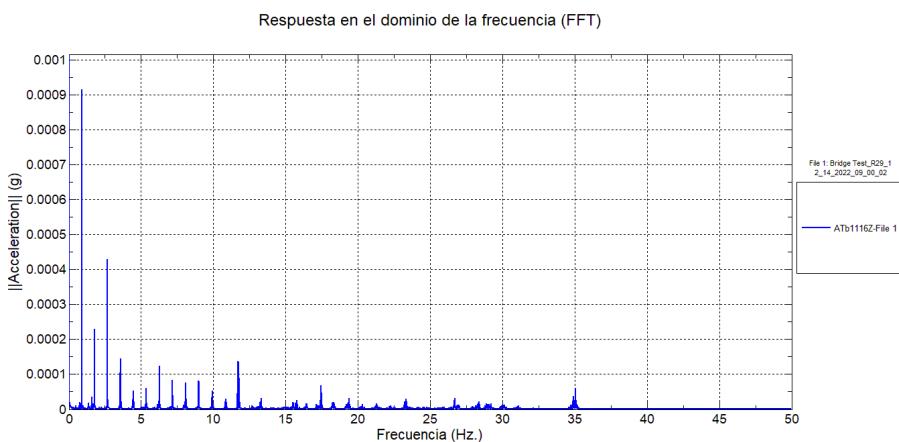
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

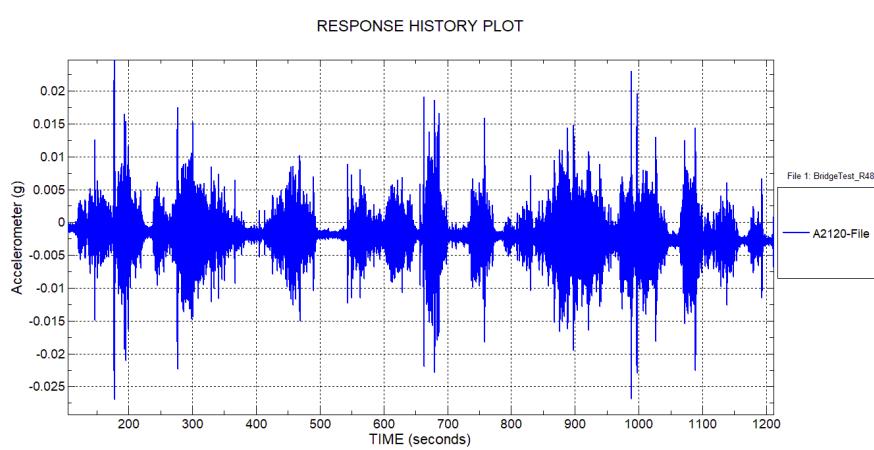


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

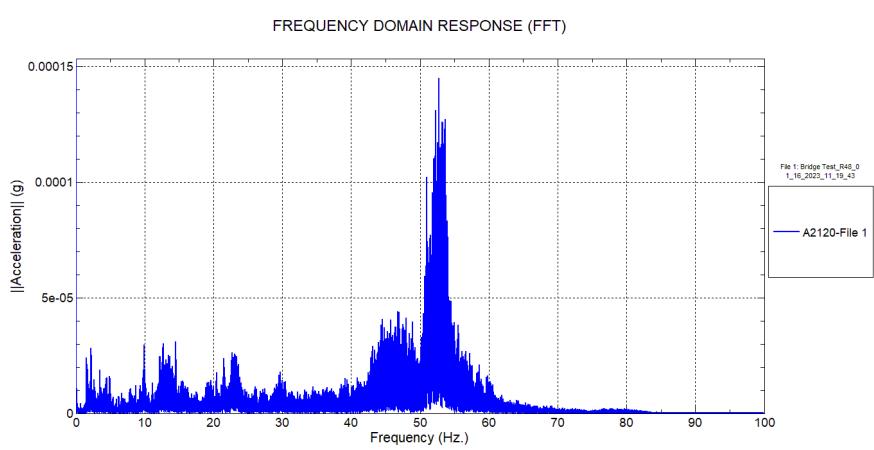


Apéndice 19. Resultados tablero D1_E1

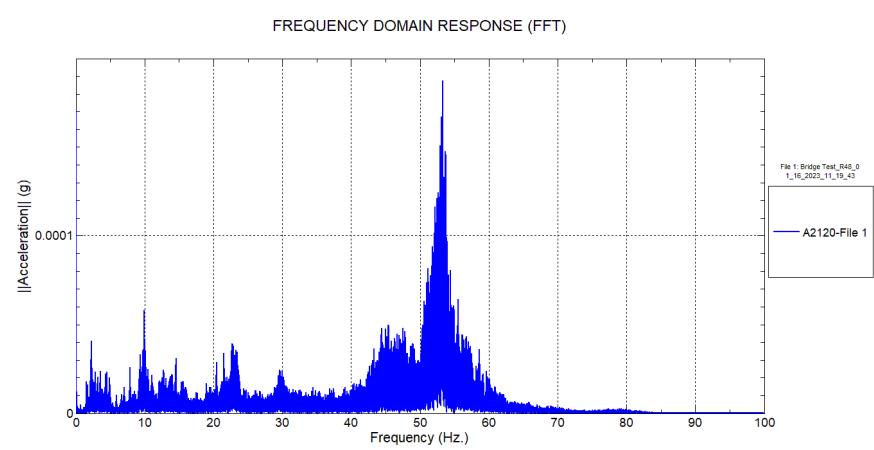
Registro de aceleraciones en la dirección X



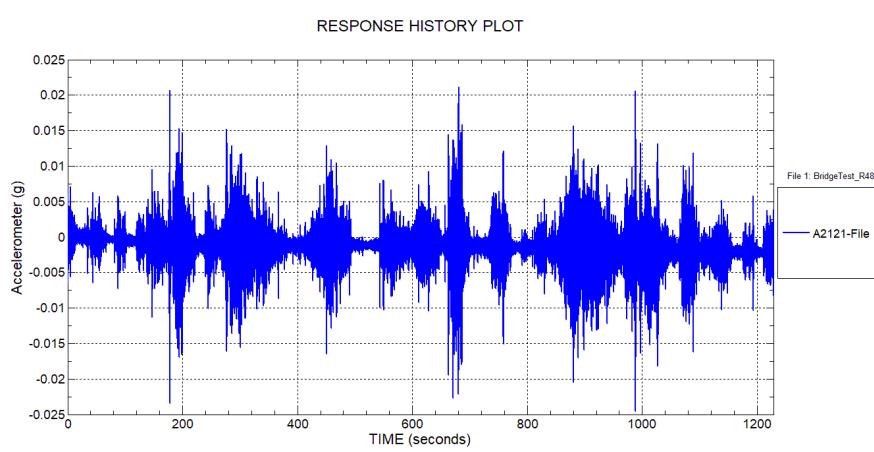
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



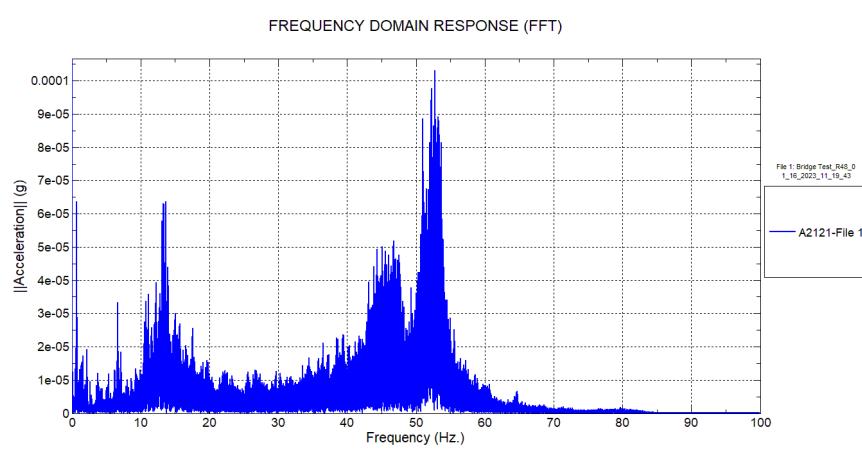
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



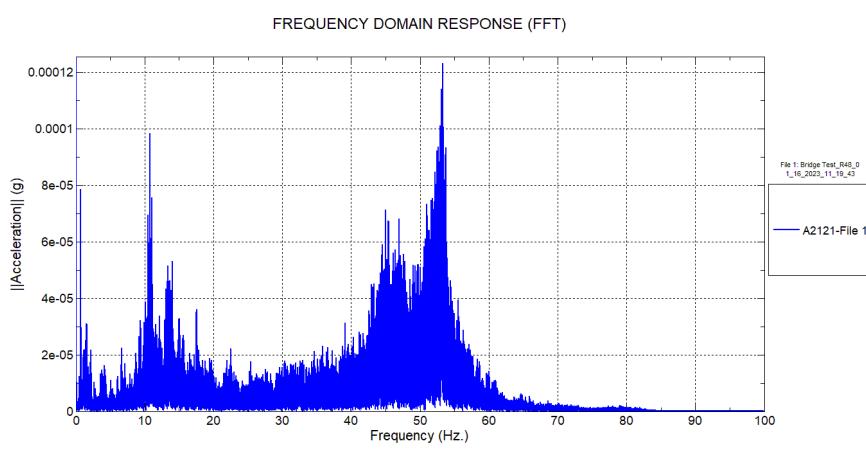
Registro de aceleraciones en la dirección Y



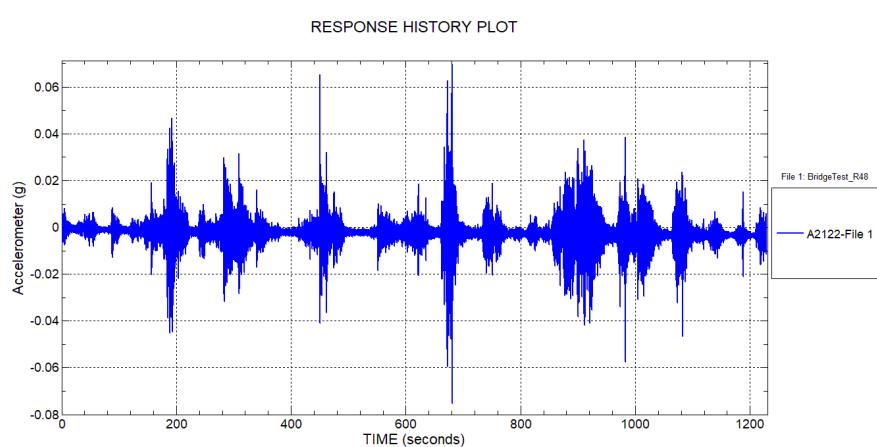
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



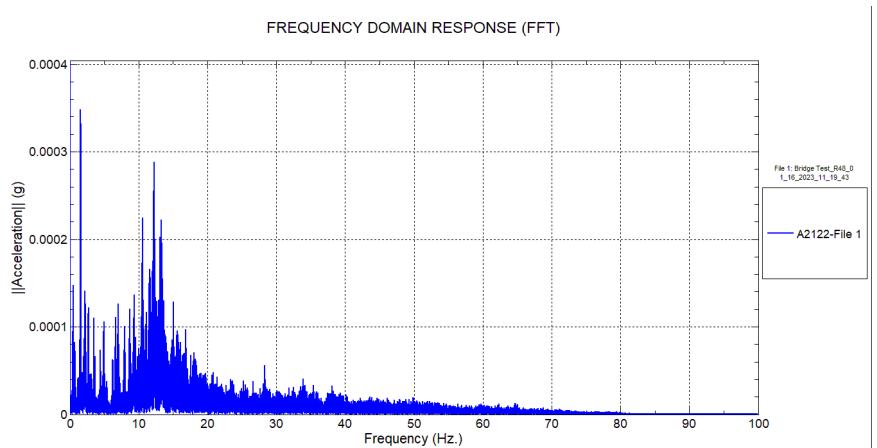
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



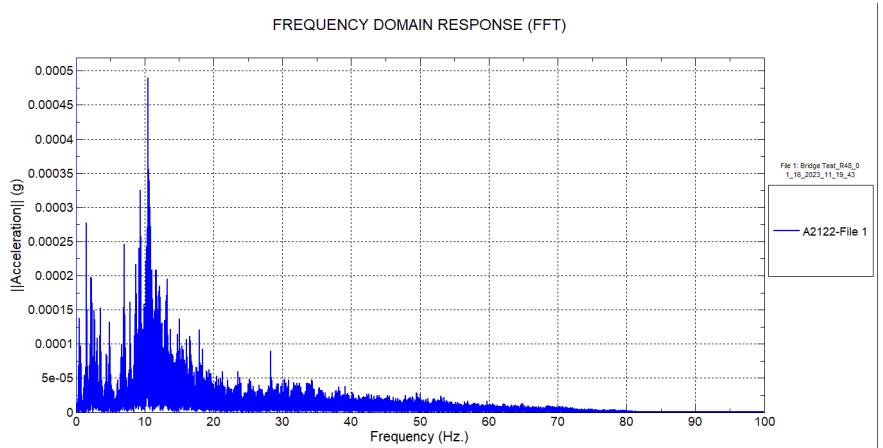
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

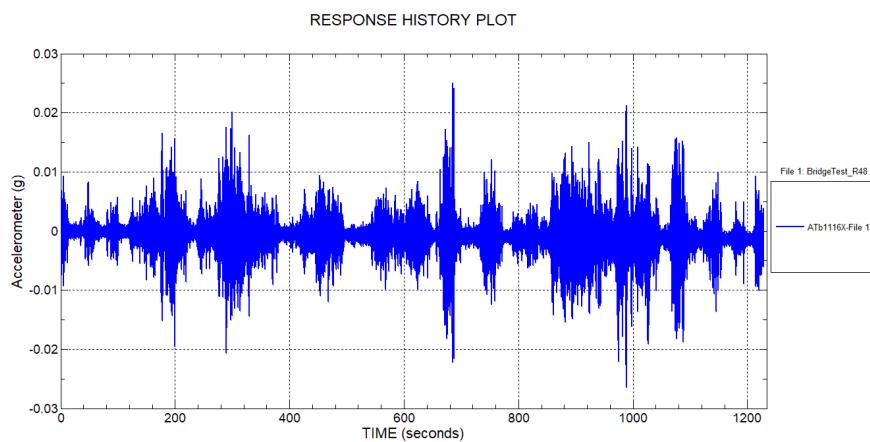


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

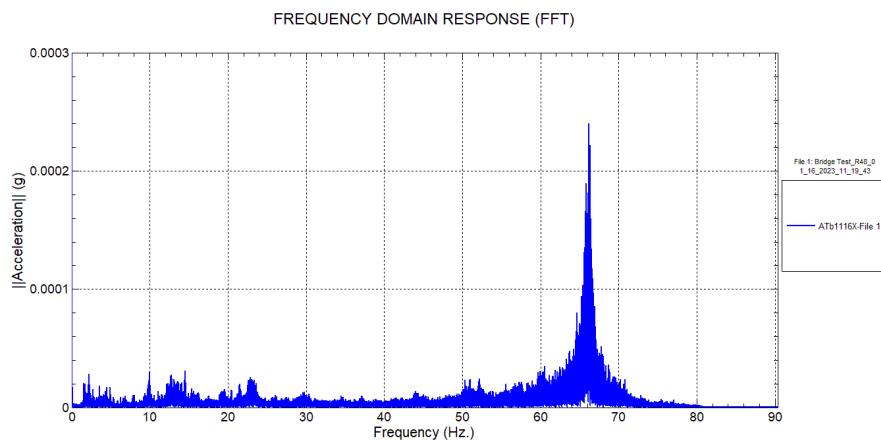


Apéndice 20. Resultados tablero D1_E2

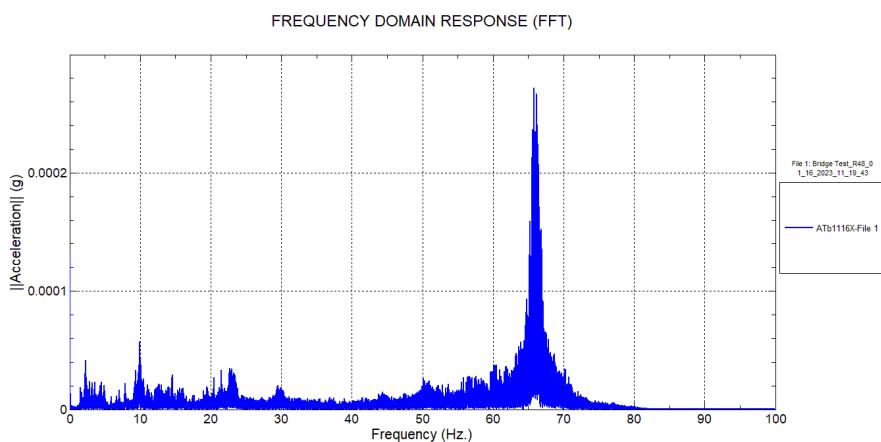
Registro de aceleraciones en la dirección X



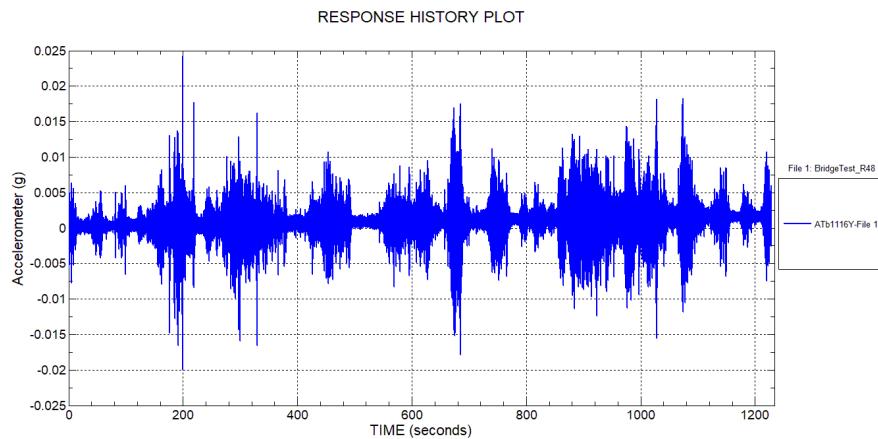
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



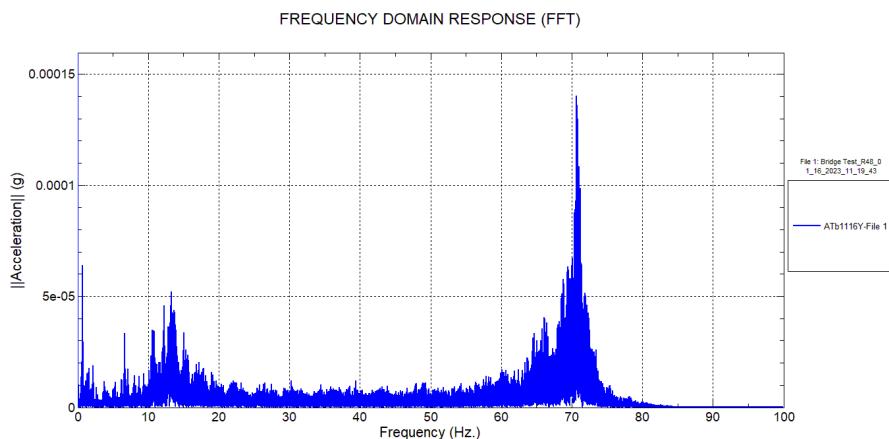
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



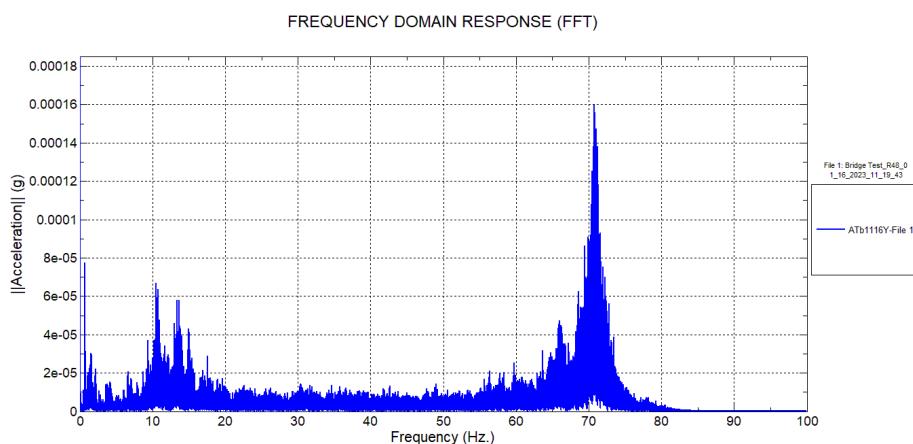
Registro de aceleraciones en la dirección Y



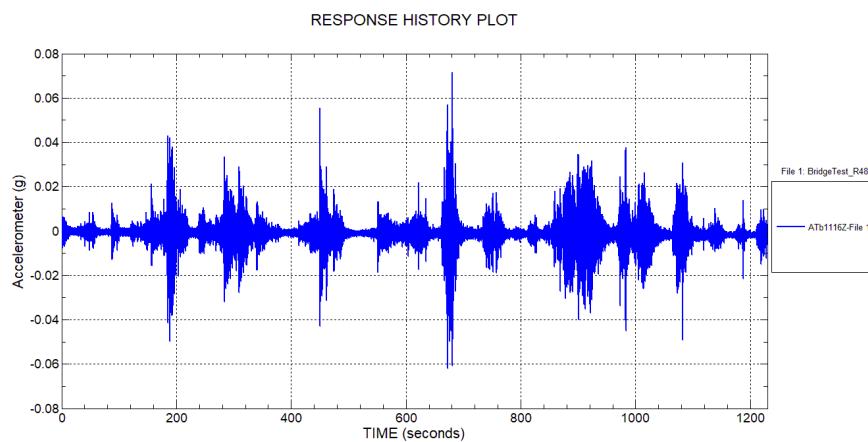
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



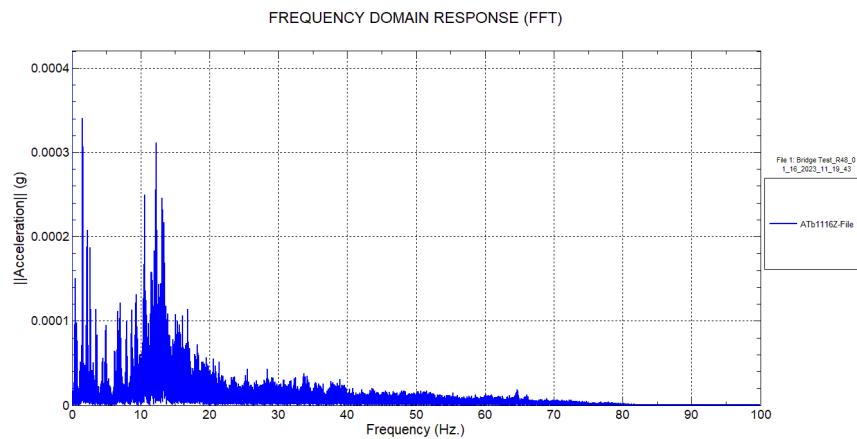
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



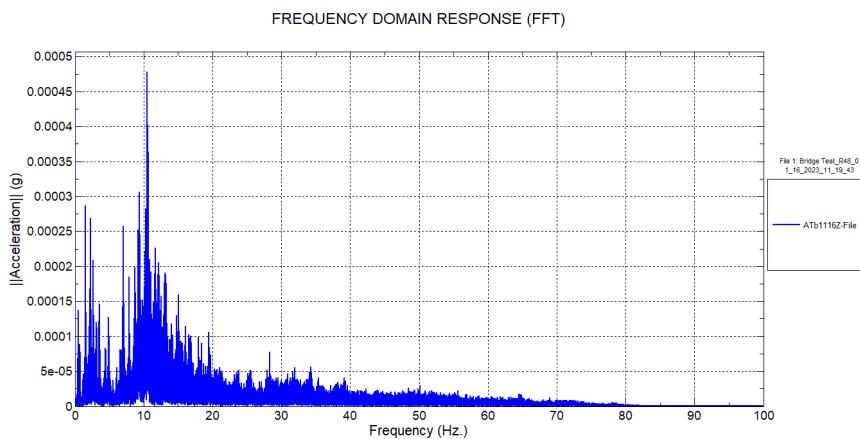
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

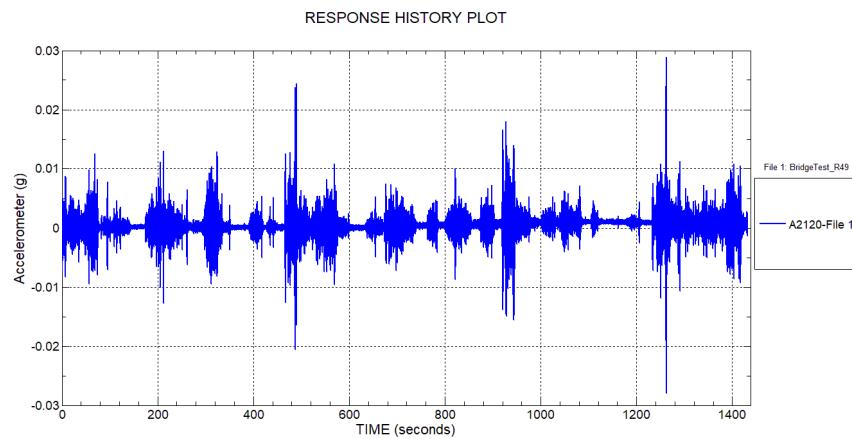


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

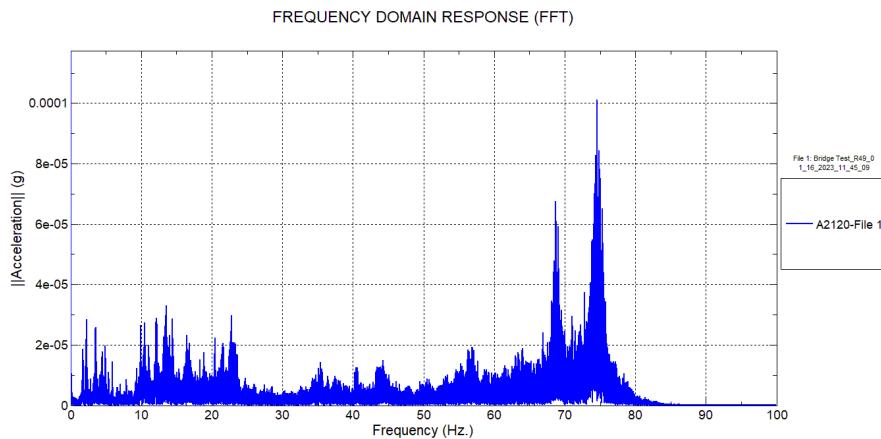


Apéndice 21. Resultados tablero D2 E1

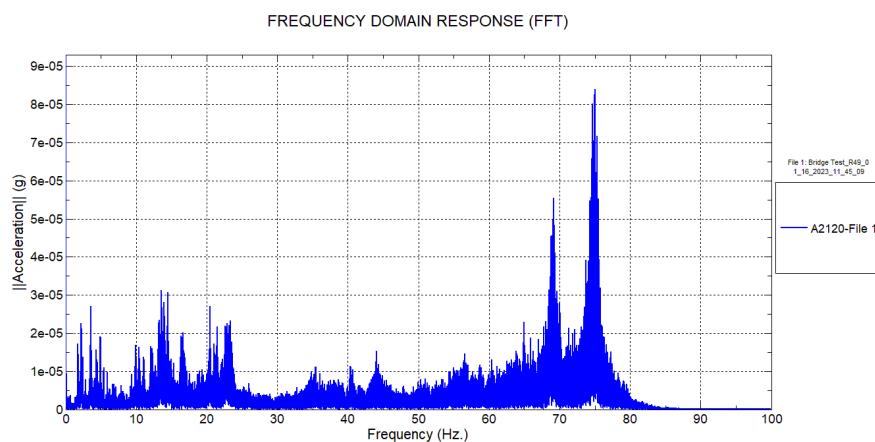
Registro de aceleraciones en la dirección X



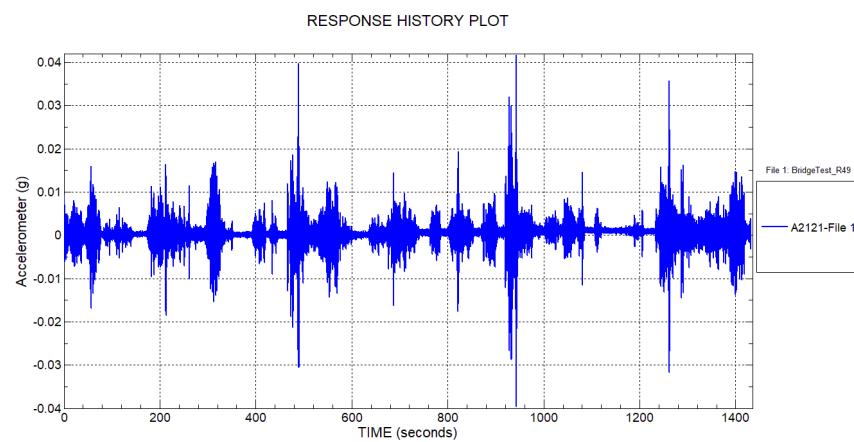
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



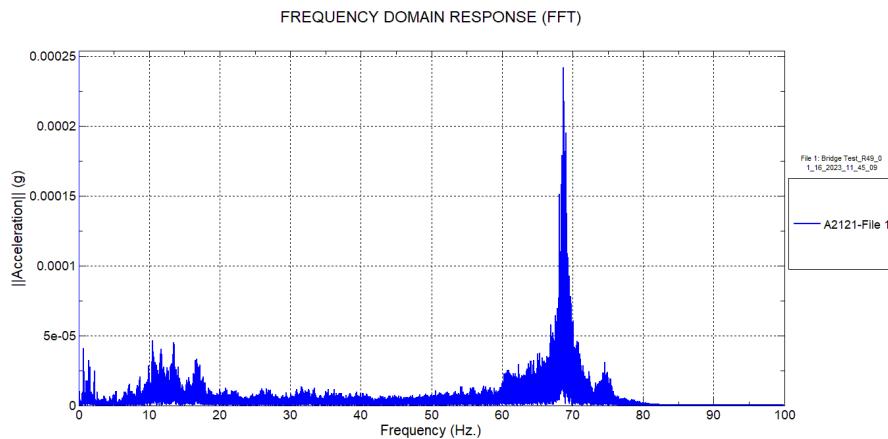
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



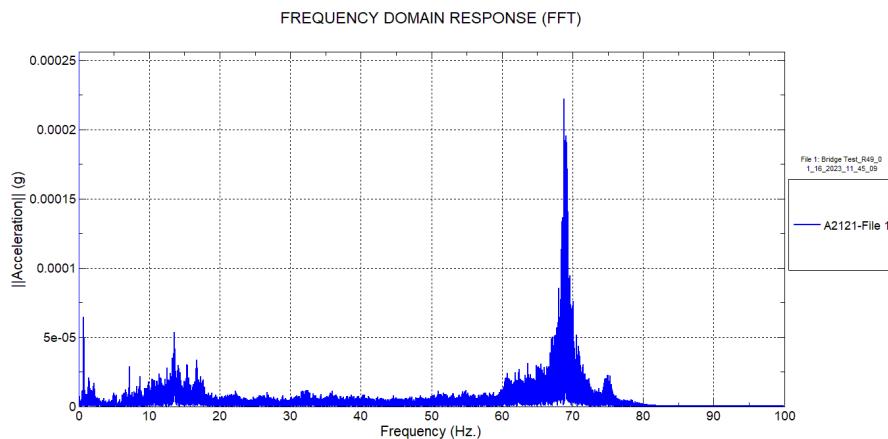
Registro de aceleraciones en la dirección Y



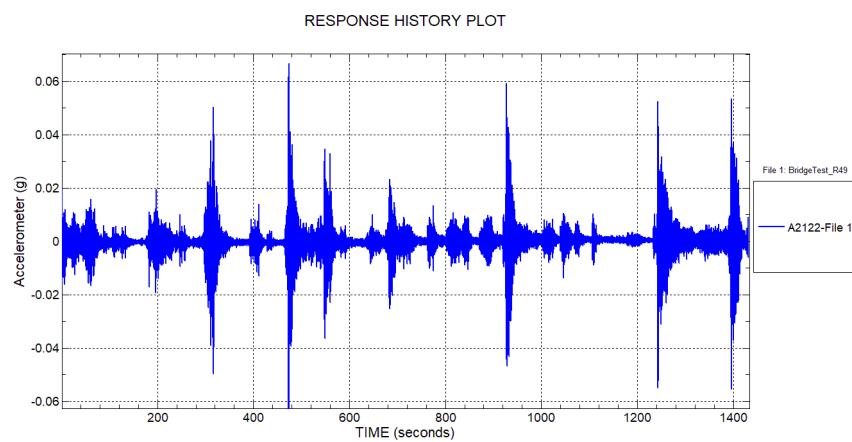
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



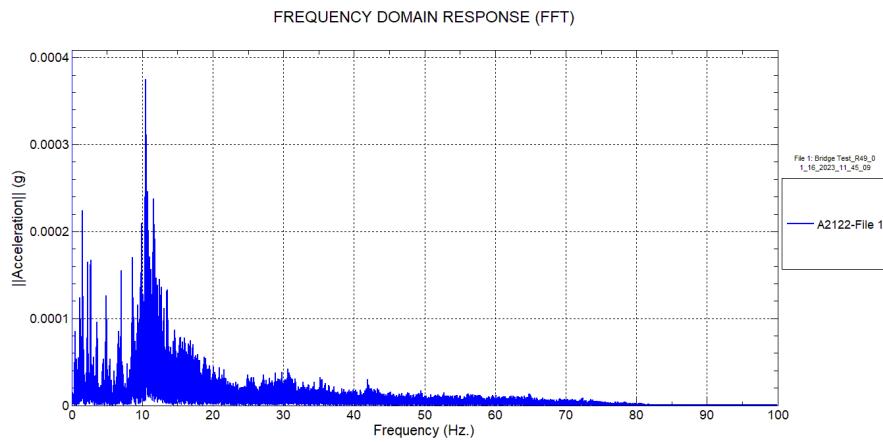
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



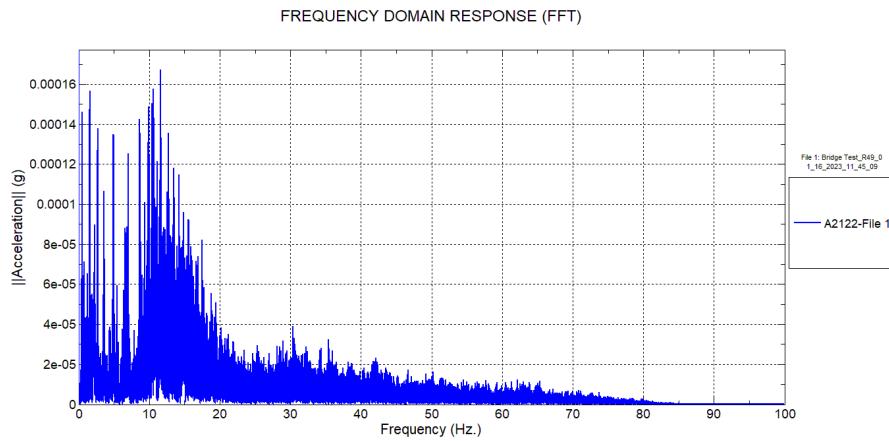
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

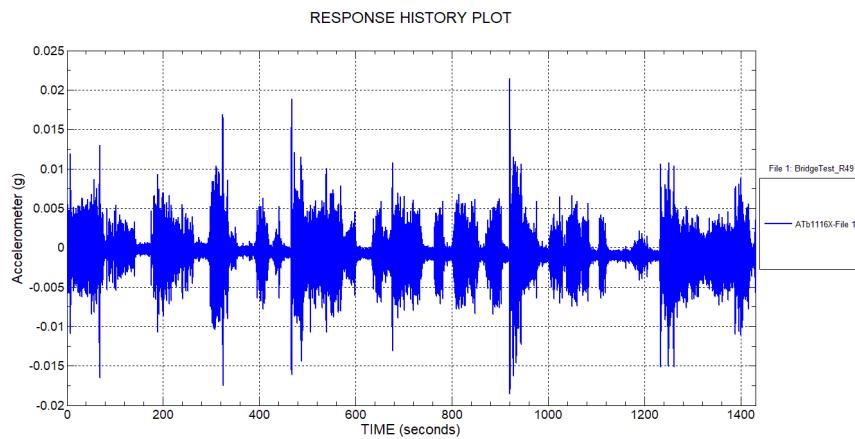


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

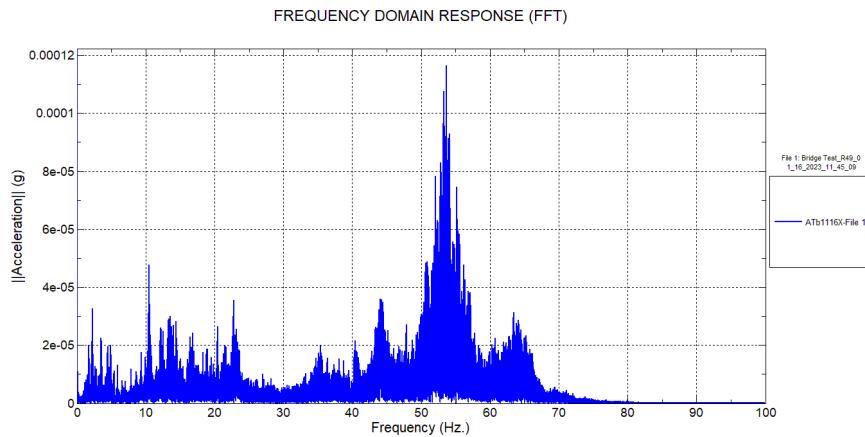


Apéndice 22. Resultados tablero D2 E2

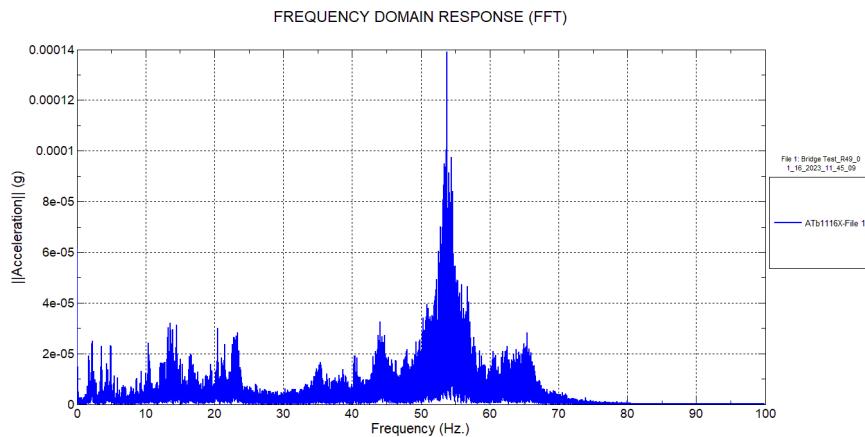
Registro de aceleraciones en la dirección X



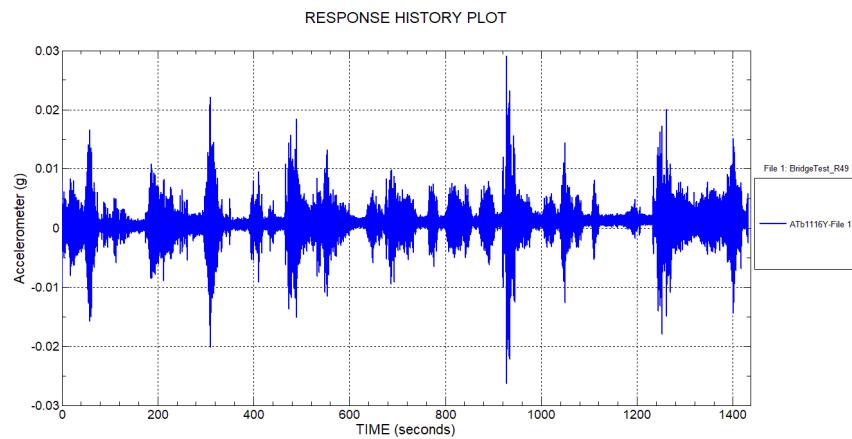
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



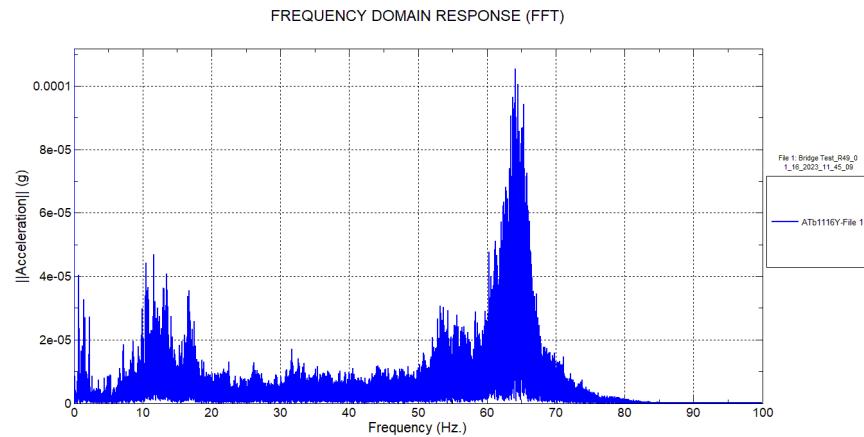
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



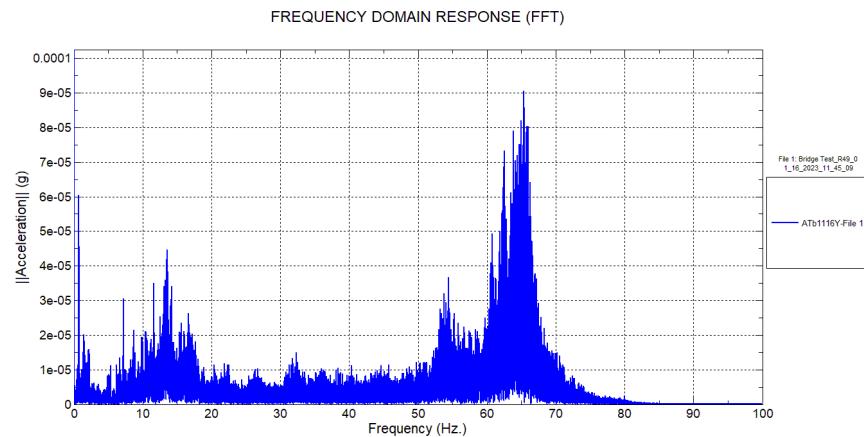
Registro de aceleraciones en la dirección Y



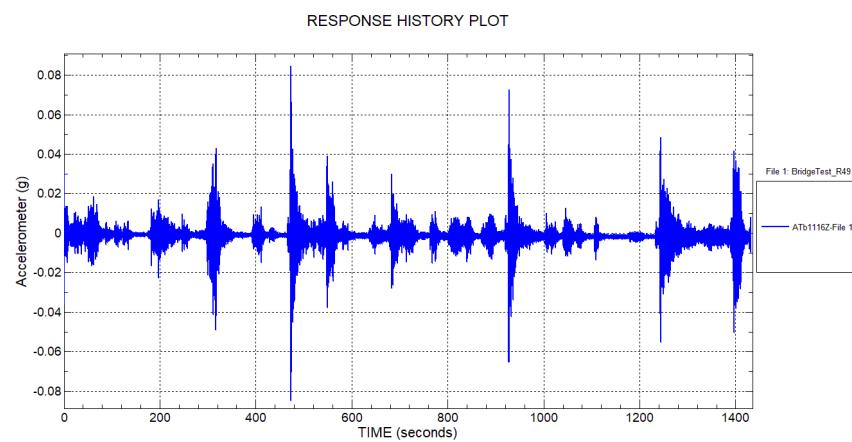
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



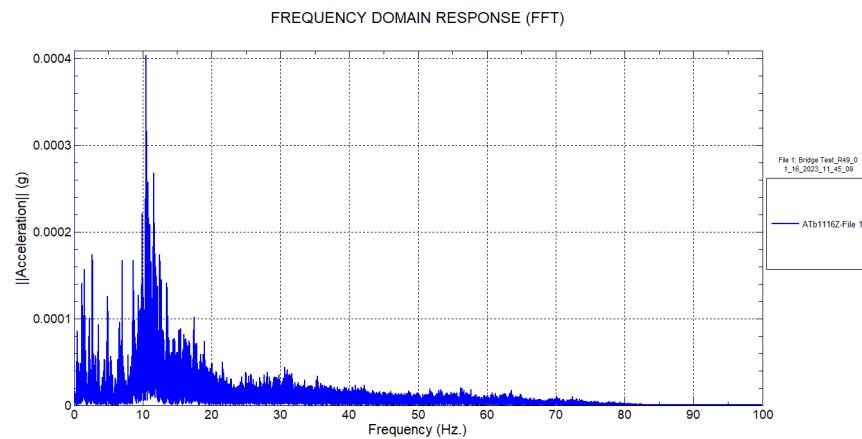
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



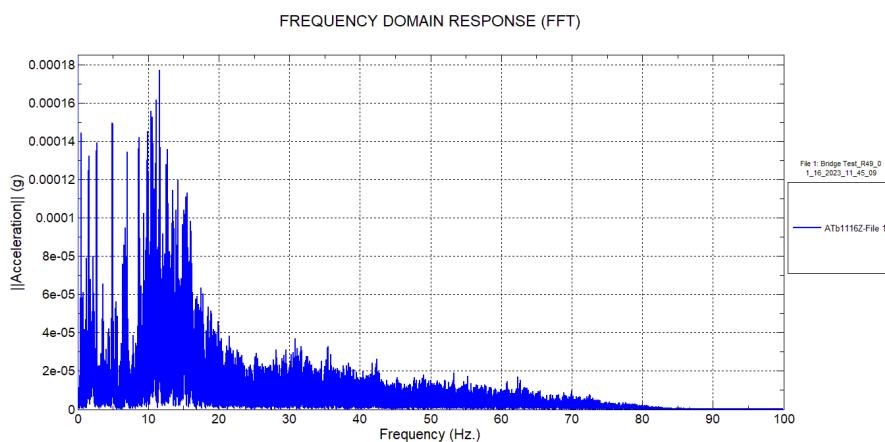
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

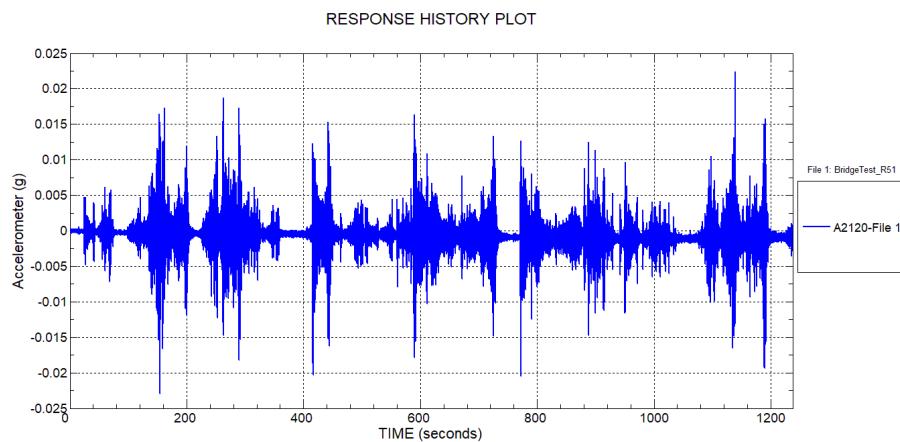


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

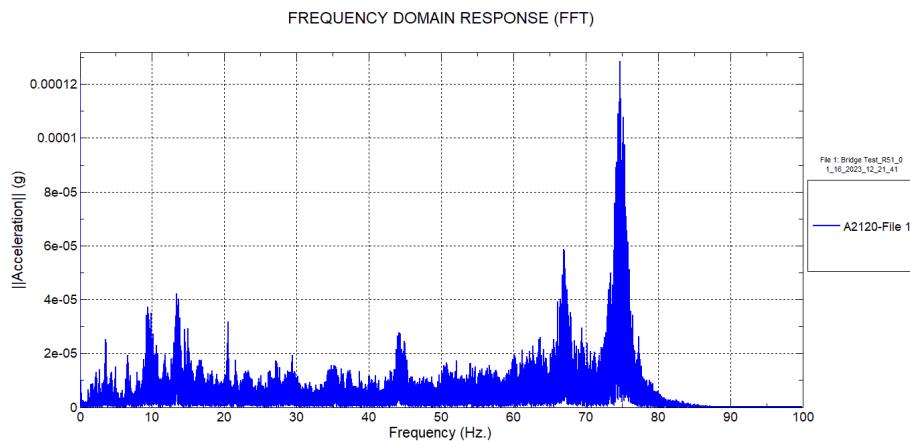


Apéndice 23. Resultados tablero D3 E1

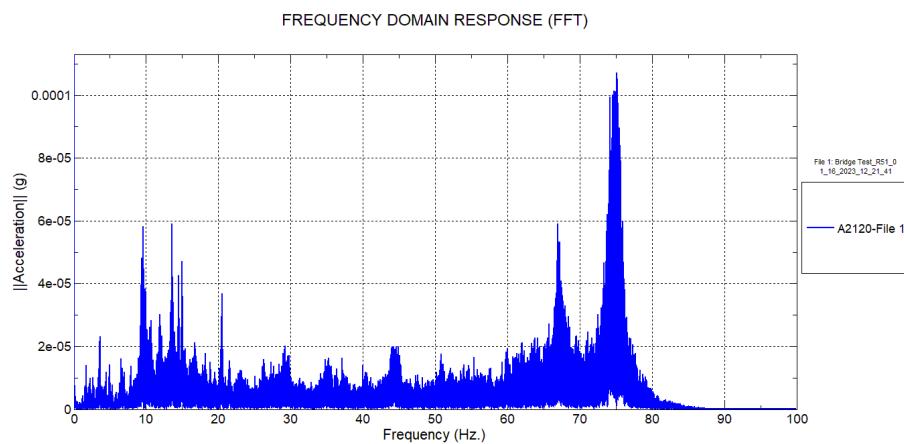
Registro de aceleraciones en la dirección X



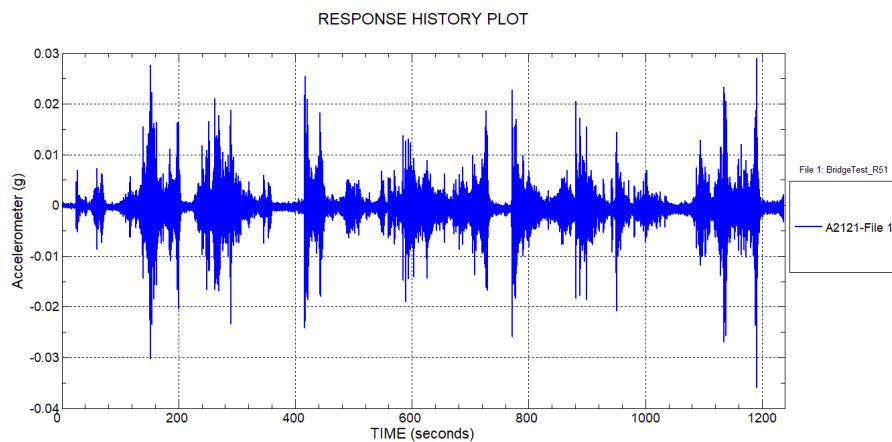
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



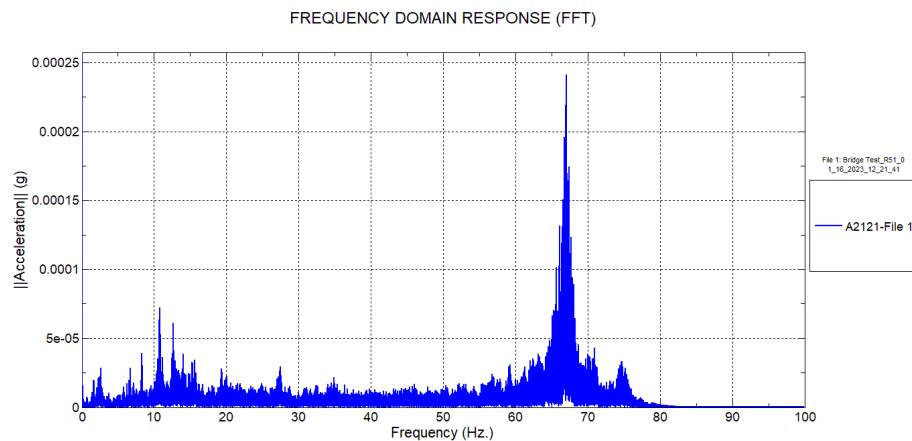
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



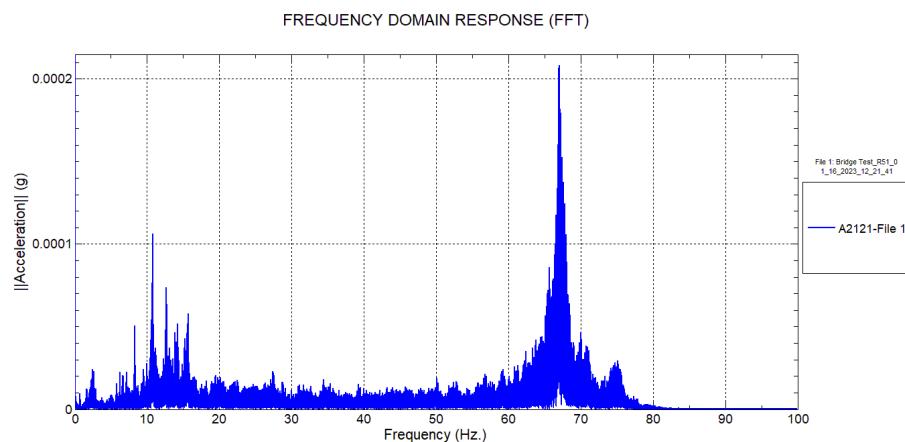
Registro de aceleraciones en la dirección Y



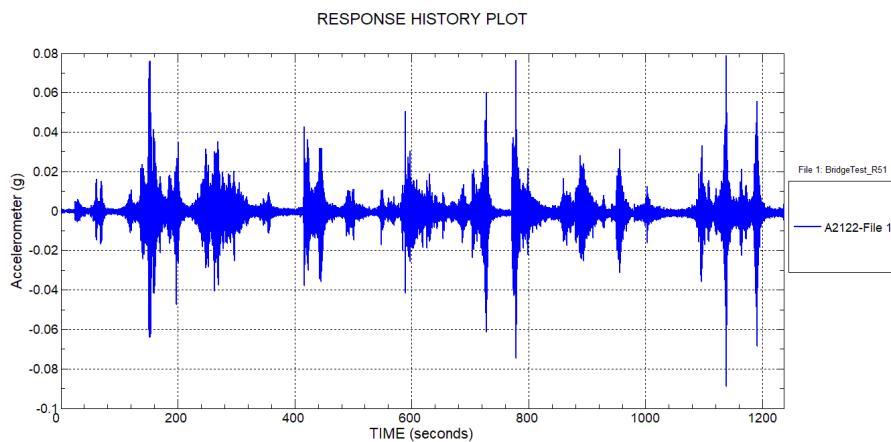
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



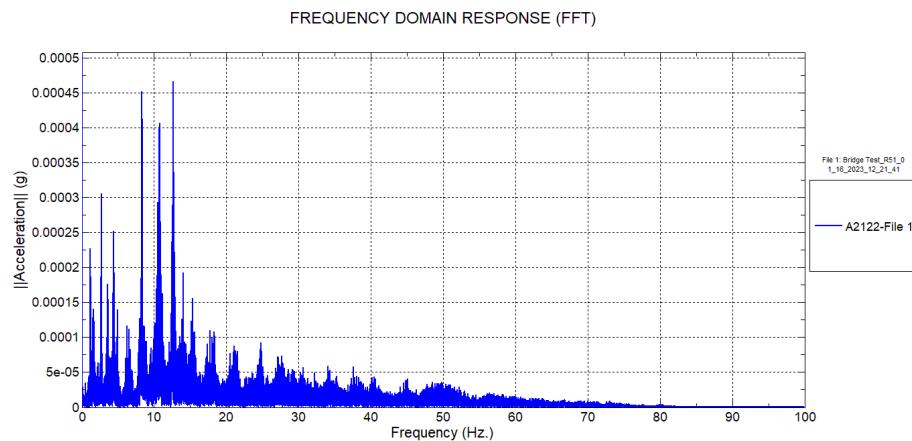
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



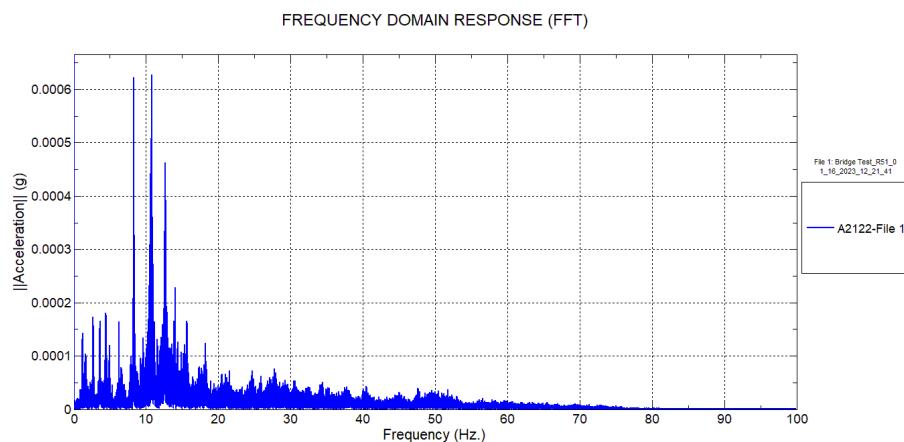
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

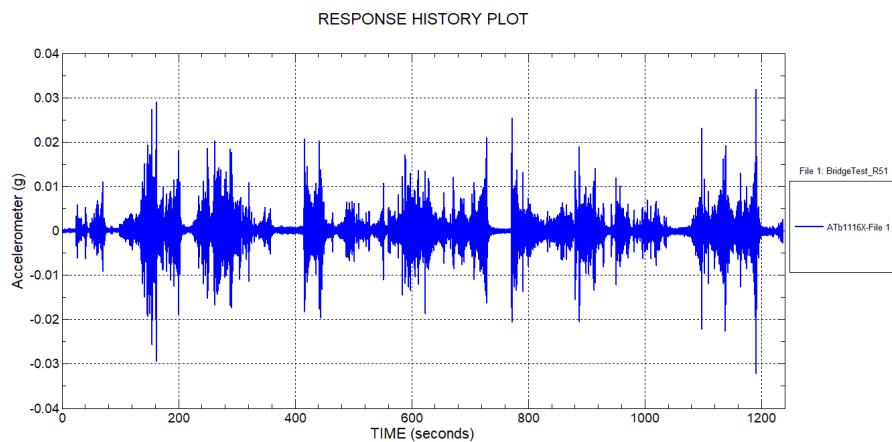


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

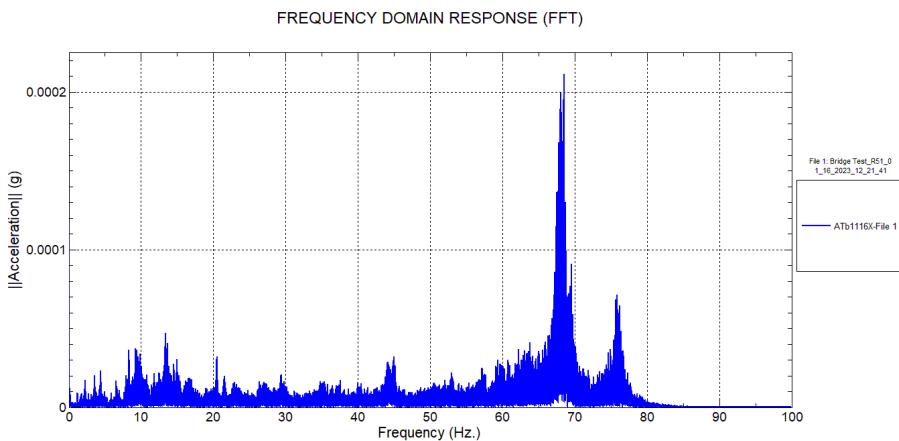


Apéndice 24. Resultados tablero D3 E2

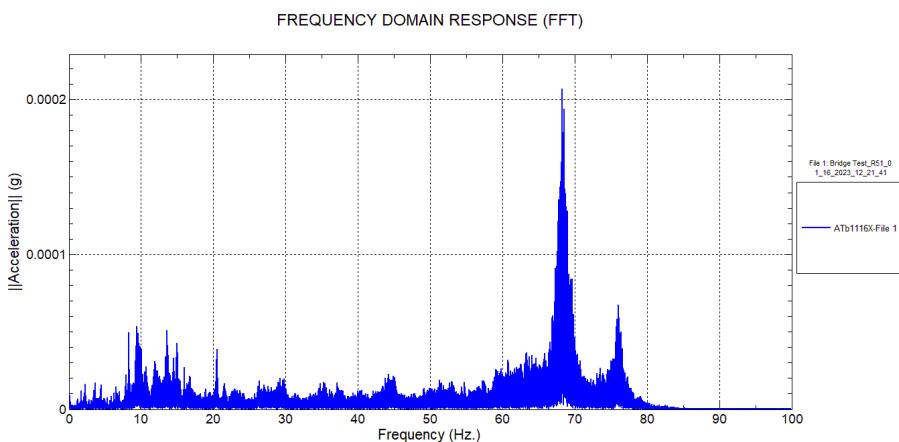
Registro de aceleraciones en la dirección X



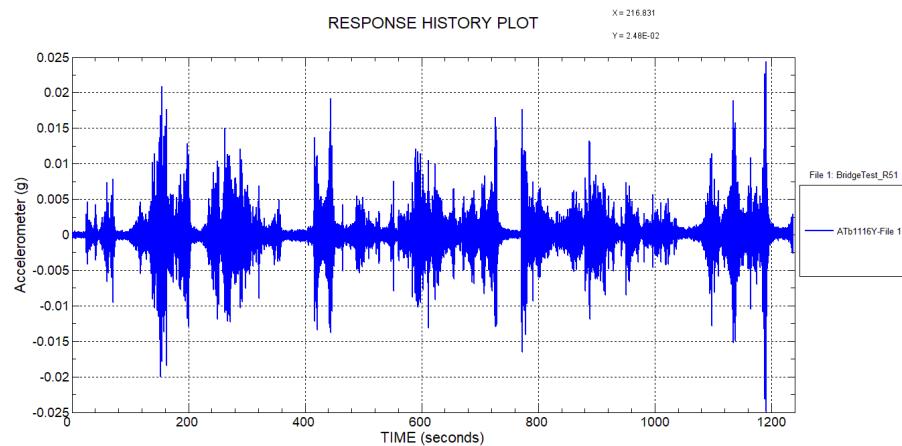
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



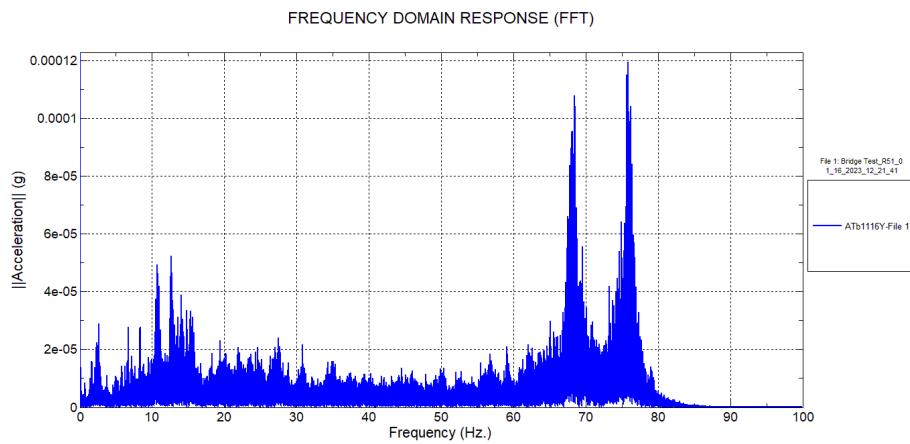
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



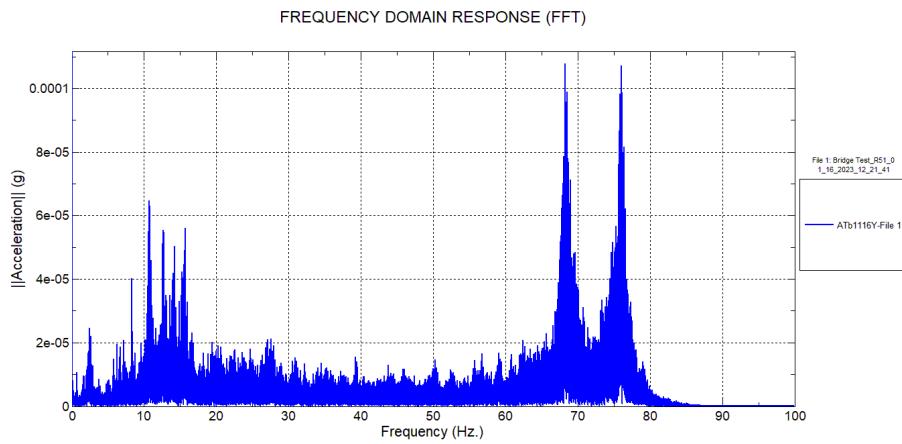
Registro de aceleraciones en la dirección Y



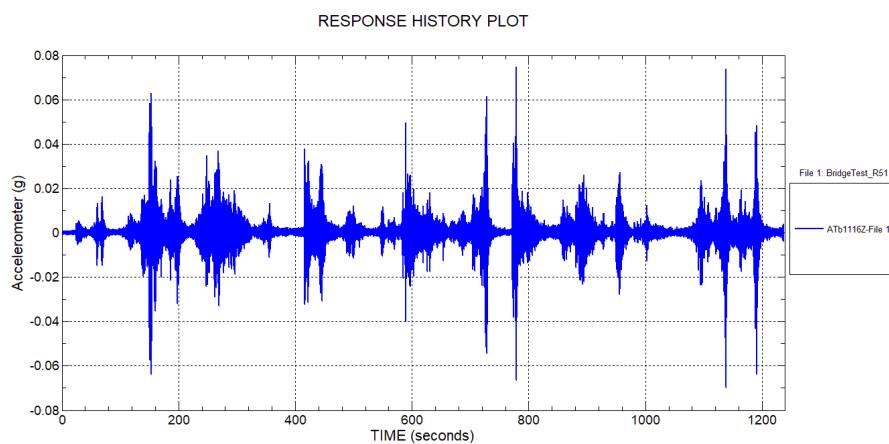
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



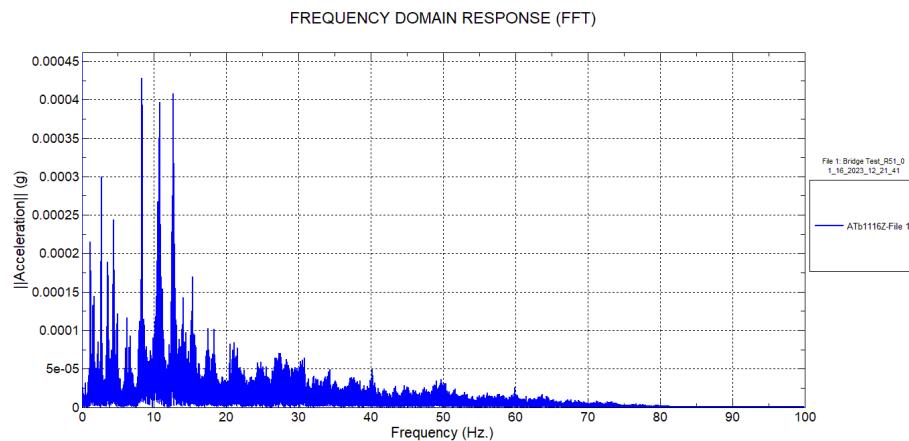
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



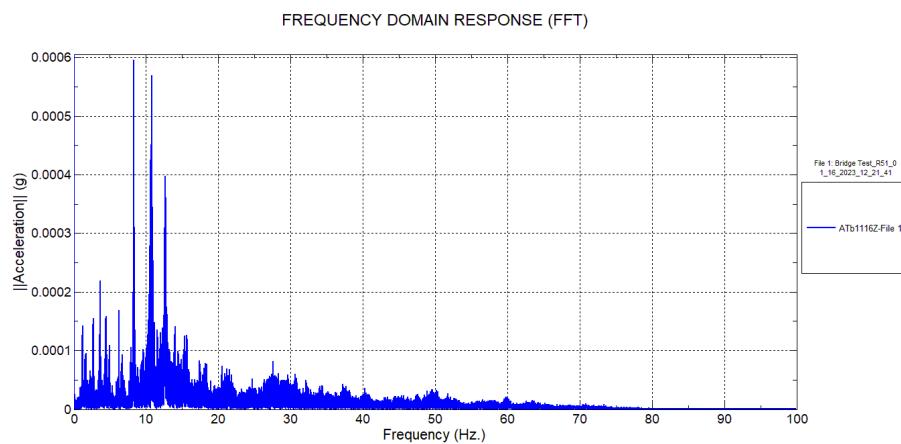
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

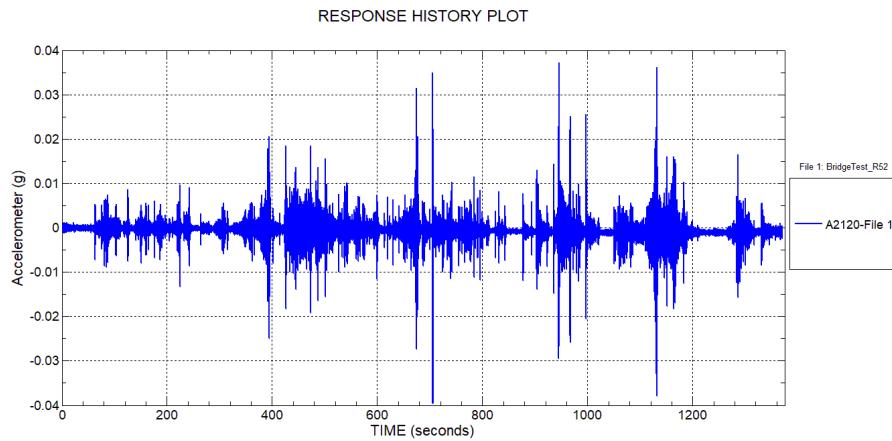


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

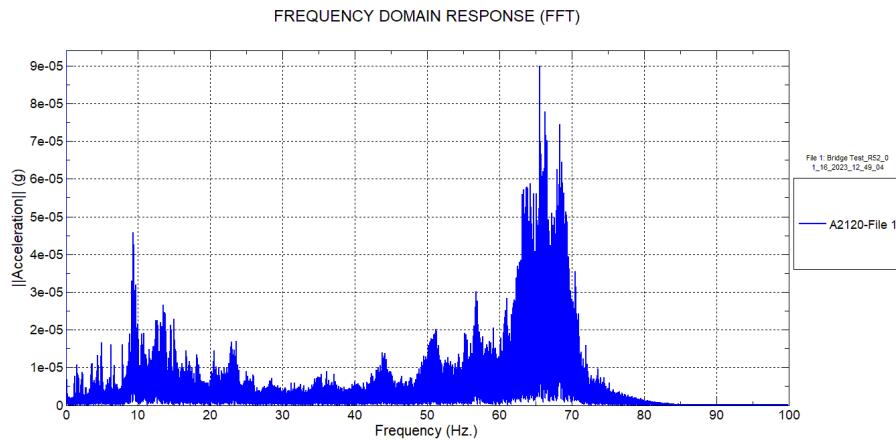


Apéndice 25. Resultados tablero D4 E1

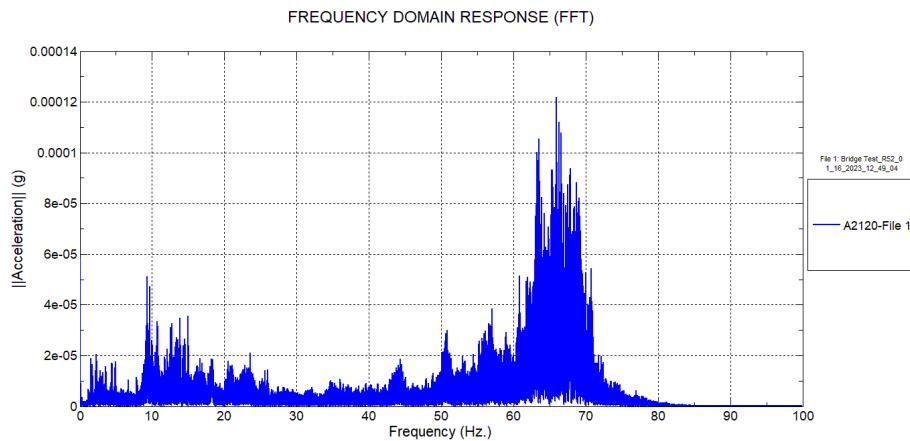
Registro de aceleraciones en la dirección X



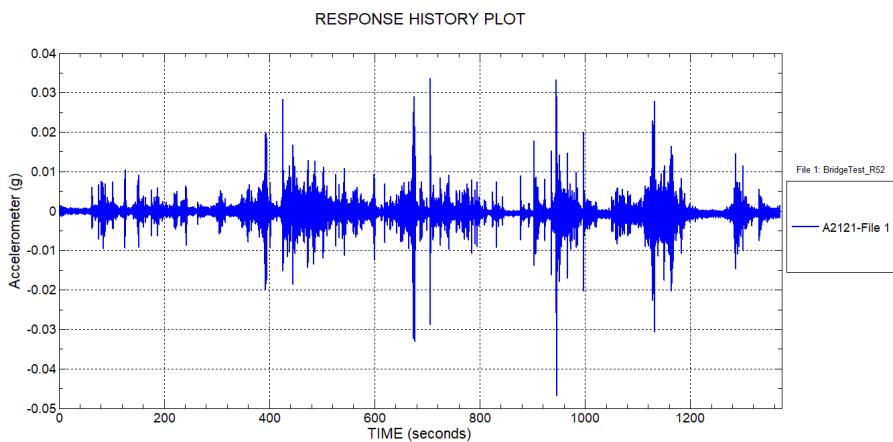
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



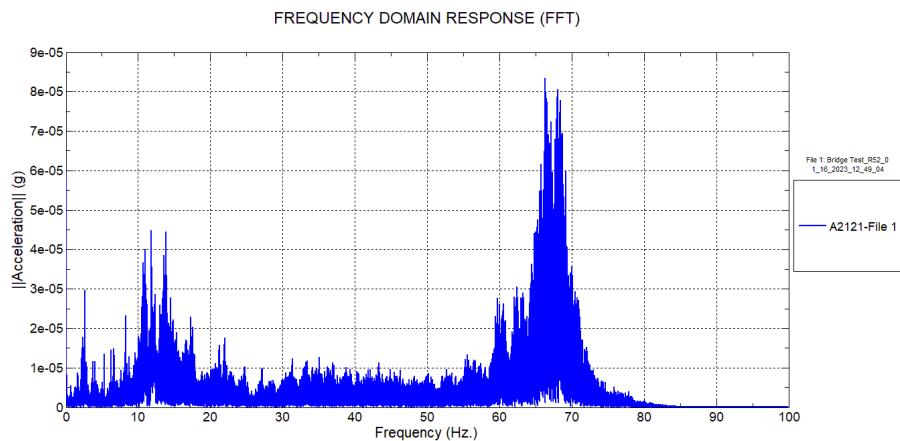
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



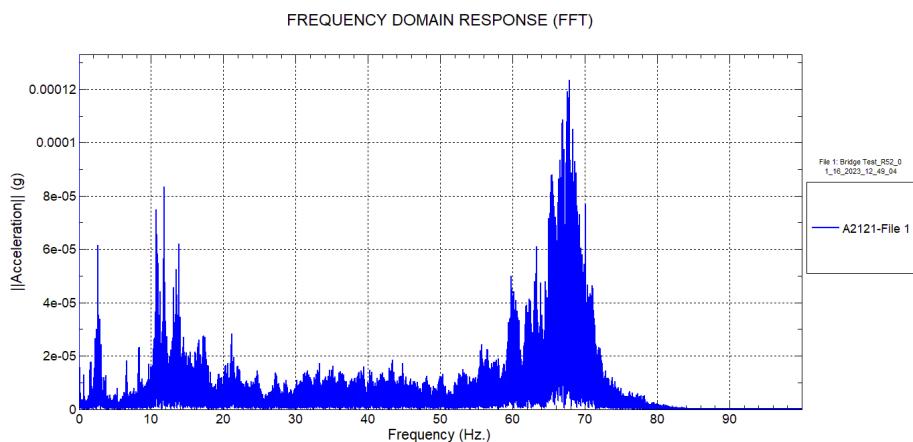
Registro de aceleraciones en la dirección Y



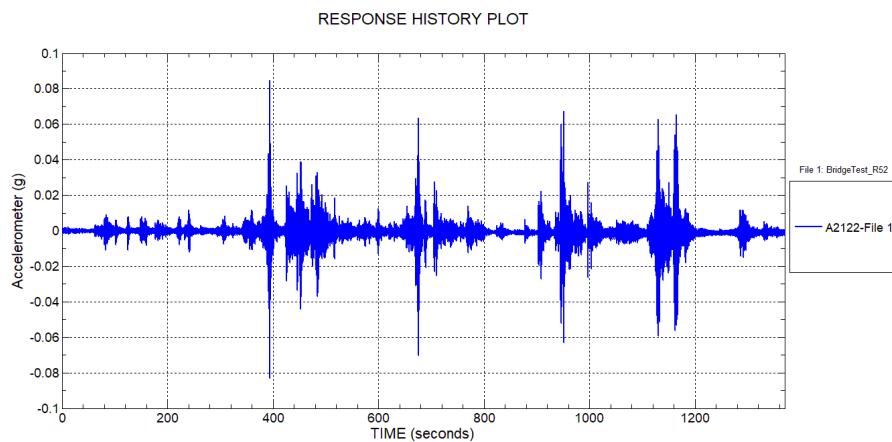
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



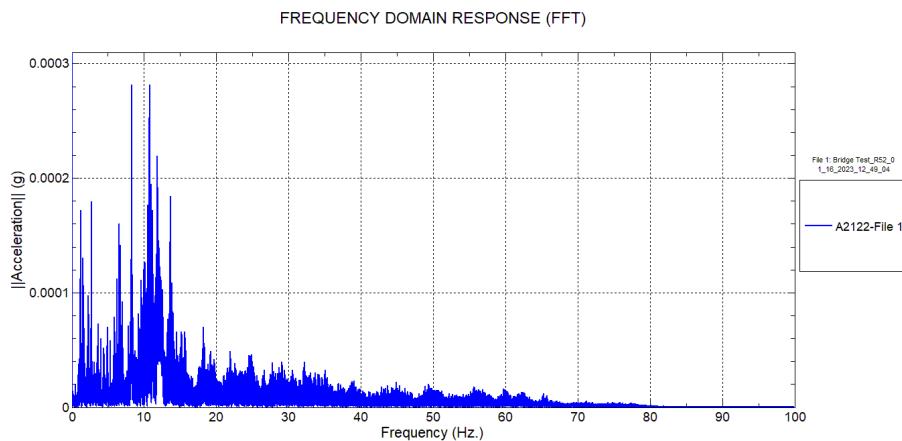
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



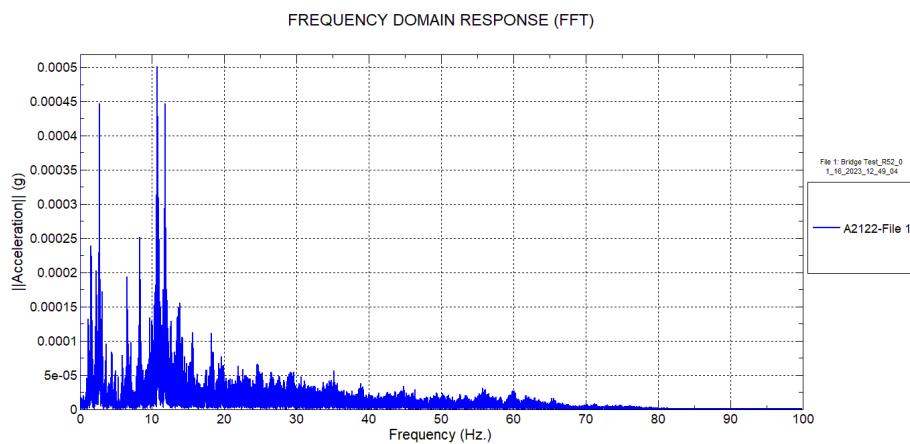
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1

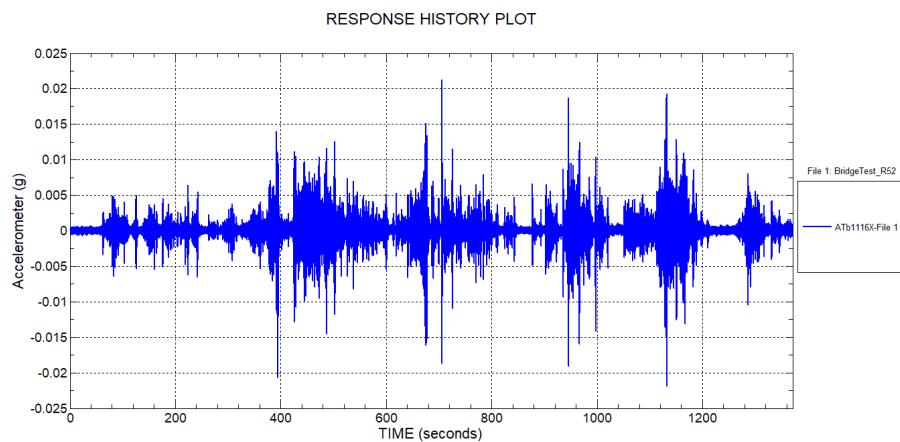


Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2

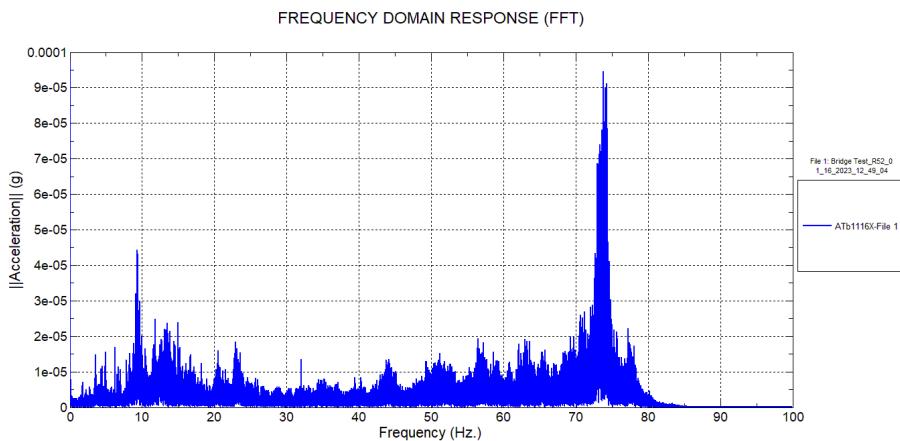


Apéndice 26. Resultados tablero D4 E2

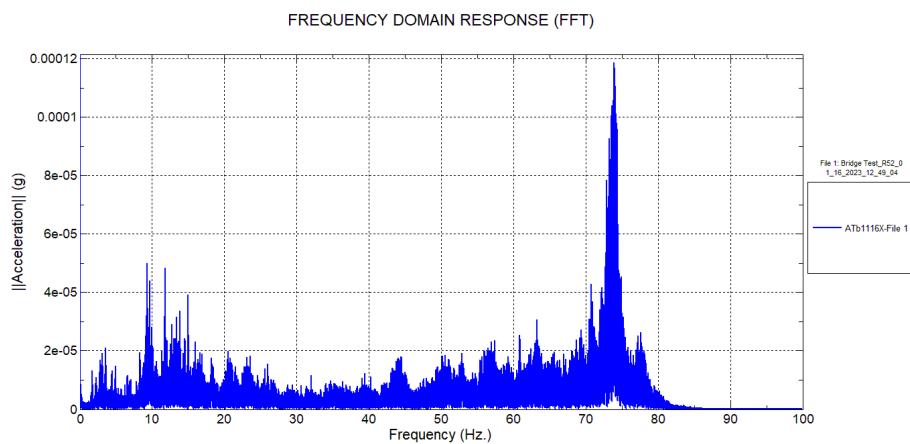
Registro de aceleraciones en la dirección X



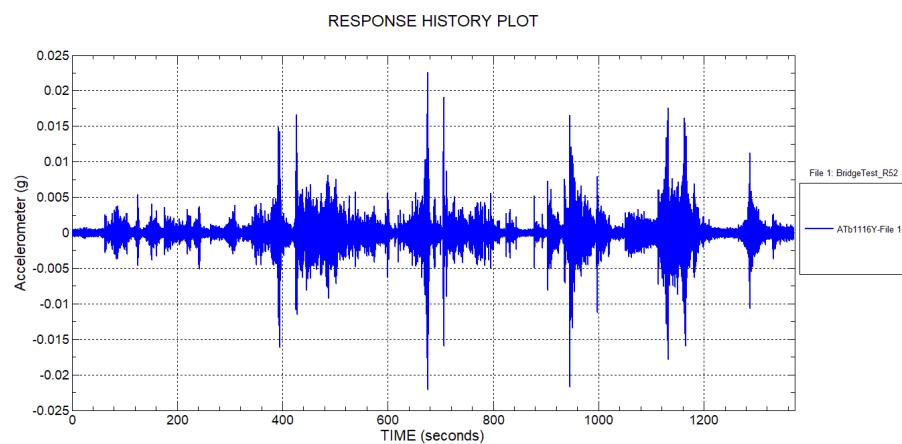
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C1



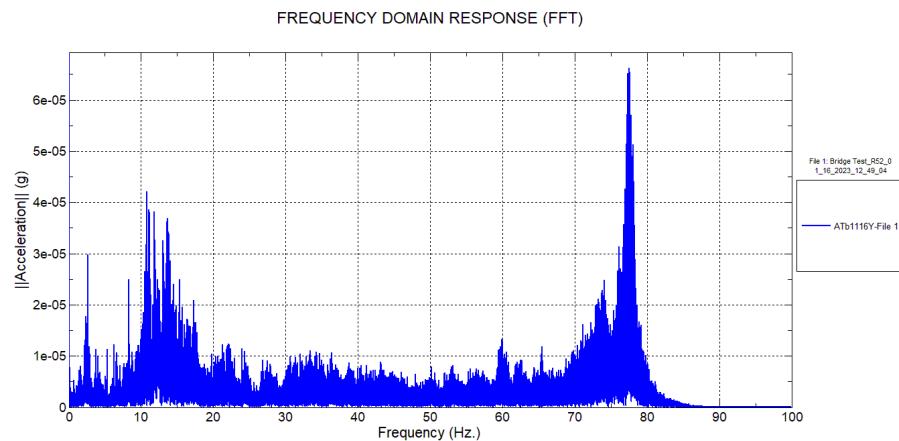
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección X para C2



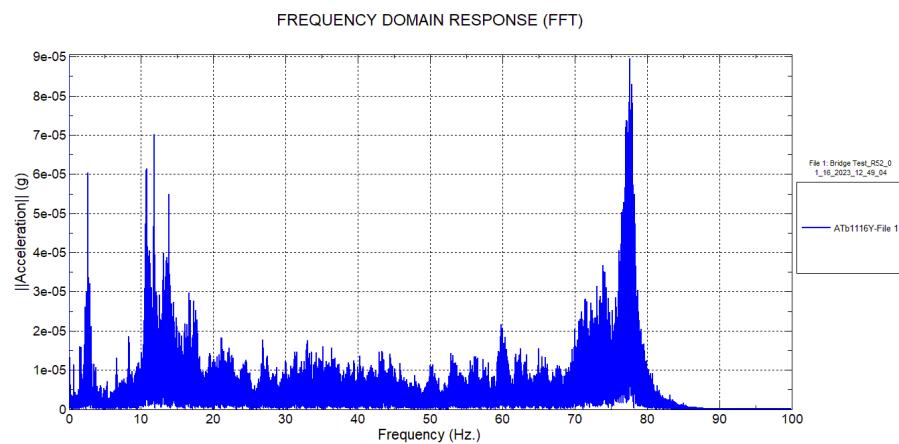
Registro de aceleraciones en la dirección Y



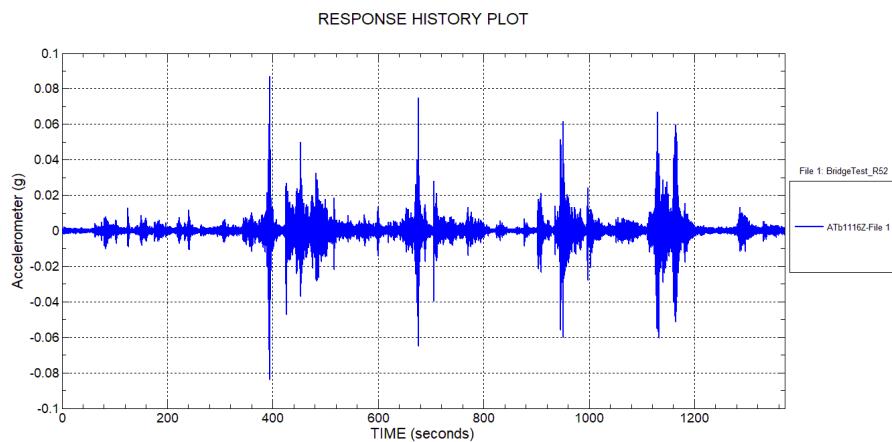
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C1



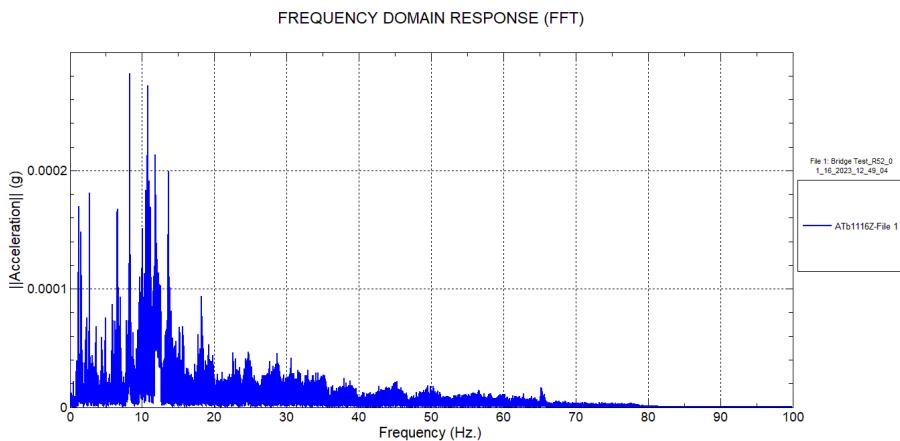
Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Y para C2



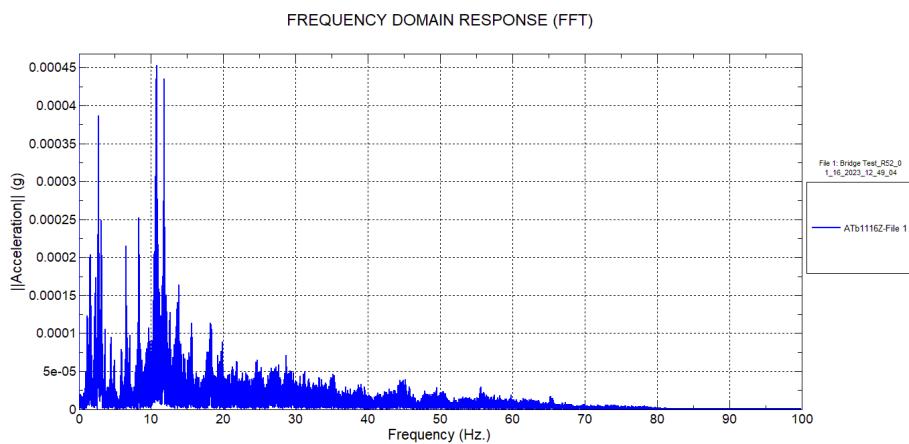
Registro de aceleraciones en la dirección Z



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C1



Registro en el dominio de la frecuencia en la dirección Z para C2



5. Anexos

Anexo 1. Alcance propuesto por Helmut Wenzel

-----Última línea-----

Document-03: Preparation of Works

Date: August 2018
Prepared: Helmut Wenzel

Proposed Scope of Work for TEC

Introduction

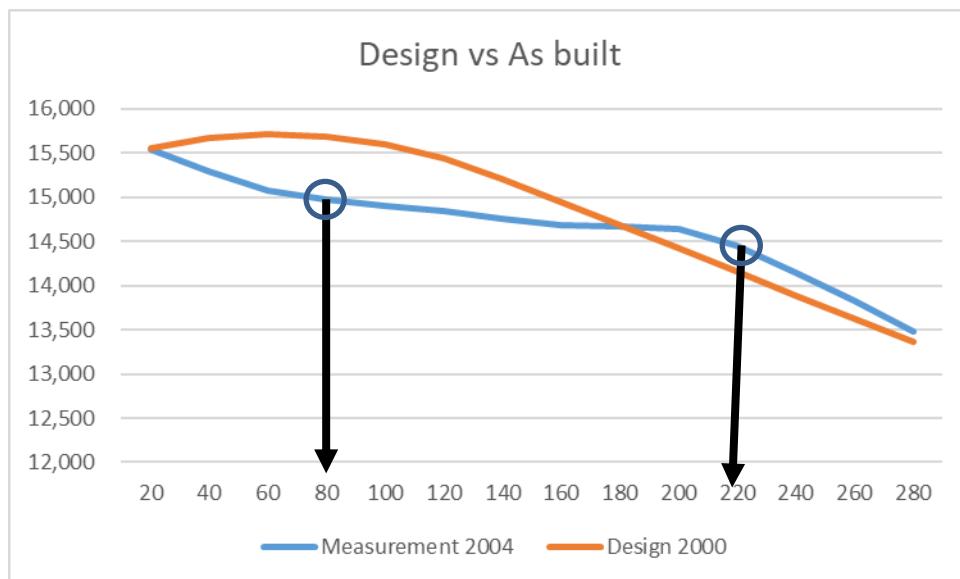
For the Bridge Upgrade Project services to perform the engineering are required. This specification is in line with the overall concept laid out in the proposal of July 2018. Coordination and detail information will be given upon the instruction to proceed.

Scope of Work anticipated for TEC

To understand the actual behavior of the structure it will be necessary to monitor the ambient vibration of the cables and the deck structure.

1. Deck Monitoring

On the deck acceleration shall be measured in 2 stations (refer to the figure below) in a synchronous mode. The sampling rate shall be 200Hz. Duration min 20 minutes, but there should be at least the passing of 1 heavy truck (random traffic) recorded.



Design (orange line) vs As Built (blue line)

It will be sufficient to have for each of the 2 positions one 3D accelerometer. They can be placed on the walkway on either side of the deck. Total time requirement 1 hour.

A detailed sketch and photos of the actual position with dimensions taken is to be provided.

2. Cable Monitoring

The vibration character of cables provides information on cable force and condition.

Therefore all 18 cables shall be monitored in the same way.

Accelerations in 2D are desired (vertical and horizontal to cable axis). Sampling rate 100Hz. Duration 5 min. More than 1 record is proposed. There shall be quiet sections but also passing of trucks recorded. It is advisable to perform 1 record with forced vibration created by a rope and manual tension to see displacements of about 50cm sag. (note: this is normally easy to achieve)

The sensors shall be placed approximately 4m away from the end of the steel protection pipe. Only one monitoring unit is required which will be transferred from cable to cable.

(Note 1: this will require a scaffolding or lifting device)

(Note 2: results are getting better if the distance to the piper is bigger. Attention of falling!)

Total time requirement approximately 8 hours if 1 instrument is available only.

A detailed sketch and photos of the actual position with dimensions taken is to be provided.



3. Data Evaluation

The raw data shall be transferred to VCE for BRIMOS evaluation. A report with details will be provided.

Helmut Wenzel, helmut.wenzel@wenzel-consult.com