



## **UNIVERSIDAD DE CUENCA**

**Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Civil**

### **Evaluación experimental y verificación teórica de la respuesta dinámica de uno de los puentes de Nulti, ubicados en la abscisa 7+670 de la autopista Cuenca-Azogues**

---

Trabajo de titulación previa a la obtención del  
título de Ingeniero Civil.

#### **Autores:**

Mayra Katherine Narváez Guamantari

CI: 0705997492

José Luis Zapata Poma

CI: 1104799430

#### **Director:**

Ing. Jaime Enrique García Alvear, Msc

CI: 0101967594

**Cuenca – Ecuador**

29/04/2019

## RESUMEN

En los últimos años, se ha incrementado la construcción de puentes y su importancia de estas estructuras en la infraestructura del país, surgiendo así la necesidad de monitorear su integridad estructural, detectar cambios causados por posibles daños sirviendo como base para futuros planes de mantenimiento.

En este trabajo se presenta la experiencia de evaluación aplicada a los puentes de Nulti ubicados en la abscisa 7 + 670 de la autopista Cuenca-Azogues, con el fin de determinar la posible presencia de daño. El daño se define como cambios en el material y/o propiedades geométricas, dinámicas, incluidos los cambios en las condiciones de contorno y la conectividad del sistema. Partiendo de la información del diseño de los puentes, se planteó el plan de evaluación, el cual consistió en una inspección visual, levantamiento topográfico para determinar sus deformaciones, consiguiente la modelación matemática de la estructura, y finalmente se realizó un monitoreo en campo de la respuesta del puente a las condiciones de operación normal. Este monitoreo, llamando así a la técnica de medición de vibraciones ambientales, siendo una de las técnicas no destructivas muy empleadas para la caracterización de las propiedades dinámicas de la estructura, se realizó en campo y posteriormente se procesó empleando técnicas como el análisis de Fourier a señales estocásticas, es decir en tiempo discreto, obteniendo parámetros dinámicos de interés como período fundamental y amortiguamiento. Como resultado de este estudio se obtuvieron las deformaciones actuales y parámetros dinámicos experimentales a partir de las actividades en campo; y las deformaciones y el período como uno de los parámetros dinámicos a partir de la modelación matemática, empleando las recomendaciones de la norma AASHTO. Finalmente, se plantea las respectivas comparaciones de los resultados experimentales y teóricos, y se pone énfasis en la variación de los parámetros dinámicos como principal indicador de daño de la estructura del puente, adicionando, la comparación de la deformación actual con las ya realizadas en años anteriores.

**Palabras claves:** Infraestructura. Monitoreo. Evaluación experimental. Daño estructural. Parámetros dinámicos. Análisis de Fourier. Señales estocásticas.

## ABSTRACT

In recent years, the construction of bridges and their importance of these structures in the country's infrastructure has increased, thus creating the need to monitor their structural integrity, detect changes caused by possible damages, serving as a basis for future maintenance plans.

This paper presents the evaluation experience applied to the Nulti bridges located on the 7 + 670 abscissa of the Cuenca-Azogues highway, in order to determine the possible presence of damage. Damage is defined as changes in material and/or geometric, dynamic properties, including changes in boundary conditions and system connectivity. Based on the design information of the bridges, the evaluation plan was proposed, which consisted of a visual inspection, topographic survey to determine its deformations, consequently the mathematical modeling of the structure, and finally a field monitoring of the Bridge response to normal operating conditions. This monitoring, calling the measurement technique of environmental vibrations, being one of the non-destructive techniques used to characterize the dynamic properties of the structure, was carried out in the field and later processed using techniques such as Fourier analysis. stochastic signals, that is, in discrete time, obtaining dynamic parameters of interest such as fundamental period and damping. As a result of this study, the current deformations and experimental dynamic parameters were obtained from the field activities; and the deformations and the period as one of the dynamic parameters from the mathematical modeling, using the recommendations of the AASHTO standard. Finally, the respective comparisons of the experimental and theoretical results are considered, and emphasis is placed on the variation of the dynamic parameters as the main indicator of damage to the bridge structure, adding, the comparison of the current deformation with those already made in years previous.

**Keywords:** Infrastructure. Monitoring. Experimental evaluation. Structural damage. Dynamic parameters. Fourier analysis. Stochastic signals.



## CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
2.1. TOPOGRAFÍA .....	17
2.2. MODELACIÓN .....	19
2.2.1. Introducción .....	19
2.2.2. Materiales .....	19
2.2.3. Geometría .....	20
2.2.3.1. Sección Transversal de los puentes de Nulti .....	20
2.2.3.2. Geometría del puente Nulti Sur .....	24
2.2.3.3. Geometría del puente Nulti Norte .....	25
2.2.4. DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CARGA .....	26
2.2.4.1. Carga Muerta.....	26
2.2.4.2. Carga viva .....	30
2.2.4.3. Combinaciones de carga y factores .....	32
2.2.4.4. Planteamiento de los modelos matemáticos .....	33
2.3. ANÁLISIS DE CAMPO .....	37
2.3.1. Equipos de medición .....	37
2.3.1.1. Sensores de velocidad .....	37
2.3.1.2. Sensores de aceleración.....	39
2.3.1.3. Analizador digital de señales.....	41
2.3.2. Esquema de monitoreo .....	42
2.3.3. Tratamiento de registros de vibraciones ambientales.....	43
2.3.3.1. Conversión de señales .....	44
2.3.3.2. Corrección de acelerogramas .....	44
2.3.3.3. Filtrado de señales .....	46
2.3.4. Determinación de las propiedades dinámicas de los puentes .....	49
2.3.4.1. Metodología para la obtención del Período Natural.....	53
2.3.4.2. Metodología para la obtención del amortiguamiento.....	54
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>55</b>
3.1. TOPOGRAFÍA .....	55
3.2. MODELACIÓN .....	63
3.2.1. Viga compuesta .....	63





3.2.2.	Puente Nulti Sur .....	63
3.2.3.	Puente Nulti Norte.....	64
3.3.	ANÁLISIS DE CAMPO .....	67
3.3.1.	Resultados obtenidos del geófono.....	67
3.3.2.	Resumen de resultados obtenidos de acelerogramas en Puentes NULTI SUR ...	68
3.3.3.	Resumen de resultados obtenidos de acelerogramas en Puentes NULTI NORTE	69
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	71
5.	REFERENCIAS .....	75
6.	ANEXOS .....	77
6.1.	<i>Espectros de Fourier y Parámetros Dinámicos Puentes Nulti Sur .....</i>	77
6.2.	<i>Acelerogramas Puentes Nulti Sur .....</i>	96
6.3.	<i>Espectros de Fourier y Parámetros Dinámicos Puentes Nulti Norte .....</i>	115
6.4.	<i>Acelerogramas Puentes Nulti Norte .....</i>	134

**TABLA DE CONTENIDO: ILUSTRACIONES**

<i>Ilustración 2.1. Ejes de puntos representativos para levantamiento Puente Nulti Sur. Fuente: Autores.</i>	18
<i>Ilustración 2.2. Ejes de puntos representativos para levantamiento Puente Nulti Norte. Fuente: Autores.</i>	18
<i>Ilustración 2.3. Secciones transversales de la superestructura de los puentes de Nulti. Fuente: Planos Puentes de Nulti.</i>	21
<i>Ilustración 2.4. Vigas metálicas con su respectiva contraflecha, antes de su colocación. Fuente: Campoverde, 2017.</i>	22
<i>Ilustración 2.5. Simbología de dimensiones de viga tipo I. Fuente: Autores.</i>	22
<i>Ilustración 2.6. Variación de las Secciones transversales de Viga. Fuente: Planos Puentes de Nulti.</i>	23
<i>Ilustración 2.7. Sección trasversal de carril modelado- Puente Nulti Sur. Fuente: Planos Puentes de Nulti.</i>	25
<i>Ilustración 2.8. Sección trasversal de carril modelado- Puente Nulti Norte. Fuente: Planos Puentes de Nulti.</i>	26
<i>Ilustración 2.9. Vista en planta del Diafragma, arriostramiento horizontal y rigidizadores verticales, a) Puente Nulti Sur, y b) Puente Nulti Norte. Fuente: Planos Puentes de Nulti.</i>	27
<i>Ilustración 2.10. Rigidizadores verticales de los puentes de Nulti. Fuente: Planos Puentes de Nulti.</i>	28
<i>Ilustración 2.11. Arriostramientos verticales del puente Nulti Sur. Fuente: Planos Puentes de Nulti.</i>	29
<i>Ilustración 2.12. Arriostramientos verticales del puente Nulti Norte. Fuente: Planos Puentes de Nulti.</i>	29
<i>Ilustración 2.13. Camión de diseño HL-93. FUENTE: AASHTO, 2002</i>	31
<i>Ilustración 2.14. Tándem de Diseño. FUENTE: AASHTO, 2002</i>	31
<i>Ilustración 2.15. Carga de carril de diseño</i>	32
<i>Ilustración 2.16. Modelo Viga de los puentes de Nulti. Fuente: Autores.</i>	34
<i>Ilustración 2.17. Modelo Puente Nulti Sur. a) Vista en planta, b) Vista isométrica superior, y c) Vista isométrica inferior. Fuente: Autores.</i>	35
<i>Ilustración 2.18. Modelo Puente Nulti Norte a) Vista en planta, b) Vista isométrica superior, y c) Vista isométrica inferior. Fuente: Autores.</i>	36
<i>Ilustración 2.19. Esquema de funcionamiento de un geófono</i>	39
<i>Ilustración 2.20. Geófono de velocidad, Fuente: Autores</i>	39
<i>Ilustración 2.21. Acelerógrafo modelo ETNA. Fuente: Autores.</i>	40
<i>Ilustración 2.22. Esquema de ubicación del Geófono. Fuente: Autores.</i>	43
<i>Ilustración 2.23. Esquema de ubicaciones del Acelerógrafo, a) Puente Nulti Sur, b) Puente Nulti Norte. Fuente: Autores.</i>	43
<i>Ilustración 2.24. a) Efecto del Ruido de alta frecuencia, b) Efecto del ruido de baja frecuencia. Fuente: (Hudson, 1979)</i>	47
<i>Ilustración 2.25. Comportamiento de los filtros ideales. Fuente: (Hudson, 1979)</i>	48
<i>Ilustración 2.26. Densidad Espectral de Fourier del acelerograma en el eje x del Apoyo 6 en puente Nulti Sur, a) Sin filtro, b) Filtro en el rango de frecuencias de 0.3-10Hz. Fuente: Autores.</i>	49
<i>Ilustración 2.27. Comparación de resultados de aceleración, velocidad y desplazamiento, sin corrección. a) Software SeismoSignal, b) Programa en Matlab. Fuente: Autores.</i>	51
<i>Ilustración 2.28. Comparación de señal: a) Original, b) Corregida y Filtrada. Fuente: Autores.</i>	52
<i>Ilustración 3.1. Disposición inicial de la contra flecha del Puente Nulti Sur.</i>	55
<i>Ilustración 3.2. Disposición inicial de la contra flecha del Puente Nulti Norte.</i>	55
<i>Ilustración 3.3. Superficie Topográfica Puentes Nulti Sur.</i>	56
<i>Ilustración 3.4. Borde Izquierdo (Puente 1 Sur) vía Azogues-Cuenca</i>	57
<i>Ilustración 3.5. Borde Derecho (Puente 1 Sur) vía Azogues-Cuenca</i>	57
<i>Ilustración 3.6. Borde Izquierdo (Puente 2 Sur) vía Cuenca-Azogues</i>	58
<i>Ilustración 3.7. Borde Derecho (Puente 2 Sur) vía Cuenca-Azogues</i>	58
<i>Ilustración 3.8. Superficie Topográfica Puentes Nulti Norte</i>	59

<i>Ilustración 3.9. Borde Izquierdo (Puente 1 Norte) vía Azogues-Cuenca.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 3.10. Borde Derecho (Puente 1 Norte) vía Azogues-Cuenca.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 3.11. Borde Izquierdo (Puente 2 Norte) vía Cuenca-Azogues.....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 3.12. Borde Derecho (Puente 2 Norte) vía Cuenca-Azogues.....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 3.13. Capa de asfalto máxima debida al recapeo. Fuente. Campoverde, 2017.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 3.14. Desplazamiento Puente Nulti Sur por estado límite de Servicio I. Fuente: Autores. ....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 3.15. Desplazamiento puente Nulti Norte por estado límite de Servicio I. ....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 16: Viga de sección compuesta para cálculo de deformaciones a largo plazo.....</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 3.17. Cociente espectral H/V para obtención de la frecuencia natural del suelo aledaño a los puentes de Nulti, (Fuente: Autores, obtenido del Programa Geopsy).....</i>	<i>68</i>

## **TABLA DE CONTENIDO: TABLAS**

<i>Tabla 2.1. Características de la Estación Total TRIMBLE R5. Fuente: Manual del equipo.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2.2. Especificaciones técnicas de hormigón armado. Fuente: Memoria de cálculo Puentes de Nulti.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 2.3. Especificaciones técnicas de Acero A558. Fuente: Memoria de cálculo Puentes de Nulti. ....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 2.4. Especificaciones técnicas de Acero A36. Fuente: Memoria de cálculo Puentes de Nulti.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 2.5. Dimensiones de secciones de viga. Fuente: Planos Puentes de Nulti. ....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 2.6. Características Geométricas Superestructura del puente Nulti Sur. Fuente: Planos Puentes de Nulti.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 2.7. Características Geométricas del puente Nulti Norte. Fuente: Planos Puentes de Nulti. ....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 2.8. Carga muerta (DC y DW). Fuente: Memoria de cálculo Puentes de Nulti. ....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 2.9. Valores de Carga de Camión de Diseño y Sobrecarga de Camión. Fuente: (AASHTO, 2002). ....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 2.10. Características del sensor vertical. Fuente: Manual Geófono. ....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 2.11. Características del acelerógrafo ETNA. Fuente: Manual acelerógrafo Etna. ....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 2.12. Características del Analizador Digital de Señales .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 2.13. Características adaptadas en el Analizador Digital de Señales .....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 2.14. Contenido de frecuencias de acuerdo al tipo de análisis en estructuras. (Parra, 2001).....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 3.1. Resumen de contra flechas y deflexiones medidas en los puentes de Nulti.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 3.2. Deformación de una viga debido a su peso propio.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 3.3. Resultados de las deformaciones instantáneas y a largo plazo de los puentes de Nulti. ....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 3.4. Resumen de los resultados obtenidos de los acelerogramas para el puente Nulti Sur. ....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 3.5. Resumen de los resultados obtenidos de los acelerogramas para el puente Nulti Norte. ....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 3.6. Resultados de amortiguamientos en los puentes de Nulti.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 3.7. Comparación de amortiguamientos. Fuente: Autores. ....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 4.1: Deformaciones obtenidas del levantamiento topográfico. ....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 4.2: Resumen de deformaciones obtenidas del modelo.....</i>	<i>73</i>

### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Mayra Katherine Narváez Guamtari en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación experimental y verificación teórica de la respuesta dinámica de uno de los puentes de Nulti, ubicados en la abscisa 7+670 de la autopista Cuenca-Azogues", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de abril de 2019



Mayra Katherine Narváez Guamtari

C.I.: 0705997492



### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

José Luis Zapata Poma en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación experimental y verificación teórica de la respuesta dinámica de uno de los puentes de Nulti, ubicados en la abscisa 7+670 de la autopista Cuenca-Azogues", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de abril de 2019

José Luis Zapata Poma

C.I: 1104799430



### Cláusula de Propiedad Intelectual

Mayra Katherine Narváez Guamantari, autora del trabajo de titulación “Evaluación experimental y verificación teórica de la respuesta dinámica de uno de los puentes de Nulti, ubicados en la abscisa 7+670 de la autopista Cuenca-Azogues”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 24 de abril de 2019

Mayra Katherine Narváez Guamantari

C.I: 0705997492

### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

José Luis Zapata Poma, autor del trabajo de titulación "Evaluación experimental y verificación teórica de la respuesta dinámica de uno de los puentes de Nulti, ubicados en la abscisa 7+670 de la autopista Cuenca-Azogues", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 24 de abril de 2019

  
José Luis Zapata Poma

C.I: 1104799430



## **AGRADECIMIENTO**

A mi madre Mercedes y hermana Ruth que, sin su apoyo y amor incondicional, nada de esto hubiese sido posible, siempre ahí en las buenas y malas. Mamita gracias por ser ejemplo de lucha y de perseverancia.

A mi tía Teresa y su familia, que fueron un pilar fundamental para alcanzar este logro académico, siempre pendientes de mi bienestar y dispuestas a brindar su cariño y apoyo, apoyo que en muchas ocasiones evitó que trunque mis aspiraciones. Por todo eso mil gracias.

***José Luis Zapata Poma***





## **DEDICATORIA**

A mi madre Mercedes mi inspiración de vida, por el esfuerzo, trabajo y apoyo incansable, por su amor incondicional brindado en todos estos años, gracias a usted he logrado este sueño que nació en mí a temprana edad y siempre estuvo ahí para darme fortaleza y nunca dejar de creer en mí.

A mi hermana Ruth por su cariño y apoyo permanente, durante todo este proceso, por hacerme sentir apoyado en todo momento gracias. A toda mi familia por sus palabras de aliento consejos hicieron de mí una mejor persona y de una u otro forma me acompañan en mis sueños y metas.

***José Luis Zapata Poma***



## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a mi familia que han sido mi gran motivo para seguir adelante, una parte importante en mi vida, y mi mejor ejemplo de esfuerzo, mis padres Miriam Guamantari y Freddy Narváez, mis hermanos Eddy Narváez y Paúl Narváez, mi tío Alfonso Guamantari y abuelo Miguel Guamantari, por su amor, apoyo y confianza en todo momento, por sembrar valores que me han formado como mejor persona, y sobre todo por darme ánimos, enseñarme a levantar y luchar hasta conseguir mis metas.

A mis amigos que, durante estos años en la universidad, no han hecho faltar sus ánimos y sus consejos, por estar presentes y compartir momentos buenos como malos, y por permitirme junto a ellos alcanzar una de mis metas, la de convertirme en profesional.

A mi persona especial, quien ha sido mi compañía y mi apoyo, quien me ha enseñado a reírle a los momentos malos.

A mis profesores, que en general, he admirado y respetado por su excelente enseñanza y dedicación para formar profesionales en esta hermosa carrera como lo es la Ingeniería Civil.

*Mayra Katherine Narváez*



## DEDICACIÓN

Dedico este trabajo a mis padres Miriam Guamantari y Freddy Narváez, que, desde el inicio de mi carrera, han confiado en mí, ayudándome a crecer como persona responsable, y por permitirme demostrarles que soy capaz y que el camino que he elegido ha sido por ellos.

*Mayra Katherine Narváez*

## 1. INTRODUCCIÓN

La vía rápida Cuenca-Azogues constituye un elemento de conexión fundamental entre las ciudades de Cuenca y Azogues, con un número aproximado de usuarios diarios de 28000 vehículos/día/carril (Tráfico promedio diario anual, TPDA), (Muñoz, 2013). Los puentes de Nulti son elementos de esta vía, y su óptimo desempeño estructural como soporte ante las cargas vehiculares se garantiza con el cumplimiento de la norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), que establecen parámetros y limitaciones para el correcto diseño y construcción de los puentes para así precautelar la seguridad y comodidad de los usuarios. Los puentes fueron construidos en el año 2008, y actualmente muestran evidencias de posibles problemas estructurales, como por ejemplo: vibración excesiva y notorias deformaciones; deformaciones que deben guardar relación con los límites permitidos por la norma ( $1/1000$  de la luz del puente), (AASHTO, 2014); así también se evidencian discrepancias entre los aspectos constructivos de los elementos del puente y los diseños mostrados en planos entregados por el entonces MOP (Ministerio de Obras Públicas) actual MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas).

Desde su construcción, los puentes presentan los problemas antes mencionados y hasta la actualidad no han sido analizados para dar una solución definitiva, únicamente se ha tratado de evitar que continúe su deformación.

Actualmente, no existe una normativa nacional que enfoque la evaluación de puentes empleando métodos experimentales como la medición de vibraciones ambientales, sin embargo, existen teorías y metodologías desarrolladas aplicadas en países como Chile, México, Japón, Estados Unidos, un ejemplo es la teoría propuesta por Midorikawa resultado de un estudio que realizó para edificios de Chile 1990, plantea relaciones para la determinación de parámetros dinámicos de las estructuras a partir de vibraciones ambientales medidas en la superficie de la estructura. Considera la variabilidad de los niveles de vibración ambiental y plantea la hipótesis: con el tiempo los coeficientes espectrales y el período predominante de la estructura se mantienen invariables.

De los resultados obtenidos en los países donde se aplicó este método ha resultado ser efectivo para el estudio del comportamiento de edificaciones y puentes, en nuestro país se utilizó el método en trabajos realizados por la Universidad de Cuenca como: “Respuesta Elástica de Sistemas Estructurales sometidos a la acción sísmica”, “Determinación de periodo y amortiguamiento de edificios de la ciudad de Cuenca, mediante vibraciones ambientales” (Parra, 2001), “Estudio de la respuesta dinámica ante sollicitaciones de impacto y cargas de servicio en puentes tipo de la provincia del Azuay” (Barrera, 2001). En puentes el método sirve para determinar el periodo natural y amortiguamiento de la estructura e indirectamente la rigidez y deformaciones que podría alcanzar el puente.

El objeto de este trabajo es evaluar el estado actual de uno de los puentes de Nulti elegido en función de su deflexión (mayor), mediante la determinación de parámetros dinámicos utilizando modelos matemáticos, y compararlos con los parámetros de diseño; estos parámetros serán sujeto de análisis para determinar su influencia en la respuesta dinámica ante cargas verticales de tránsito, los cuales permitirán verificar que las consideraciones de diseño cumplan con los límites establecidos con la norma AASHTO, y dar un criterio técnico del estado actual y desempeño futuro.

### Objetivo general

Determinar experimentalmente los parámetros dinámicos de uno de los puentes de Nulti, para el estudio de la respuesta dinámica y evaluar el diseño y estado actual bajo consideraciones planteadas en las normas AASHTO

**Objetivos específicos**

- Realizar un levantamiento topográfico de los puentes de Nulti.
- Realizar el modelamiento matemático mediante un software de cálculo estructural, con el fin de simular la respuesta dinámica del puente.
- Realizar mediciones en campo mediante sensores de velocidad y aceleración, aplicando métodos de excitación de la vibración.
- Analizar los resultados de vibraciones obtenidos en los ensayos experimentales.
- Determinar los parámetros dinámicos más importantes como son: período natural de vibración y amortiguamiento de la estructura.
- Comparar los resultados del modelo matemático con las obtenidas por experimentación.
- Evaluar y verificar el diseño y estado constructivo actual del puente en base especificaciones dadas en las normas AASHTO.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las deformaciones son las principales indicadores del estado de una estructura; así para la selección, modelación y análisis de los puentes de Nulti se realizó el levantamiento topográfico de los dos puentes, de manera que se evaluó el puente con la mayor deflexión, en el cual se analizó el período de vibración y amortiguamiento de manera experimental actual que su vez ha sido comparado con el período correspondiente a las condiciones de diseño. Los resultados obtenidos se muestran en detalle a continuación.

### 2.1. TOPOGRAFÍA

Los puentes de Nulti presentan deflexiones notorias, por ello, se consideró realizar un levantamiento topográfico con el fin de medir deflexiones, con estos resultados elegimos el puente de mayor deflexión.

#### MATERIALES:

El levantamiento se realizó mediante el empleo de la Estación Total Trimble R5, sus características se muestran en la Tabla 2.1.

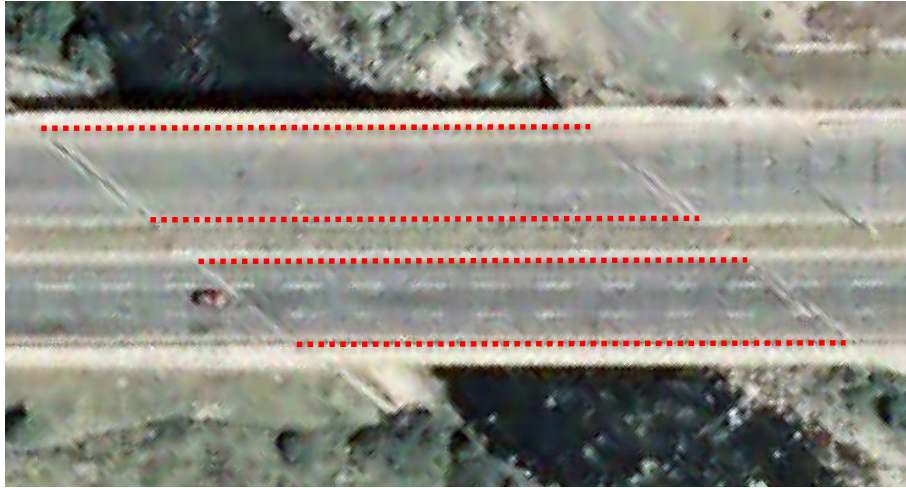
CARACTERÍSTICA	VALOR
Aumento en óptica	30X
Medición con Prisma	5,000 metros
Medición sin Prisma	400 metros
Capacidad de Almacenamiento	120,000 puntos
Plomada	Láser
Puertos de comunicación	1 serial (RS -232C), 2 puertos USB

*Tabla 2.1. Características de la Estación Total TRIMBLE R5. Fuente: Manual del equipo.*

#### MÉTODO:

Los levantamientos topográficos son una representación de las características del terreno, contienen detalles de planta y elevación que se grafican y dibujan a escala sobre papel. El método de campo a utilizar depende de múltiples factores entre los cuales están: área de estudio, escala del mapa, tipo de terreno equidistancia de curvas de nivel, equipo disponible entre otros. De entre los métodos más comunes tenemos el método de la cuadrícula, método de las secciones transversales y método de radiación. El método que se utilizó para el levantamiento fue el de radiación, se lo puede realizar con estación total y teodolito, consiste en determinar la ubicación de todos los puntos de interés a partir de radiaciones originadas de un punto fijo llamada estación base, los puntos quedan grabados automáticamente por sus coordenadas, en un archivo con formato ASCII en la libreta de campo electrónica con la que cuenta la estación total.

Para la definición de los puntos representativos se consideró factible aquellos ubicados a lo largo de los extremos de cada vía dentro la longitud del puente, tal como se representa en Ilustración 2.1 e Ilustración 2.2. Luego, con las coordenadas  $(x, y, z)$  se crearon las curvas de nivel para posteriormente obtener un perfil que nos muestran las deformaciones, este procedimiento se realizó para los dos puentes.



*Ilustración 2.1. Ejes de puntos representativos para levantamiento Puente Nulti Sur. Fuente: Autores.*



*Ilustración 2.2. Ejes de puntos representativos para levantamiento Puente Nulti Norte. Fuente: Autores.*

## 2.2. MODELACIÓN

### 2.2.1. Introducción

Un puente consta principalmente de dos partes: infraestructura y superestructura. La superestructura consta de: tableros, vigas, arcos, cables, bóvedas, que son los encargados de transmitir las cargas del tablero a los apoyos, mientras que la infraestructura está conformada generalmente por pilares, estribos y cimientos. En el presente capítulo se tiene por objeto realizar un análisis de los puentes (Nulti Sur y Nulti Norte) en lo que respecta a deformaciones de la superestructura de los puentes, así como también la determinación del periodo natural ( $T_n$ ) como uno de los parámetros dinámicos, mediante un modelo matemático.

La modelación fue realizada en el programa CSIBRIDGE, Para este fin la información de referencia utilizada fue: memoria descriptiva, memoria de cálculo, y planos. Esta información fue contrastada con los datos obtenidos de la inspección en campo, para de esta manera realizar un modelo lo más cercano a la realidad. De los diseños y memoria de cálculo se obtuvo: la geometría, tipo de materiales de los distintos elementos que conforman la superestructura. Para el modelo, se tomaron en cuenta las recomendaciones dadas en las especificaciones "AASHTO" (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Cabe recalcar, que no se realizaron verificaciones de estabilidad de los elementos de acero.

La superestructura de los puentes de Nulti tanto Norte y Sur, cada uno está conformado por dos tableros, uno que permite el tránsito vehicular de cuenca – Azogues y el otro Azogues - cuenca. En ambos puentes los dos tableros tienen características y geometría idénticos y cuentan con esviaje, razón por la cual se consideró para la modelación un tablero de cada puente. Los tableros del puente Nulti Sur son rectos, mientras que los tableros del puente Nulti Norte tienen curvatura, el esviaje es distinto en cada uno de los dos apoyos.

El análisis de las deformaciones se realizó en dos etapas. Como primera etapa se consideró la deformación debido a peso propio que debió ocurrir en las vigas en el momento de su colocación. Para la obtención de esta deformación se modeló en el programa SAP2000 una sola viga considerando su variación a lo largo de la luz del puente y, por lo tanto, su variación en la rigidez, con esto obtenemos una deformación inicial. En la segunda etapa se obtuvo la deformación total producida por las solicitaciones debidas a carga de servicio a las que estarán sometidos los puentes desde su apertura hasta la fecha. Finalmente, los resultados se compararon con los resultados de la evaluación experimental realizada y la deformación medida in situ mediante un levantamiento topográfico.

### 2.2.2. Materiales

Los materiales utilizados para la modelación de la superestructura de ambos puentes que se enlistan a continuación, cabe resaltar que las propiedades de los materiales para la modelación se tomaron de la memoria de cálculo.

Las losas que conforman los tableros según las especificaciones técnicas son de hormigón armado, con barras corrugadas de acero que tienen un esfuerzo de fluencia de 4200 kg/cm<sup>2</sup>, ver especificaciones técnicas en la Tabla 2.2. Las veredas, protecciones y bordillo central también han sido construidas con hormigón de la misma resistencia.



**HORMIGÓN**

CARACTERÍSTICA	SIMBOLOGÍA	MAGNITUD	UNIDAD
Esfuerzo de fluencia	$f'_c =$	280	Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de rotura	$f_r =$	33	Kg/cm <sup>2</sup>
Peso específico	$\gamma_{ho} =$	2400	kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E =$	252671	kg/cm <sup>2</sup>
Coeficiente de poisson	$\mu =$	0.2	
Coeficiente de expansión térmico	$\alpha =$	9.90E-06	°C-1

Tabla 2.2. Especificaciones técnicas de hormigón armado. Fuente: Memoria de cálculo Puentes de Nulti.

Las vigas metálicas según las especificaciones técnicas se utilizó acero ASTM A-588. Ver especificaciones técnicas en la Tabla 2.3.

**ACERO ASTM A588**

CARACTERÍSTICA	SIMBOLOGÍA	MAGNITUD	UNIDAD
Esfuerzo de fluencia	$f_y =$	3500	Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo de rotura $f_u$	$f_u =$	4900	Kg/cm <sup>2</sup>
Peso específico	$\gamma_{ac} =$	7850	kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E =$	2038901.9	kg/cm <sup>2</sup>
Coeficiente de poisson	$\mu =$	0.3	
Coeficiente de expansión térmico	$\alpha =$	1.17E-05	°C-1

Tabla 2.3. Especificaciones técnicas de Acero A588. Fuente: Memoria de cálculo Puentes de Nulti.

Para los rigidizadores y arriostramientos según las especificaciones técnicas se utilizó acero ASTM A-36. Ver especificaciones técnicas de la Tabla 2.4.

**ACERO ASTM A36**

CARACTERÍSTICA	SIMBOLOGÍA	MAGNITUD	UNIDAD
Esfuerzo de fluencia	$f_y =$	2500	Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo de rotura $f_u$	$f_u =$	4000	Kg/cm <sup>2</sup>
Peso específico	$\gamma_{ac} =$	7850	kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E =$	2038901.9	kg/cm <sup>2</sup>
Coeficiente de poisson	$\mu =$	0.3	
Coeficiente de expansión térmico	$\alpha =$	1.17E-05	°C-1

Tabla 2.4. Especificaciones técnicas de Acero A36. Fuente: Memoria de cálculo Puentes de Nulti.

**2.2.3. Geometría****2.2.3.1. Sección Transversal de los puentes de Nulti**

Los puentes de Nulti son puentes encajados, simplemente apoyados, con tres carriles de circulación en cada sentido, salvan una luz de 70 m sobre el río Cuenca. Están conformados de dos aceras una en cada borde del puente, además inicialmente los puentes se construyeron con un parterre central, formado por una losa prefabricada de dos metros de ancho y 25 cm de espesor, sobre la losa posaba una capa de suelo, vegetación y los postes de alumbrado público. El parterre central fue demolido y actualmente queda únicamente el acero de refuerzo inferior de la losa (ver Ilustración 2.3). La sección transversal de la superestructura del puente es de tipo mixta, esto significa que sus vigas son de acero de

perfil I, estas vigas son de sección (peralte) variable a lo largo de la luz del puente, siendo mayor el peralte en el centro del vano y mínimo en los apoyos, además sobre las vigas se apoya una losa de hormigón armado. Estos dos elementos se encuentran unidos de tal manera que puedan comportarse como un solo elemento ante las solicitaciones de carga a las cuales estarán sometidos a lo largo de su vida útil.

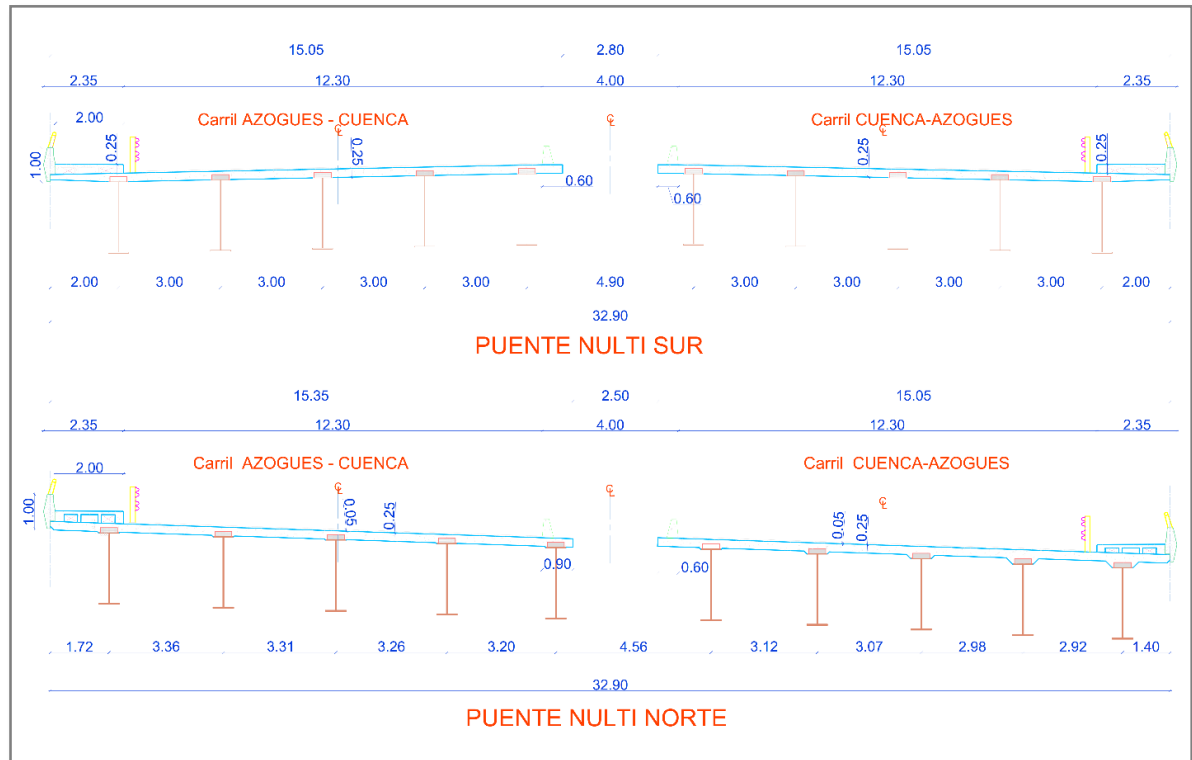


Ilustración 2.3. Secciones transversales de la superestructura de los puentes de Nulti. Fuente: Planos Puentes de Nulti.

## VIGAS

En los puentes de Nulti tanto Norte como Sur, cada tablero esta soportado por 5 vigas. Todas las vigas cumplen una misma geometría. Estas vigas son de sección variable en cuanto a su peralte, el ancho de los patines superiores (bts) y patines inferiores (bti1) es de 60 cm. Sin embargo, La viga se encuentra reforzada en la parte inferior por placas, las dimensiones de estas placas varían a lo largo de la luz del puente de la siguiente manera: desde los apoyos hasta los 2m los patines tienen un ancho (bfs1) de 60cm, y a partir de este tramo se agregan dos placas de refuerzo en el patín inferior variando sus dimensiones de ancho y espesor a lo largo de la luz del puente como se muestra en la Ilustración 2.5 e Ilustración 2.6. Sin embargo, debido a que en el programa SCIBridge no se puede ingresar más de una placa de refuerzo en cada patín, se procedió a calcular un espesor y ancho equivalente como se muestra en la Tabla 2.5.



Ilustración 2.4. Vigas metálicas con su respectiva contraflecha, antes de su colocación. Fuente: Campoverde, 2017.

La parte superior de la viga mostrada en la Ilustración 2.4 corresponde a la contraflecha de 20.8cm en el centro de la luz del puente, que de acuerdo a los planos de los Puentes de Nulti, es igual para ambos puentes Norte y Sur. La contraflecha de la viga corresponde a la deformación esperada en el puente debido a cargas de servicio.

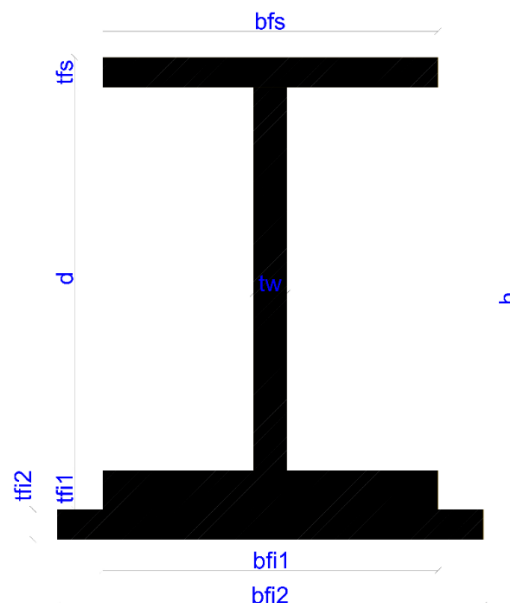


Ilustración 2.5. Simbología de dimensiones de viga tipo I. Fuente: Autores.

Las dimensiones de las secciones de vigas de acero tipo I que conforman la viga compuesta son las mismas para ambos puentes. La viga de sección compuesta está formada por 7 secciones diferentes, las dimensiones del peralte varían de tal forma que se tiene un peralte menor en los apoyos y una dimensión mayor en el centro de la luz del puente (ver Ilustración 2.6), estas dimensiones se muestran de manera detallada en la Tabla 2.5.

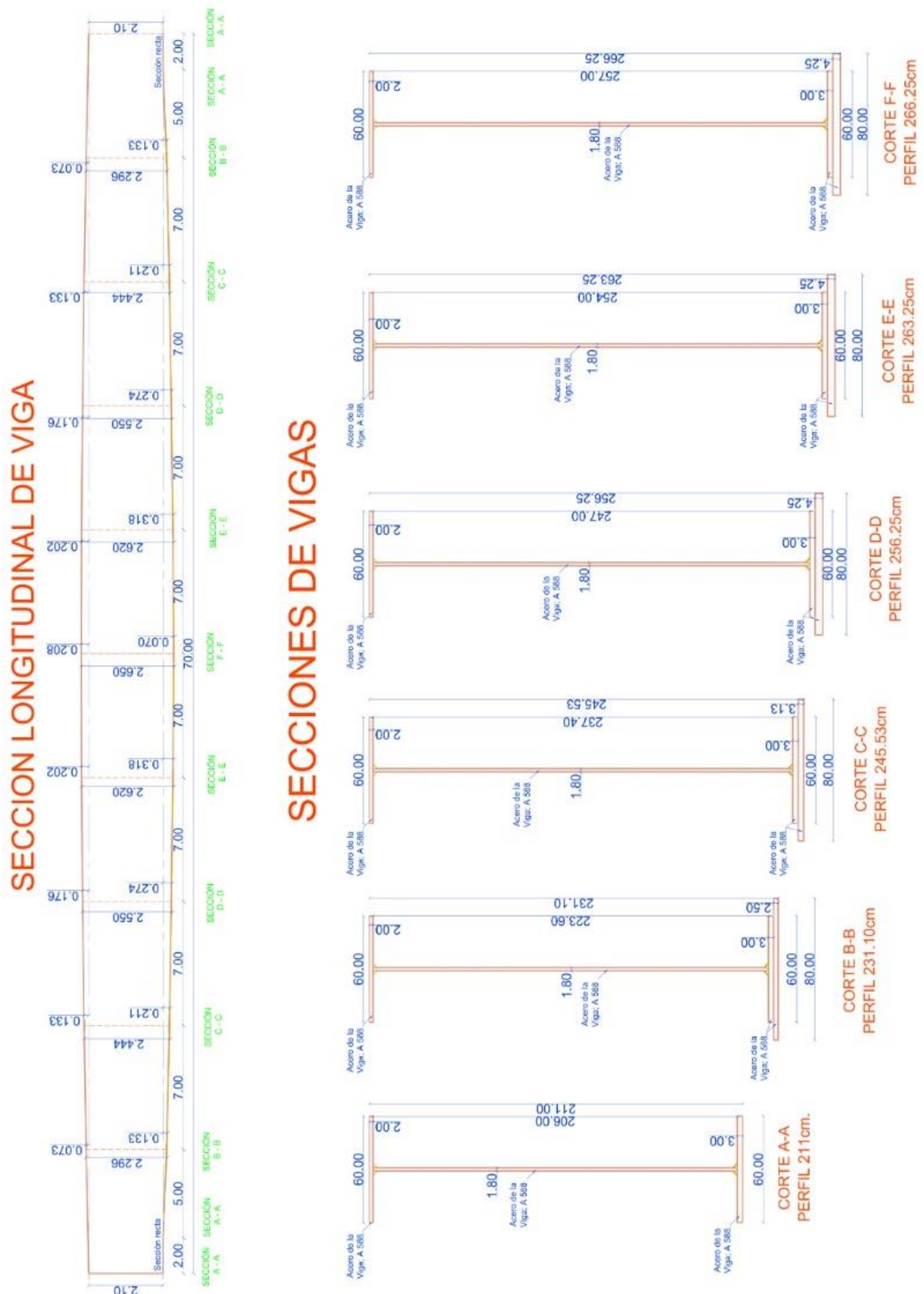


Ilustración 2.6. Variación de las Secciones transversales de Viga. Fuente: Planos Puentes de Nulti.

SECCIÓN DE VIGAS								
Descripción	Simb.	unidad	A-A	B-B	C-C	D-D	E-E	F-F
Peralte	h	Cm	210	226.10	240.53	251.25	258.25	261.25
Altura del alma	d	Cm	205	223.6	237.4	247	254	257
Espesor del alma	tw	Mm	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Ancho del patín superior	bfs	Cm	60	60	60	60	60	60
Espesor del patín superior	tfs	Mm	2	2	2	2	2	2
Ancho 1 del patín inferior	bfi1	Cm	60	60	60	60	60	60
Espesor 1 del patín inferior	tfi1	Mm	3	3	3	3	3	3
Ancho 2 del patín inferior	bfi2	Cm	80	80	80	80	80	80
Espesor 2 del patín inferior	tfi2	Mm	0	2.50	3.13	4.25	4.25	4.25

Tabla 2.5. Dimensiones de secciones de viga. Fuente: Planos Puentes de Nulti.

**NOTA:** El espesor de los patines superiores en la memoria de cálculo son de 1 cm. Sin embargo, en la inspección de campo realizada, se constató que el espesor del patín superior es de 2cm.

A continuación, se presenta la geometría con la que fueron modelados cada uno de los puentes de Nulti.

### 2.2.3.2. Geometría del puente Nulti Sur

El puente Nulti sur atraviesa el rio Cuenca en un tramo recto de la autopista Cuenca Azogues. El rio en ese tramo no es perpendicular a la vía por lo que el puente ha sido construido con un esviaje de 40° tanto en el apoyo izquierdo como en el apoyo derecho, en la Tabla 2.6 se presentará con detalle las características geométricas de la superestructura del puente.

CARACTERÍSTICA	SIMBOLOGÍA	MAGNITUD	UNIDAD
Luz del puente	L	70.00	m
Ancho total de la calzada	WT	32.90	m
Ancho de la acera	W_acera	2.00	m
Espesor de la acera	e_acera	0.25	m
Ancho de la baranda de protección	W_baranda	0.50	m
Ancho de carril	W_carril	3.60	m
Ancho de calzada	W_calzada	12.30	m
Espesor de losa de Ho	e_losa	0.25	m
Ancho de tablero	W_tablero	15.05	m
Ancho de parterre	W_part	4.00	m
Separación entre tableros	S_tab	2.80	m
Número de vigas/tablero	Nv	5.00	u
Separación entre vigas/tablero	S	3.00	m
Ancho de capa de rodadura	W_rod	11.80	m
Espesor de capa de asfalto	e_asf	0.12	m

Tabla 2.6. Características Geométricas Superestructura del puente Nulti Sur. Fuente: Planos Puentes de Nulti.

### Carril AZOGUES - CUENCA

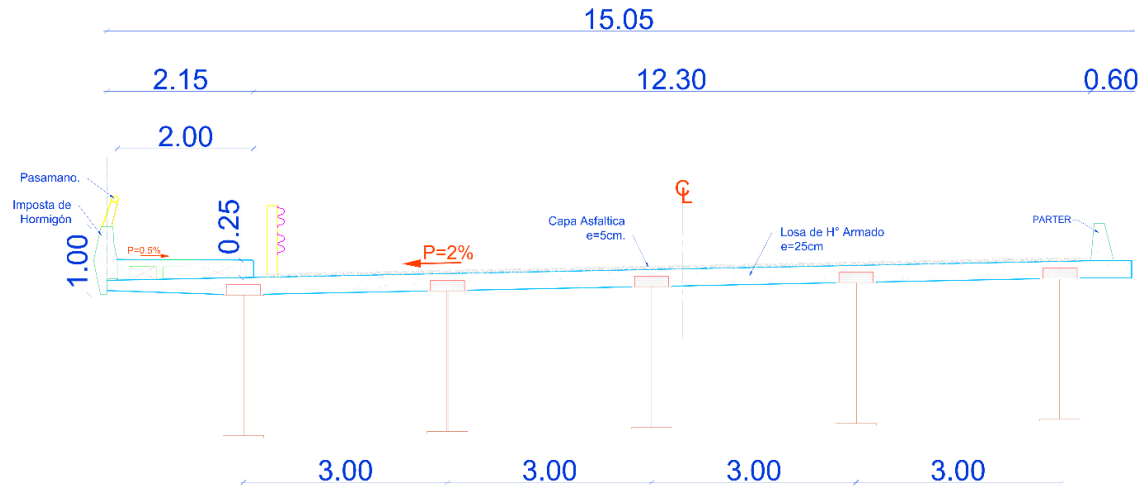


Ilustración 2.7. Sección transversal de carril modelado- Puente Nulti Sur. Fuente: Planos Puentes de Nulti.

#### 2.2.3.3. Geometría del puente Nulti Norte

El puente Nulti Norte atraviesa el río Cuenca en un tramo recto de la autopista Cuenca Azogues. El río en ese tramo no es perpendicular a la vía por lo que el puente ha sido construido con un esviaje en el estribo izquierdo es de  $56^\circ$  mientras que en el estribo derecho tiene un esviaje de  $47^\circ$ . En la Tabla 2.7 se presentará con detalle las características geométricas de la superestructura del puente.

CARACTERÍSTICA	SIMBOLOGÍA	MAGNITUD	UNIDAD
Luz del puente	L	70.00	m
Ancho total de la calzada	WT	32.90	m
Ancho de la acera	W acera	2.00	m
Espesor de la acera	e_acera	0.25	m
Ancho de la baranda de protección	W baranda	0.50	m
Ancho de carril	W_carril	3.60	m
Ancho de calzada	W_calzada	12.30	m
Espesor de losa de Ho	e_losa	0.25	m
Ancho de tablero	W_tablero	15.35	m
Ancho de parterre	W_part	4.00	m
Separación entre tableros	S_tab	2.80	m
Número de vigas/tablero	Nv	5.00	u
Separación entre vigas/tablero	S	variable	m
Ancho de capa de rodadura	W_rod	11.80	m
Espesor de capa de asfalto	e_asf	0.12	m

Tabla 2.7. Características Geométricas del puente Nulti Norte. Fuente: Planos Puentes de Nulti.

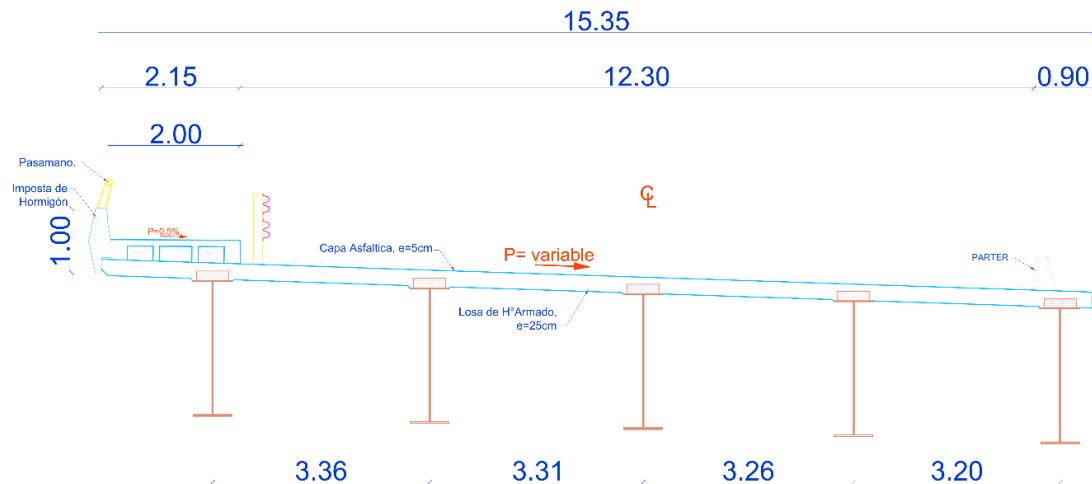
**Carril AZOGUES - CUENCA**

Ilustración 2.8. Sección transversal de carril modelado- Puente Nulti Norte. Fuente: Planos Puentes de Nulti.

**2.2.4. DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CARGA**

Las cargas que se utilizaron para la modelación son las que tienen mayor incidencia en nuestro medio, A continuación, se presentan más a detalle las cargas consideradas.

**2.2.4.1. Carga Muerta**

Se considera como carga muerta (DC + DW), al peso de toda la superestructura, instalaciones y acabados y este tipo de carga es permanente (AASHTO, págs. 3-8 Art. 3.3.2), por lo que interviene en la combinación de carga que se utilizó.

Donde:

- DC es el peso propio de los componentes estructurales y accesorios no estructurales.
- DW es el peso de todos los elementos no estructurales como: capa de rodadura, postes, barandas, tuberías, ductos, cables y veredas.

Para el cálculo de la carga muerta se tomó en cuenta el peso propio debido a: 5 Vigas, 1 losa de hormigón, capa de rodadura, acera, baranda de protección de tráfico y baranda de protección peatonal ubicados en la parte izquierda del tablero, y bordillo ubicado en la parte derecha del tablero como se muestra en la Ilustración 2.7. Adicional a esto se consideró la carga muerta debido a los arriostramientos horizontales, diafragmas horizontales y rigidizadores verticales. Los detalles de los rigidizadores verticales tanto como los diafragmas verticales y horizontales se presentan de la Ilustración 2.9 a la Ilustración 2.12.

Tanto los diafragmas horizontales, arriostramientos y rigidizadores verticales se encuentran espaciados a 7 metros. La disposición de los diafragmas horizontales, rigidizadores verticales y arriostramientos verticales empiezan en los apoyos y a partir de ahí tienen el mismo espaciamiento (7m), dando un total de 11 elementos a lo largo de los puentes. Además, existen dos rigidizadores intermedios entre diafragmas horizontales, dando un total de 40 rigidizadores a lo largo de cada una de las 5 vigas. Los arriostramientos horizontales empiezan en los extremos de cada diafragma horizontal, para el puente Nulti Sur estos arriostramientos tienen las mismas dimensiones, mientras que para el caso del puente Nulti Norte sus dimensiones varían a lo largo de toda la luz.



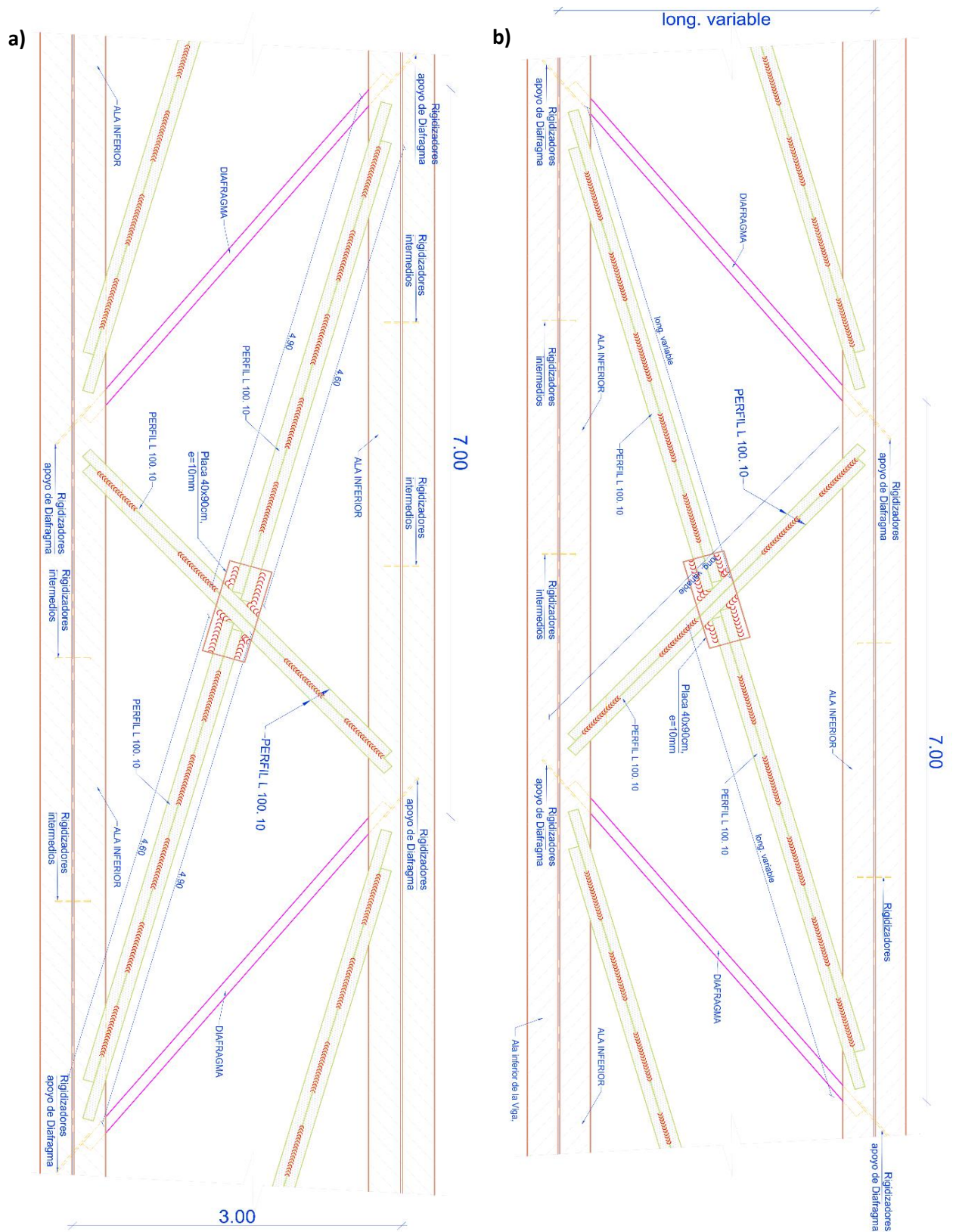


Ilustración 2.9. Vista en planta del Diafragma, arriostramiento horizontal y rigidizadores verticales, a) Puente Nulti Sur, y b) Puente Nulti Norte. Fuente: Planos Puentes de Nulti.



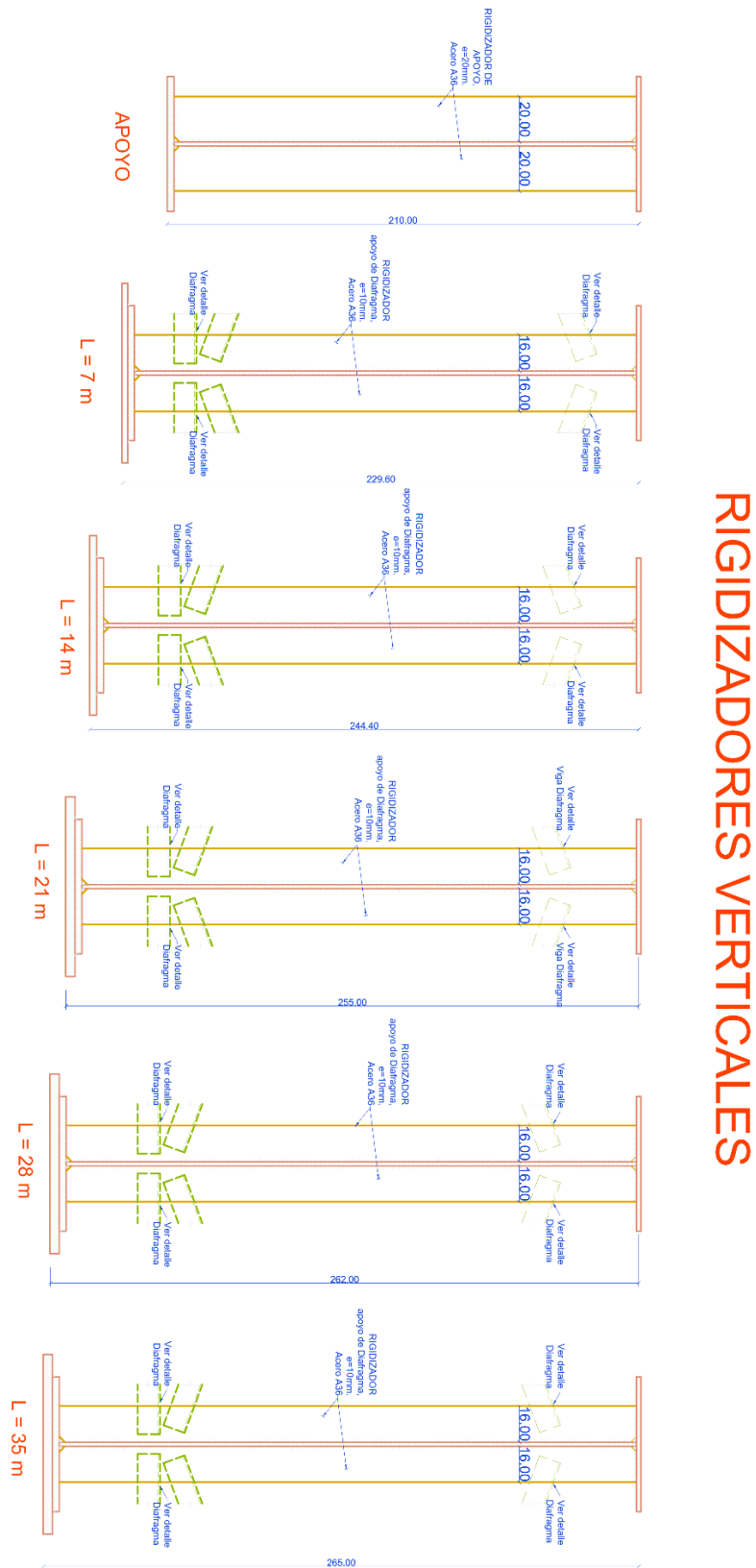


Ilustración 2.10. Rigidizadores verticales de los puentes de Nulti. Fuente: Planos Puentes de Nulti.

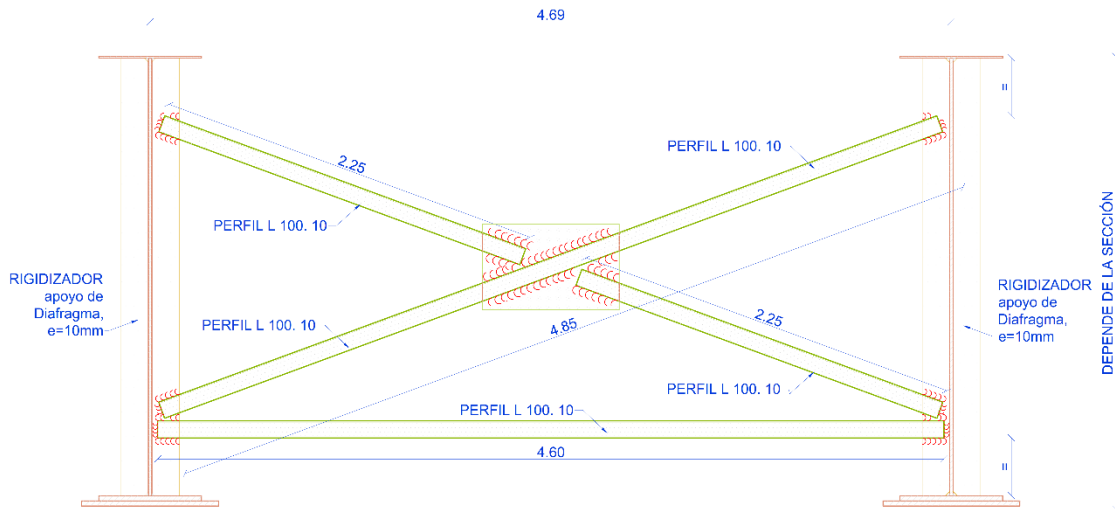


Ilustración 2.11. Arriostramientos verticales del puente Nulti Sur. Fuente: Planos Puentes de Nulti.

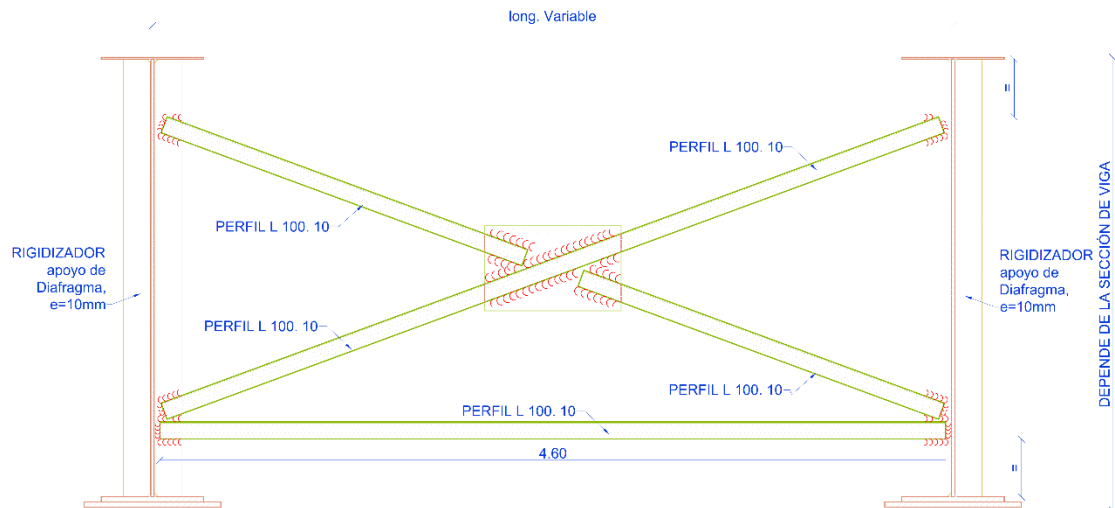


Ilustración 2.12. Arriostramientos verticales del puente Nulti Norte. Fuente: Planos Puentes de Nulti.

Puesto que las vigas son de sección variable también varía su peso a lo largo de la luz del puente, esta carga es calculada directamente por el programa de cálculo CSIBridge, lo mismo ocurre para el caso de rigidizadores, diafragmas y arriostramientos verticales y horizontales. No siendo así para el caso de la carga producida por la losa que tiene un espesor uniforme de 25 cm, esta se distribuyó en toda la sección del tablero tanto transversal como longitudinalmente. Para la carga (DW) debida a la capa de rodadura se calculó considerando un espesor de 12 cm de asfalto, este espesor fue obtenido de campo y difiere de los 5cm con los que fue considerado en el diseño por motivos de recapeo, además esta carga se distribuye únicamente a lo largo y ancho de la calzada. Cabe recalcar que las cargas a los que estarán sometidas las vigas será diferente tanto para las vigas de borde como para las 3 vigas interiores, debido al ancho colaborante. Las vigas interiores tendrán un ancho colaborante de 3m y soportan las cargas muertas debido a la capa de rodadura y losa de hormigón, mientras que la viga exterior derecha tiene un ancho colaborante de 3.5m y además está sometida a cargas adicionales debido a: carga de la baranda peatonal, carga baranda de protección vehicular y carga de la acera de 25 cm de espesor, por su parte la

viga exterior derecha tiene un ancho colaborante de 2.65 y se encuentra sometida a cargas debido a carga muerta de la losa, y a 60 cm del borde actúa una carga producto del bordillo. En la Tabla 2.8 se presenta un resumen de las cargas muertas (DC y DW) ingresadas al programa para la modelación.

LOSA		
e=	0.25	M
Peso específico Ho =	2400	kg/m <sup>3</sup>
DC (losa)=	600	kg/m <sup>2</sup>
CAPA DE RODADURA		
e=	0.12	M
Peso. Especifico asf. =	2250	kg/m <sup>3</sup>
DW (asfalto)=	270	kg/m <sup>2</sup>
CARGA DE BORDILLO		
Área (m <sup>2</sup> )=	0.2	m <sup>2</sup>
Peso específico =	2400	kg/m <sup>3</sup>
DC (bordillo_parterre)=	480	kg/m
CARGA DE BARANDA DE PROTECCIÓN VEHÍCULAR		
Peso específico Ho =	2400	kg/m <sup>3</sup>
Área transversal Ho=	0.15	m <sup>2</sup>
W (pasamano) =	40	kg/m
W (Ho) =	360	kg/m
DC ( baranda) =	400	kg/m
CARGA DE BARANDA PEATONAL		
DC(baranda_peatonal)=	140	kg/m
CARGA DE ACERA		
Peso específico Ho =	2400	kg/m <sup>3</sup>
Área transversal Ho=	0.324	m <sup>2</sup>
DC(acera)=	590	kg/m <sup>2</sup>

Tabla 2.8. Carga muerta (DC y DW). Fuente: Memoria de cálculo Puentes de Nulti.

#### 2.2.4.2. Carga viva

En este grupo corresponden las cargas debido al peso de los vehículos(LL) más la sobrecarga debido a efectos dinámicos (IM). Además, en puentes urbanos se considera la carga peatonal (PL), (AASHTO, págs. 3-8 Art. 3.3.2).

### Sobre carga vehicular e impacto (LL + IM)

Se analizó la sobrecarga vehicular con el camión de diseño HL-93 (AASHTO), que se debe tomar el valor más crítico de: “a) La sobrecarga vehicular de diseño es considerada como una combinación de: Camión de diseño o tándem de diseño + Carga de carril de diseño.” (AASHTO, Art. 3.6.1.3). Para el camión de tipo HL-93 la carga de diseño por carril es de 952 kg/m (AASHTO). Para el cálculo de la carga que se distribuirá a cada viga debido a la carga viva el programa lo realiza internamente. Sin embargo, se detallarán cada uno de los parámetros que se ingresaron en el programa de cálculo.

La separación entre ejes delantero e intermedio es de 4.27m y la separación entre eje intermedio y trasero varía de 4.27 m a 9.14 m (ver Ilustración 2.13). Además, a esta carga se le debe agregar el incremento por carga dinámica. Los detalles de estos valores se presentan en la Tabla 2.9.

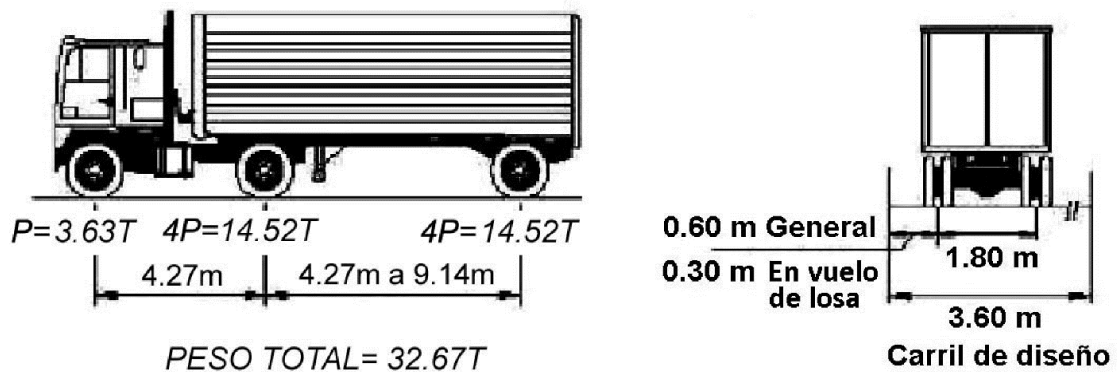


Ilustración 2.13. Camión de diseño HL-93. FUENTE: AASHTO, 2002

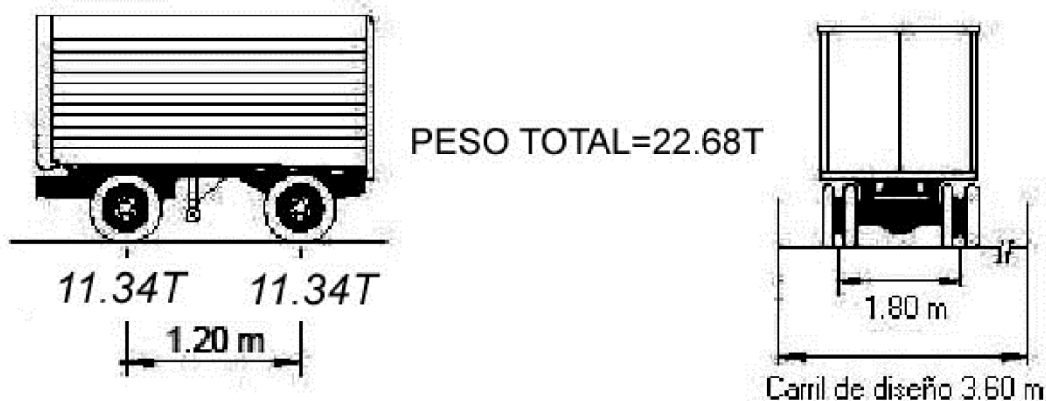


Ilustración 2.14. Tándem de Diseño. FUENTE: AASHTO, 2002

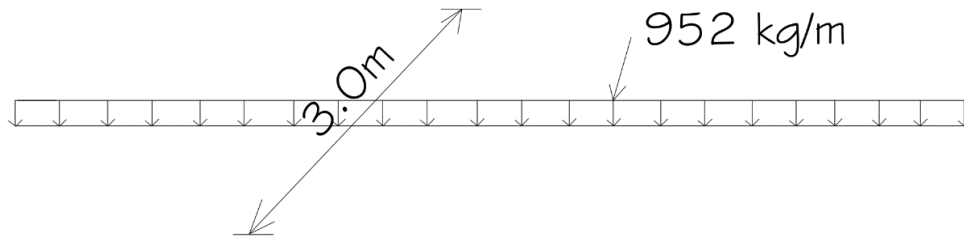


Ilustración 2.15. Carga de carril de diseño

#### CARGA DE CAMIÓN DE DISEÑO (HL-93)

ejes	carga
1	3500 kg
2	14500 kg
3	14500 kg
coeficiente impacto ( C )=	33%

#### SOBRECARGA DE CAMIÓN

Vehículo DE DISEÑO (según AASHTO)	CAMIÓN HL-93
Número de carriles (N)	3
Factor de carril (m) para 3 carriles cargados	0.85 (3.6.1.1.2)
Carga de carril de diseño(HL-93)=	952 kg/m

Tabla 2.9. Valores de Carga de Camión de Diseño y Sobrecarga de Camión. Fuente: (AASHTO, 2002)

#### 2.2.4.3. Combinaciones de carga y factores

La normativa AASHTO (Art. 2.5.2.6.2) recomienda para el cálculo de las máximas deflexiones totales se debe tomar en cuenta la totalidad de la carga muerta, considerar también todos los carriles cargados, incluir sobrecarga viva y aumento por carga dinámica (IM) utilizando el estado límite de servicio I. Los factores de mayoración que se considera para cada una de dichas cargas. A continuación, se describe cada una de las combinaciones que aplican para el análisis de las deformaciones. Los factores de mayoración utilizados para la modelación se tomaron de la tabla 3.4.1-1 de la AASHTO. La solicitación mayorada total se tomó de:

$$Q = \sum n_I \gamma_I Q_I \quad \text{Fuente: AASHTO, 3.4.1 - 1} \quad (2-1)$$

Donde:

$n_I$  = modificador de las cargas, Para el estado límite de servicio,  $n=1$ .

$\gamma_I$  = factor de carga

$Q_I$  = solicitación

**SERVICIO I** – Combinación de cargas que representa la operación normal del puente con un viento de 90 km/h, tomando todas las cargas a sus valores normales.

$$\text{Estado límite: } Q = n(1.0DC + 1.0DW + 1.0(LL + IM)) \quad (2-2)$$

Donde:

DC: carga muerta estructural y accesorios no estructurales.

DW: peso propio de superficies de rodamiento y e instalaciones para servicios públicos.

LL: sobrecarga vehicular.

IM: incremento por carga dinámica.

#### 2.2.4.4. Planteamiento de los modelos matemáticos

El análisis de las deformaciones se realizó en dos etapas. Como primera etapa se consideró la deformación debido a peso propio que debió suceder en las vigas en el momento en que fueron colocadas y la deformación obtenida se comparó con la deformación máxima recomendada por la AASHTO. En la segunda etapa se obtuvo la deformación total producida por las solicitaciones debidas a carga de servicio a las que estarán sometidos los puentes desde su apertura hasta la fecha. Finalmente, los resultados se compararon con los resultados de la evaluación experimental realizada, la deformación medida in situ mediante un levantamiento topográfico y la deformación máxima recomendada por la AASHTO.

Como se mencionó anteriormente los modelos matemáticos se realizaron con los datos tomados de la memoria de cálculo, y además estos datos se compararon con los datos obtenidos de las mediciones realizadas en campo con el objeto de aproximar lo mejor posible a la realidad. Estos modelos fueron solucionados con el software SCIBridge para la superestructura y la viga compuesta con el SAP2000. Para la modelación de la superestructura se consideró un solo tablero de cada uno de los puentes, debido a la similitud que presentan los dos tableros. El carril modelado fue el correspondiente a la dirección Azogues - Cuenca.

La superestructura de ambos puentes se modeló como simplemente apoyada, con 3 carriles en un solo sentido, el ancho de los carriles de diseño es de 3.60m. Cada tablero es de sección compuesta (vigas de sección variable y losa de hormigón de 25cm de espesor). Las vigas de sección variable se muestra en la Ilustración 2.16 con más detalle. Las secciones varían tanto en peralte (h) como en las placas de refuerzo del patín inferior (tfi2). Las dimensiones de patines, almas, y placas de refuerzo son las mismos tanto para el puente Nulti Sur como para el puente Nulti Norte (ver Tabla 2.5). Las vigas son de 70m de longitud. Para el caso de la separación entre vigas en el Puente Nulti Sur tienen una separación uniforme de 3 metros entre sí, mientras que para el caso del puente Nulti Norte la separación entre vigas es variable como se muestra en la Ilustración 2.8.

Los rigidizadores verticales se encuentran colocados desde el inicio 0m hasta el final 70m espaciados a 7 m, además se colocaron dos rigidizadores adicionales equidistantes entre estos tramos de 7 m. Los rigidizadores tanto verticales como horizontales están dispuestos de tal manera que forman una x entre dos vigas contiguas y empiezan en los apoyos de los puentes y también espaciados a 7 m (ver Ilustración 2.9). Además, se colocaron diafragmas que son perpendiculares a las vigas, ubicados desde los 0m hasta los 70m espaciados a 7m.

Luego de determinar la geometría de ambos puentes se colocaron las cargas correspondientes a bordillos, barandas de protección vehicular, barandas de protección peatonal, carga peatonal, capa de rodadura. El peso propio correspondiente a vigas, losa,

rigidizadores, arriostramientos y diafragmas es calculado internamente por el programa de cálculo. El vehículo de diseño utilizado fue el HL-93, el estado límite de servicio y sus coeficientes de mayoración se tomaron según lo recomendado por la AASHTO mismo que se pueden ingresar de forma automática en el programa de cálculo.

Todos los elementos (vigas, losa, arriostramientos, rigidizadores, diafragmas) se modelaron como tipo frame, discretizados en franjas de 1m x 1m.

#### **2.2.4.4.1. Modelo de la viga**

Se modeló únicamente una viga compuesta de 7 secciones diferentes (A, B, C, D, E, F), simplemente apoyada, de 70 m de longitud como se muestra en la Ilustración 2.16.



*Ilustración 2.16. Modelo Viga de los puentes de Nulti. Fuente: Autores.*

#### **2.2.4.4.2. Modelo Puente de Nulti Sur.**

Los modelos fueron creados con todos los datos y descripciones mostrados anteriormente. Las vigas fueron modeladas como tipo frame, discretizados en franjas de 1m x 1m. En la Ilustración 2.17, a) se muestra la vista en planta del puente, el que se observa la forma del tablero principalmente, en la figura b) se muestra la vista en 3D superior del puente en la que se pueden evidenciar los arriostramientos verticales y horizontales dispuestos, la figura c) muestra una vista inferior en 3D.



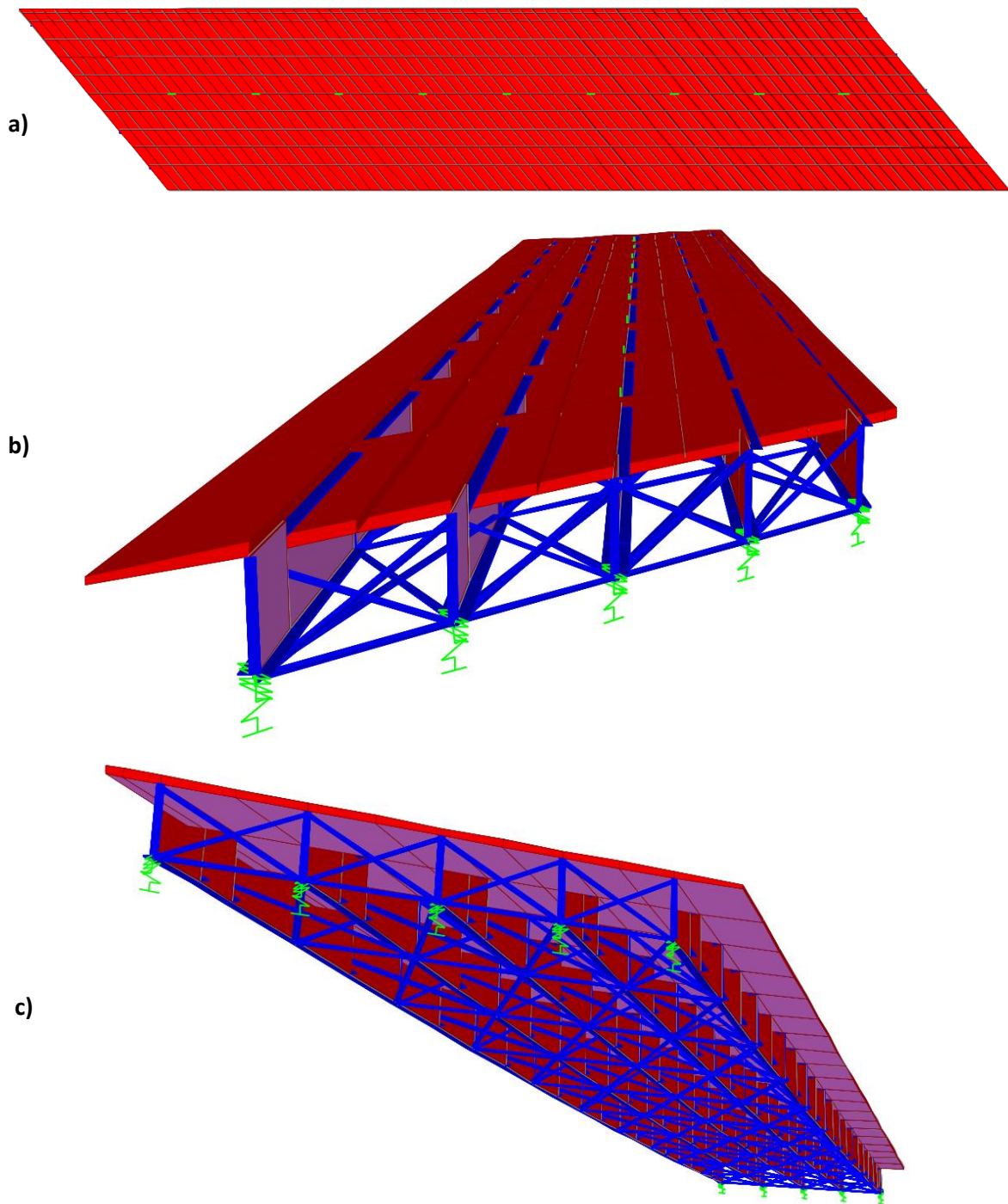


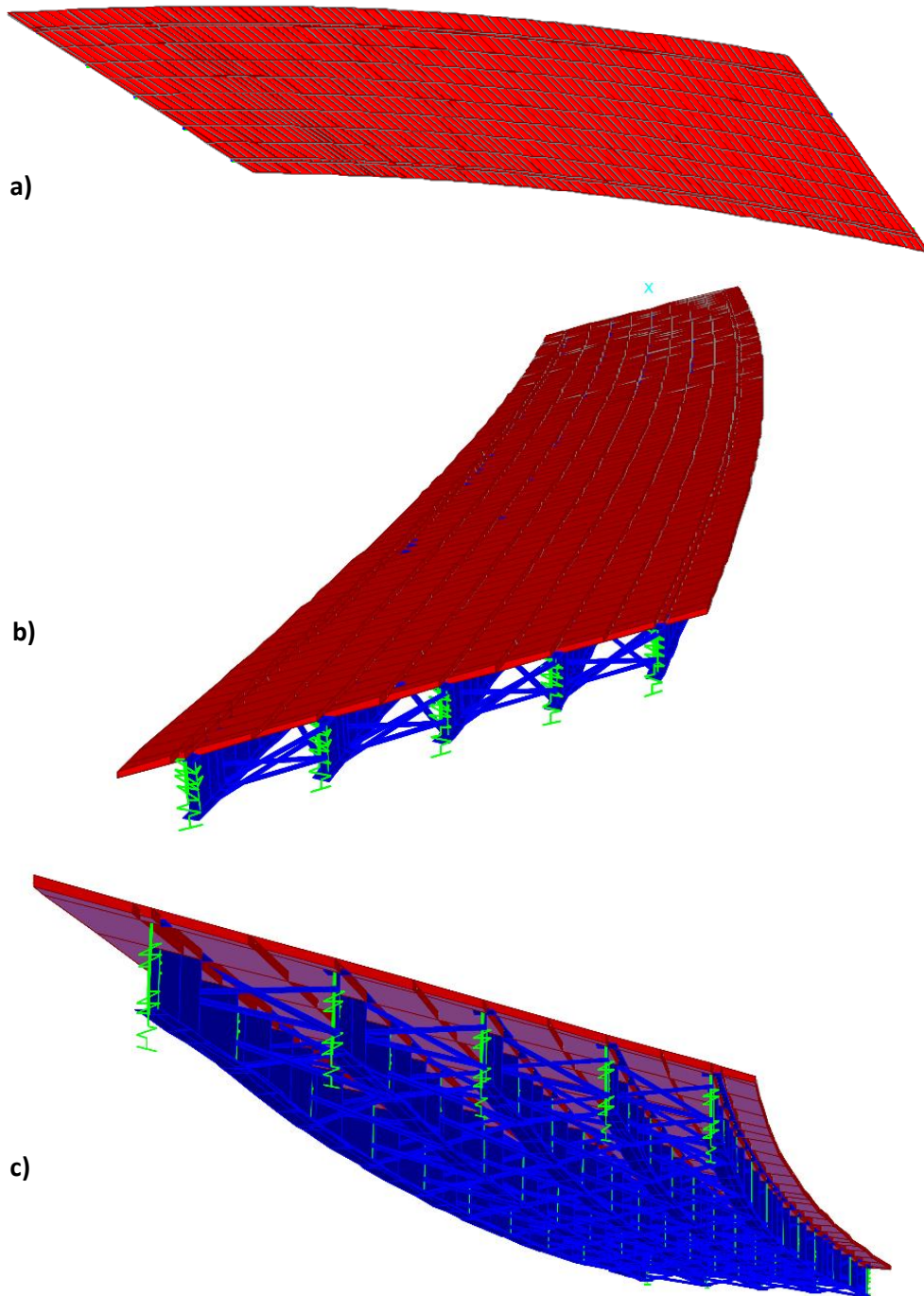
Ilustración 2.17. Modelo Puente Nulti Sur. a) Vista en planta, b) Vista isométrica superior, y c) Vista isométrica inferior. Fuente: Autores.

#### 2.2.4.4.3. Modelo Puente Nulti Norte

Las vigas fueron modeladas como tipo frame, discretizados en franjas de 1m x 1m. En la Ilustración 2.18,a) se muestra la vista en planta del puente, el que se observa la forma curva del tablero principalmente y sus diferentes esviajes de  $47^\circ$  en el apoyo izquierdo y  $56^\circ$  en el apoyo derecho, en la figura b) se muestra la vista en 3D superior del puente en la que se



pueden evidenciar de mejor manera los arriostramientos verticales y horizontales dispuestos, la figura c) muestra una vista inferior en 3D.



*Ilustración 2.18. Modelo Puente Nulti Norte a) Vista en planta, b) Vista isométrica superior, y c) Vista isométrica inferior. Fuente: Autores.*

## 2.3. ANÁLISIS DE CAMPO

El comportamiento dinámico de las estructuras ha sido caracterizado mediante sus parámetros modales, identificados mediante un análisis de vibraciones medidas in situ, el cual ha sido un procedimiento clásico para estudiar tanto la respuesta sísmica de las estructuras como para detectar daños (Alguhane, Khalil, Fayed, & Ismail, 2015).

Las mediciones in situ del movimiento de la estructura pueden ser producidas por vibraciones de tipo ambiental o forzada. En este estudio se ha considerado las mediciones de vibraciones ambientales, las cuales se producen cuando la estructura es excitada por factores externos como: el viento, el suelo, el tráfico y las actividades humanas. Este método es considerado económico, rápido, además no destructivo, ya que no interrumpe las actividades del tránsito de vehículos, además no requiere preparar una fuente externa de vibración como lo requiere el método de vibración forzada; éste último, aunque presenta resultados más precisos, tiene el inconveniente de interrumpir el paso de vehículos, es más costoso y conlleva mayor cuidado con la fuente de excitación. La vibración ambiental puede ser fácilmente medida con instrumentos sensibles como acelerógrafos y geófonos, ubicados en diferentes puntos de la estructura. Las mediciones de vibración ambiental de muchas estructuras como edificios, puentes se han analizado en muchos países como objetivo para determinar las propiedades dinámicas de la estructura, en particular, inferir en las propiedades dinámicas de los modos fundamentales de vibración; adicionalmente otro uso de la medición de vibración ambiental es el análisis del comportamiento del suelo, en base a los registros sísmicos obtenidos.

El diagnóstico estructural de los puentes de Nulti se basó en el análisis de datos recopilados en campo mediante sensores unidimensionales proporcionados por la red sísmica del austro. Los sensores utilizados fueron de aceleración (acelerómetros) y velocidad (geófonos) que miden las ondas producidas tanto en la superficie del puente como el terreno producto del efecto de vibraciones ambientales.

### 2.3.1. Equipos de medición

En el desarrollo del trabajo se utilizó sensores de velocidad y aceleración. El principio en el que se basa el sensor o sismógrafo es que el movimiento del terreno se mide por el registro de las vibraciones de un péndulo simple suspendido de un punto fijo en el cual se establece que el periodo natural del péndulo es mayor en relación con el periodo de movimiento del terreno, el desplazamiento registrado puede expresarse en términos de movimiento del terreno multiplicado por una constante, a este tipo se le llama sensor de desplazamientos o periodo largo.

Si el periodo del péndulo es lo suficientemente corto en relación con el movimiento del terreno por medio de un coeficiente apropiado de amortiguamiento del péndulo se obtiene aceleración entonces se denomina sensor de aceleración o de periodo corto. Si el periodo natural del péndulo se sitúa próximo al del movimiento del terreno y si el valor del coeficiente de amortiguamiento de aquel es grande, entonces se podría determinar la velocidad del terreno, este tipo de sensor es llamado sensor de velocidad

#### 2.3.1.1. Sensores de velocidad

Las características del sensor vertical utilizado en el desarrollo de este trabajo se indican en la Tabla 2.10.

Modelo	L-4C 1.0 Hz
Tipo	Doble bobina móvil
Frecuencia	1.0 +/- 0.05 Hz
Cambio de frecuencia con inclinación	Menos de 0.05 Hz a 5° de la vertical
Cambio de frecuencia con excitación	Menos de 0.05 Hz de 0 a 0.09 (pulgadas/segundos)
Masa suspendida	1000 gramos
Altura	13 cm
Diámetro	7.6 cm
Densidad total	3.7 g/cm <sup>2</sup>
Peso total	2.15 kg

*Tabla 2.10. Características del sensor vertical. Fuente: Manual Geófono.*

Un sismómetro está constituido por tres partes: un sensor, un acondicionador de señal, y un registrador.

Por lo general el sensor es una masa oscilante, que se encuentra suspendida en un sistema amortiguado es decir un oscilador lineal amortiguado con un solo grado de libertad incluye generalmente un transductor, este último es un dispositivo capaz de recibir energía de naturaleza cinética con lo que genera una señal medible a partir del movimiento de la masa.

El sistema acondicionador de señal amplifica y/o la convierte la señal de salida en un formato fácil de leer y compatible con la mayoría de equipos con fines de adquisición de datos.

**Registrador:** este puede ser de tipo gráfico directo, grabación en frecuencia modulada sobre un soporte magnético (bobina de cinta o cassette), grabación digital, etc.

Estos tres elementos se representan, cada uno por su función de transferencia, la respuesta del sistema completo vendrá representada por el producto de las tres funciones de transferencia correspondiente a cada uno.

La función del sensor es el de convertir la energía cinética, producto del movimiento del suelo, en energía eléctrica, es decir es un transductor de velocidad, en la Ilustración 2.19 se muestra un esquema general.

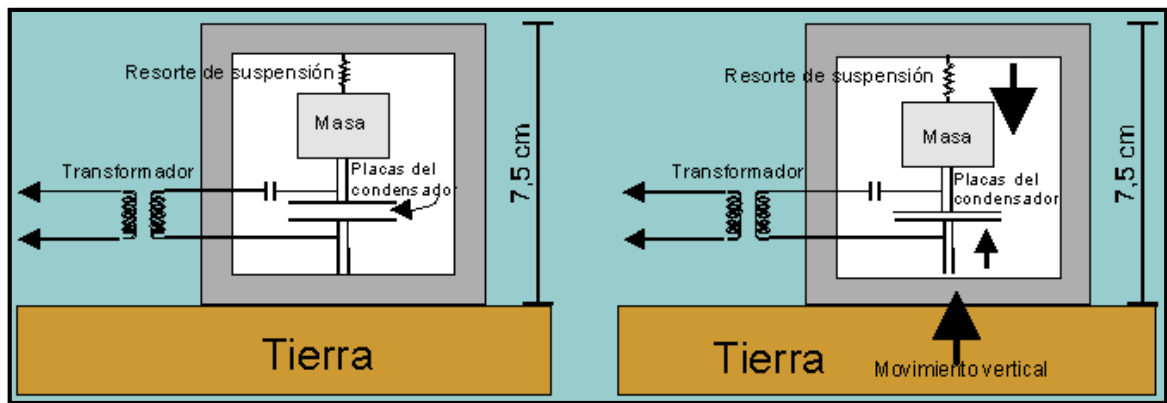


Ilustración 2.19. Esquema de funcionamiento de un geófono

Se puede pensar en un sensor como en una caja negra de dos puertos, esto es, una entrada para las ondas sísmicas producto del movimiento del terreno o superficie sobre la que se asienta, y una salida para la energía eléctrica.

Los sensores utilizados en el presente trabajo se muestran en la siguiente Ilustración 2.20.



Ilustración 2.20. Geófono de velocidad, Fuente: Autores

### 2.3.1.2. Sensores de aceleración

Este tipo de sensores registran la aceleración del movimiento en función del tiempo, consta de dos partes: sensor triaxial y sistema de discriminación y registro, se puede determinar el valor de la aceleración máxima alcanzada en la dirección horizontal y vertical, que pueden ser incluidos en una misma caja o separados.

El sensor de aceleración utilizado en este estudio es de tipo digital, en la cual las señales del sensor son discretizada y almacenadas en memorias de estado sólido en los cuales luego que se haya producido un evento sísmico la señal generada es digitalizada y almacenada para su posterior análisis.

Entre las ventajas de este instrumento se puede citar: mayor rango dinámico, memoria pre-evento, facilidad de proceso posterior ya que se obtienen velocidades y desplazamientos a partir de registros de aceleración (mediante integración numérica) en lugar de efectuar procesos de derivación.

El instrumento que se utilizó en este trabajo es un sensor de tipo ETNA, es un acelerómetro triaxial de fuerza balanceada con una frecuencia natural de 50 HZ y un coeficiente de amortiguamiento del 70%. Las señales de los sensores son amplificadas y filtradas, su rango de respuesta en las frecuencias es plano, entre los 0 a los 80 HZ. La señal analógica es convertida a valores digitales por un convertidor analógico-digital con una resolución de 18 bits y una frecuencia de muestreo de 200 HZ. El rango de máxima escala de la aceleración es preseleccionado entre los valores de  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ , 1 y 2 g. Para la escala máxima de 1 g la sensibilidad es aproximadamente de 0.0075 cm/s<sup>2</sup> en la Ilustración 2.21 se muestra el sensor de aceleración utilizado.



*Ilustración 2.21. Acelerógrafo modelo ETNA. Fuente: Autores.*

El tiempo para el registro de los pre eventos puede seleccionarse por software a incrementos de 1 s hasta máximo 60 segundos. La duración del post-evento puede seleccionarse también vía software entre 0 a 6500 segundos. El nivel de disparo varía entre 0.01% hasta el 100% de la escala máxima.

La información digital del sensor de aceleración es almacenada en una tarjeta de memoria removible tipo PSMCIA del 2 Mb, con una capacidad de almacenaje de 15 minutos de movimiento fuerte del suelo con 3 canales a 250 muestras por segundo. Dentro de las principales características técnicas del acelerógrafo tipo ETNA, las cuales se citan en la Tabla 2.11.

SENSOR	
Tipo:	Acelerómetro de fuerza Balanceada Triaxial, Orientación ortogonal, Interno
Rango de Full Escala:	2g
Frecuencia Natural:	100Hz
Amortiguamiento:	70% crítico
Rango Dinámico:	Más de 135 dB 0.01Hz a 50Hz Más de 145 dB 0.01Hz a 20Hz

Tabla 2.11. Características del acelerógrafo ETNA. Fuente: Manual acelerógrafo Etna.

La información almacenada en el instrumento se puede recuperar conectando el acelerógrafo a un computador portátil mediante cable de comunicaciones estándar RS-232C. El programa de comunicaciones para el control del equipo, es el QuickTalk desarrollado por Kinemétrics bajo ambiente Windows. Este programa permite inicializar y configurar el acelerógrafo, descargar la información, presentar gráficamente en pantalla los registros y convertirlos estos a diversos formatos.

### 2.3.1.3. Analizador digital de señales

Conjuntamente con los geófonos trabaja el analizador digital de señales, tiene la función de visualizar y guardar la información registrada por los sensores de movimiento. Para este trabajo se utilizó un analizador portable marca Hewlett Packard HP 3560, liviano con dos canales con un rango de frecuencia desde 31.25 mHz hasta 40 kHz ideal para medición de vibraciones en sitio y mediciones acústicas, cuyas características son mostradas en la Tabla 2.12.

Modelo:	HP 3560A Portable Dynamic Signal Analyzer
Número de canales de entrada:	2
Rango de Frecuencia:	31.25 mHz a 40kHz
Rango de escala máxima:	$\pm 5$ mV a $\pm 5$ V

Tabla 2.12. Características del Analizador Digital de Señales

Las características del instrumento que fueron adaptadas al momento de la toma de datos se indica en la Tabla 2.13.



Tipo de dato:	Señal	Espectros
Ancho de la ventana:	50Hz	50Hz
Ventana:	Hann	Hann
Filtro:	Off	Off
Resolución:	1600 líneas	400 líneas
Promedio:	-	RMS (10 espectros)

*Tabla 2.13. Características adaptadas en el Analizador Digital de Señales*

### 2.3.2. Esquema de monitoreo

Previo a la toma de datos se procedió a tomar la configuración en planta y elevación del puente para así poder ubicar los instrumentos.

El proceso de toma de datos es como se indica a continuación:

Con el fin de medir las vibraciones ambientales propias del suelo, se comienza con la colocación del geófono de acuerdo a la Ilustración 2.22, se mantuvo un registro de 2 horas aproximadamente. Para medir las vibraciones ambientales que definirán los parámetros dinámicos del puente, conjuntamente, se procedió a la colocación del acelerógrafo en diferentes puntos sobre la superestructura del puente (zona de paso peatonal) puntos que corresponden a los apoyos y el centro para cada tablero de los puentes, permitiendo un registro de 10 min en cada punto del puente Nulti Sur y de 5min en el puente Nulti Norte, cada una de las ubicaciones se representan en la Ilustración 2.23.

La colocación de cada equipo comprendió los siguientes pasos:

- Nivelación, mediante el nivel de burbuja propia del instrumento.
- Orientación de ejes, se consideró el **EJE X** paralelo al eje longitudinal del puente o dirección del tráfico, **EJE Y** perpendicular, y **EJE Z** como el eje vertical.
- Almacenamiento de la información captada por el sensor en el analizador digital de señales.



Ilustración 2.22. Esquema de ubicación del Geófono. Fuente: Autores.

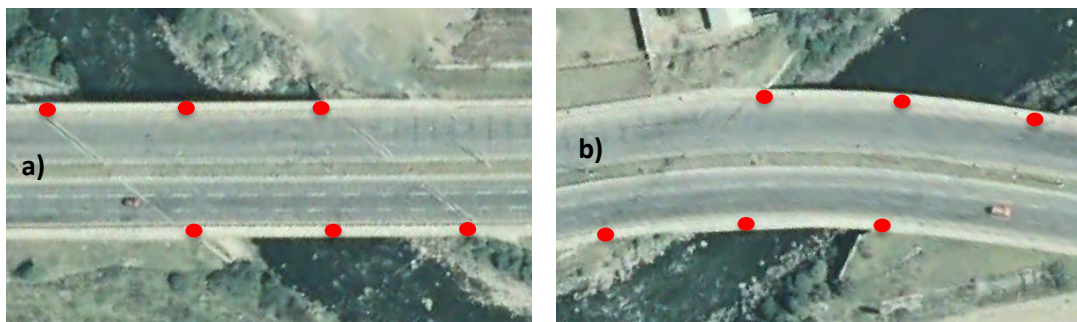


Ilustración 2.23. Esquema de ubicaciones del Acelerógrafo, a) Puente Multi Sur, b) Puente Multi Norte. Fuente: Autores.

## Datos recopilados

Todo el proceso antes indicado duró un promedio de 2h recopilando un total de 13 registros correspondiente a: 12 señales de aceleraciones, divididas en 3 señales por canal (corresponden a los 3 ejes medidos) y 1 señal de velocidad asimismo dividida en 3 señales.

### 2.3.3. Tratamiento de registros de vibraciones ambientales

Los datos registrados contienen parámetros tales como el contenido frecuencial, la aceleración, velocidad y desplazamiento en el lugar del registro, sin embargo, esta señal debe ser tratada hasta obtener sus frecuencias predominantes. Debido a algunas perturbaciones externas, componentes de error en las excitaciones y ruido dentro de los componentes del sistema, las señales no representarán resultados precisos. Los procedimientos de tratamiento son generalmente conversión, corrección y filtrado de señal.

Del acelerógrafo, se obtuvieron los denominados “acelerogramas” (señal de aceleraciones) en tiempo discreto (200 muestras por segundo), ya que, la finalidad de éstos datos es determinar las velocidades, desplazamientos, frecuencia predominante y amortiguamiento de cada punto medido sobre la superestructura del puente, su tratamiento incluye la conversión, corrección y el filtrado.

En cambio, del geófono, se obtuvieron señales de velocidad, de manera similar en tiempo discreto (100 muestras por segundo), ya que, de éstos datos se pretende sólo determinar la frecuencia predominante del suelo, su tratamiento incluye sólo la conversión, debido a que la frecuencia predominante no varía conforme se aplica alguna corrección.



De los procesos de tratamiento de señales, especificados con más detalle en las secciones posteriores, desde la corrección de línea base hasta el filtrado y procesamiento, para la determinación de aceleraciones, velocidades, desplazamientos, frecuencias y amortiguamientos, se realizó un programa en Matlab, para el manejo de datos con mayor facilidad y mejor visualización de resultados, conjuntamente se realizó la comprobación de resultados con el programa comercial SeismoSignal.

#### 2.3.3.1. Conversión de señales

Puesto que los datos que se recogen de los acelerógrafos se encuentran en formato propio del registrador (binario) extensión.evt, se empleó el programa KW2CNTS32 de Kinematics para extraer los datos de la señal y convertirlos a un formato de archivo de texto cuyos datos se encuentren en unidades de cm/s<sup>2</sup>. Estos archivos se presentan en formato de texto \*.1mg (registros de la componente en **X**), \*.2mg (registros de la componente en **Y**) y \*.3mg (registros de la componente en **Z**)

#### 2.3.3.2. Corrección de acelerogramas

La señal de archivo de texto obtenido presenta una serie de errores los cuales deberán ser corregidos para su posterior procesamiento.

En este proceso se deben emplear dos tipos de correcciones:

**Corrección Instrumental:** Consiste en la convolución del registro con la función de transferencia del instrumento. Se requiere conocer las constantes de calibración del instrumento como: la sensibilidad del acelerógrafo, frecuencia natural y el amortiguamiento, resultando así un acelerograma corregido.

**Corrección de la línea base o corrección de ceros:** El acelerograma puede verse distorsionado en el proceso de registro, en la digitalización y por la entrada de componentes de baja frecuencia. A consecuencia de esto, la velocidad y el desplazamiento, integrados a partir de la aceleración original, presentan tendencias irreales por las distorsiones de período largo del acelerograma no corregido. Apreciándose que la velocidad final no es nula ni oscila en torno a cero y la manifestación de ondas de período largo que son difíciles de detectar en el acelerograma original. Por ello, es necesario la aplicación de la corrección de línea de base, cuyo fin es identificar el eje de aceleraciones nulas de un acelerograma y ajustar la señal a una curva cuya forma depende del método empleado.

Las técnicas para la corrección incluyen:

- Trasladar la línea base original, a fin de obtener al final de un registro, su velocidad nula.
- Aplicar una serie de impulsos al acelerograma, de manera que el diagrama de velocidades oscile respecto a su línea de ceros hasta obtener una velocidad nula al final.

Existen por ello algunos tipos de corrección, entre ellos la corrección ajustada a una recta, corrección parabólica y el método de Berg y Housner. La desventaja en la primera radica en que las componentes de período largo que quedan en los desplazamientos son de dudosa exactitud, en la segunda, aunque se basa en un sistema de optimización por mínimos cuadrados los resultados no son precisos al tratarse de señales de duración intermedia o larga, por ello y con el fin de analizar registros de 10min de vibraciones ambientales y no de excitación forzada se emplea el método de Berg y Housner

### Método de BERG Y HOUSNER

Esta corrección presentada en (Hidalgo, 2011), se realiza a partir del acelerograma sin filtrado. El procedimiento es el siguiente:

- Cálculo de la velocidad  $v_{i+1}$  y desplazamiento  $d_{i+1}$

$$v_{i+1} = \left[ \sum_{j=0}^{i+1} a_j - \frac{a_0 + a_{i+1}}{2} \right] \cdot \Delta t_i \quad (2-3)$$

$$d_{i+1} = \left[ \sum_{j=0}^{i+1} v_j - \frac{v_0 + v_{i+1}}{2} \right] \cdot \Delta t_i \quad (\text{Ec. 3. b}) \quad (2-4)$$

En donde:

$$i = 1, 2, 3, \dots, T \text{ y } \Delta t_i = t_{i+1} - t_i$$

$a_i$ : aceleración en el tiempo  $i$

- Cálculo de la línea base del acelerograma, datos corregidos del acelerograma por línea base y todas las demás ecuaciones usadas para su cómputo

$$A1_0 = 0$$

$$A2_0 = 0$$

$$A3_0 = 0$$

Para  $i = 1, 2, 3, \dots, n$

Donde:

$a_i$ : aceleración en el tiempo  $i$

$v_i$ : velocidad en el tiempo  $i$

$d_i$ : desplazamiento en el tiempo  $i$

$n$ : número de datos

$A1, A2, A3, S_{ij}, C_0, C_1, C_2$ : parámetros constantes

$$A1_i = \frac{1}{2} \cdot v_i \cdot \Delta t_i \cdot (t_i + t_{i+1}) + \frac{1}{24} \cdot \Delta t_i^2 \cdot [a_i \cdot (3t_i + 5t_{i+1}) + a_{i+1} \cdot (t_i + 3t_{i+1})] \quad (2-5)$$

$$A2_i = \frac{1}{3} \cdot v_i \cdot \Delta t_i \cdot (t_i^2 + t_i \cdot t_{i+1} + t_{i+1}^2) + \frac{1}{60} \cdot \Delta t_i^2 \cdot [a_i \cdot (4t_i^2 + 7t_i \cdot t_{i+1} + 9t_{i+1}^2) + a_{i+1} \cdot (t_i^2 + 3t_i \cdot t_{i+1} + 6t_{i+1}^2)] \quad (2-6)$$

$$A3_i = \frac{1}{4} \cdot v_i \cdot \Delta t_i \cdot (t_i^3 + t_i^2 \cdot t_{i+1} + t_i \cdot t_{i+1}^2 + t_{i+1}^3) + \frac{1}{120} \cdot \Delta t_i^2 \cdot [a_i \cdot (5t_i^3 + 9t_i^2 \cdot t_{i+1} + 12t_i \cdot t_{i+1}^2 + 14t_{i+1}^3) + a_{i+1} \cdot (t_i^3 + 3t_i^2 \cdot t_{i+1} + 6t_i \cdot t_{i+1}^2 + 10t_{i+1}^3)] \quad (2-7)$$

$$A1 = \sum_{i=1}^T A1_i \quad A2 = \sum_{i=1}^T A2_i \quad A3 = \sum_{i=1}^T A3_i \quad W = \frac{378000}{t_r^7}$$

$$S_{11} = \frac{W \cdot t_r^4}{1260} = \frac{300}{t_r^3} \quad S_{12} = S_{21} = -\frac{W \cdot t_r^3}{420} = -\frac{900}{t_r^4} \quad S_{11} = \frac{W \cdot t_r^2}{600} = \frac{630}{t_r^5}$$

$$S_{22} = \frac{4W \cdot t_r^2}{525} = \frac{2880}{t_r^5} \quad S_{23} = S_{32} = -\frac{W \cdot t_r}{180} = -\frac{2100}{t_r^6} \quad S_{33} = \frac{W}{240} = \frac{1575}{t_r^7}$$

$$C_0 = S_{11} \cdot A1 + S_{12} \cdot A2 + S_{13} \cdot A3 = \frac{300}{t_r^3} \cdot A1 - \frac{900}{t_r^4} \cdot A2 + \frac{630}{t_r^5} \cdot A3 \quad (2-8)$$

$$C_1 = S_{21} \cdot A1 + S_{22} \cdot A2 + S_{23} \cdot A3 = -\frac{900}{t_r^4} \cdot A1 + \frac{2880}{t_r^5} \cdot A2 - \frac{2100}{t_r^6} \cdot A3 \quad (2-9)$$

$$C_2 = S_{31} \cdot A1 + S_{32} \cdot A2 + S_{33} \cdot A3 = \frac{630}{t_r^5} \cdot A1 - \frac{2100}{t_r^6} \cdot A2 + \frac{1575}{t_r^7} \cdot A3 \quad (2-10)$$

$$a_{i,corr} = a_i - C_0 - 2C_1 \cdot t_i - 3C_2 \cdot t_i^2 \quad (2-11)$$

$$v_{i,corr} = v_i - C_0 \cdot t_i - C_1 \cdot t_i^2 - C_2 \cdot t_i^3 \quad (2-12)$$

$$d_{i,corr} = d_i - \frac{1}{2} C_0 \cdot t_i^2 - \frac{1}{3} C_1 \cdot t_i^3 - \frac{1}{4} C_2 \cdot t_i^4 \quad (2-13)$$

### 2.3.3.3. Filtrado de señales

Un acelerograma ya corregido tanto de línea base como de corrección instrumental, debe tener en cuenta la repercusión que tiene el ruido sobre dicho acelerograma. El ruido es producido por fenómenos naturales, así como por el tratamiento de datos. El ruido produce errores afectando a las altas y/o bajas frecuencias como lo muestra la Ilustración 2.24. Por tanto, se considera que el acelerograma es la suma de la señal más el ruido (Carreño, Bravo, Suarez, & J.M. Torde, 1999).

$$a(t) = Xs(t) + Xr(t) \quad (2-14)$$

Siendo:

$a(t)$ : acelerograma sin corregir

$Xs(t)$ : señal sísmica

$Xr(t)$ : ruido

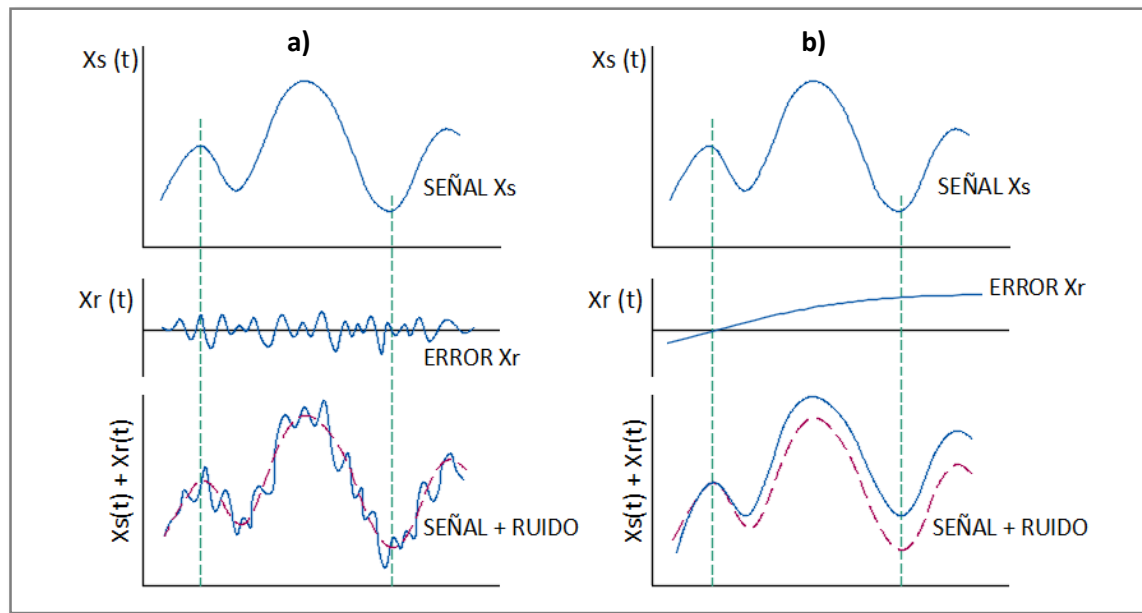


Ilustración 2.24. a) Efecto del Ruido de alta frecuencia, b) Efecto del ruido de baja frecuencia. Fuente: (Hudson, 1979)

Para que el ruido sea separado de la señal, se recurre al filtrado, el cual mejora el análisis al eliminar algunas señales de frecuencias no deseadas.

Los filtros son de tipo ideal, es decir que están definidos como una función escalón, según los siguientes tipos:

- Filtro paso-bajas: elimina altas frecuencias
- Filtro paso-alta: elimina bajas frecuencias
- Filtro paso-banda: elimina el ruido de alta y baja frecuencia a un rango dado simultáneamente.

El comportamiento de cada tipo de filtro se esquematiza en la Ilustración 2.25.

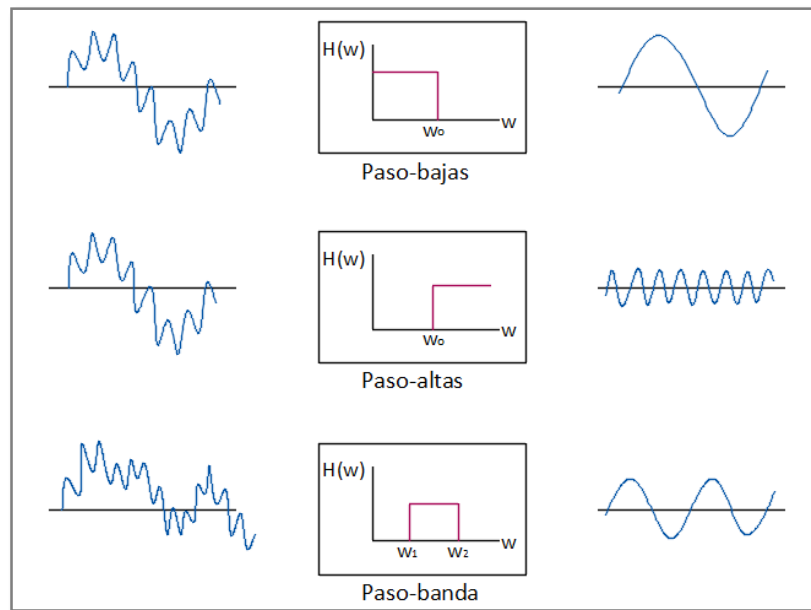


Ilustración 2.25. Comportamiento de los filtros ideales. Fuente: (Hudson, 1979)

En la práctica los filtros ideales no se pueden utilizar, ya que su función de transferencia en el tiempo es de longitud infinita (es decir, la información a procesar es en tiempo discreto), en lugar de ello, se recurre a aproximaciones, entre ellas, se tienen filtros: Butterworth, Chebyshev, Bessel, etc.

Se debe tener en cuenta que al momento de aplicar los filtros se debe elegir la frecuencia de corte adecuada, a consecuencia, una mala elección puede eliminar parte de la señal de interés o de lo contrario no elimina el ruido de la señal. El rango de frecuencias de acuerdo al tipo de análisis en estructuras se detalla en la Tabla 2.14.

TIPO DE ANÁLISIS EN ESTRUCTURAS	ANCHO DE BANDA (Hz)
<b>Sismos</b>	0.01 a 50
<b>Velocidad del viento</b>	$2.8 \times 10^{-4}$ a 20
<b>Presión del viento</b>	$8.3 \times 10^{-4}$ a 30

Tabla 2.14. Contenido de frecuencias de acuerdo al tipo de análisis en estructuras. (Parra, 2001)

En este estudio, se emplea filtros tipo Butterworth de paso banda de orden 4. Para que los errores no sean significativos, se eliminó la información al rango de frecuencias de 0.1-25 en acelerogramas del centro del puente, y 0.3-10Hz en acelerogramas de los apoyos, ver Ilustración 2.26, esta última frecuencia se justifica por la presencia de ruido correspondiente a la frecuencia del suelo de 10.26Hz, ver resultados de la sección 0. Algunos rangos de frecuencia aplicados variaron debido a que el ruido presentado (incierto, ya que sólo se conoce el ruido del suelo, pero no los efectos de las juntas, del agua sobre los estribos, etc. cuyas frecuencias son mayores incluso que del suelo) producía gráficas de desplazamientos no ajustados a una línea base, y ya que la determinación de estos valores se basa en modelos matemáticos, no es siempre precisa, pero sus resultados son aproximados.

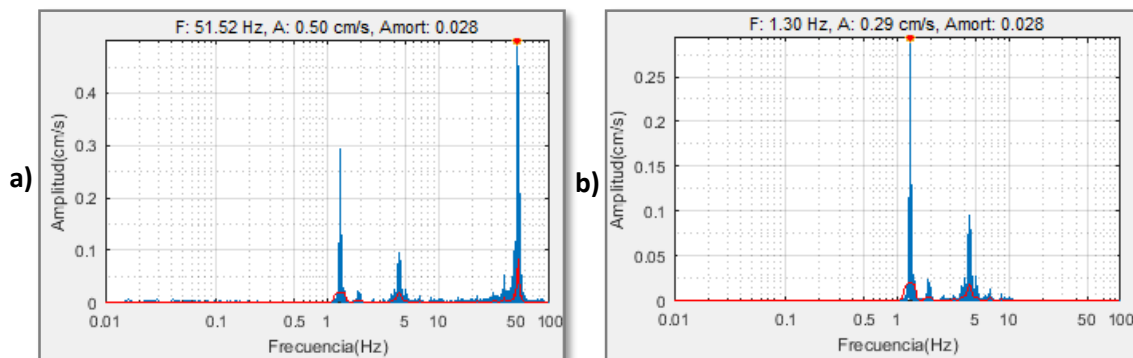


Ilustración 2.26. Densidad Espectral de Fourier del acelerograma en el eje x del Apoyo 6 en puente Nulti Sur, a) Sin filtro, b) Filtro en el rango de frecuencias de 0.3-10Hz. Fuente: Autores.

#### 2.3.4. Determinación de las propiedades dinámicas de los puentes

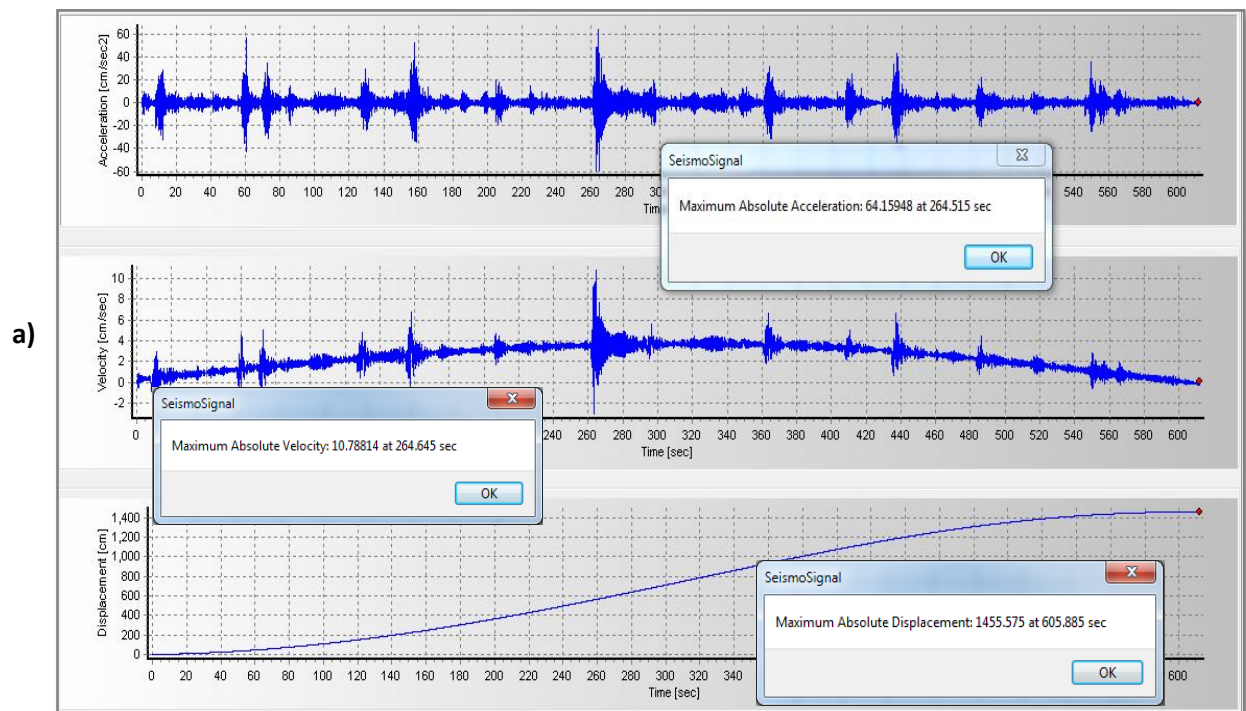
Las propiedades dinámicas principales de una estructura que influyen en la respuesta de una estructura sometida a cargas moderadas, es decir, cargas que inducen un comportamiento de la estructura en el rango elástico sin presentar ningún daño estructural, son:

- Período fundamental de vibración: Es el tiempo que toma la estructura para completar un ciclo completo de vibración.
- Amortiguamiento: Capacidad de la estructura para neutralizar o suprimir la vibración, por lo tanto, disipar energía.

Estos parámetros pueden ser determinados mediante modelos matemáticos, dándonos a conocer el comportamiento que puede experimentar las estructuras sometidas a cargas dinámicas durante su vida útil, pero en este método se realizan grandes simplificaciones estructurales (Parra & Farfán, 2001).

Una mejor alternativa de obtener estos parámetros en una estructura ya construida, es a través de métodos experimentales como las mediciones de vibración in situ (Midorikawa, 1990; Dunand, 2004; Wenzel, 2009), específicamente para este estudio de tipo ambiental como lo mencionado en secciones anteriores. Estos estudios están dirigidos a determinar los parámetros dinámicos en condiciones reales a las que está sometida la estructura, estas condiciones incluyen: interacción suelo-estructura, efectos de torsión, flexibilidad de diafragmas de piso, efectividad de las juntas constructivas y participación de los elementos no estructurales en el puente (Trifunac, 1986; Dunand, 2004; Aldea, 2007).

6.7.2. Contraflecha vertical deberá ser especificada para tener en cuenta el calculo de las deflección de la carga muerta



b)

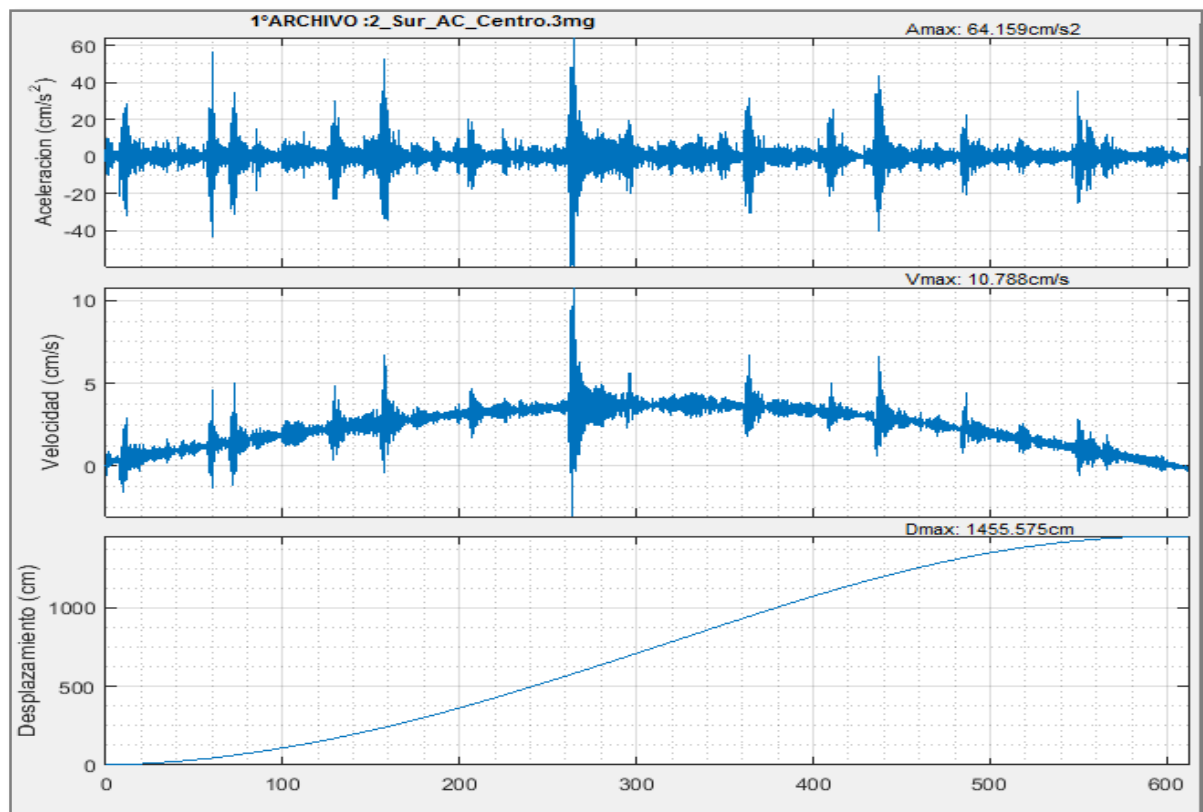
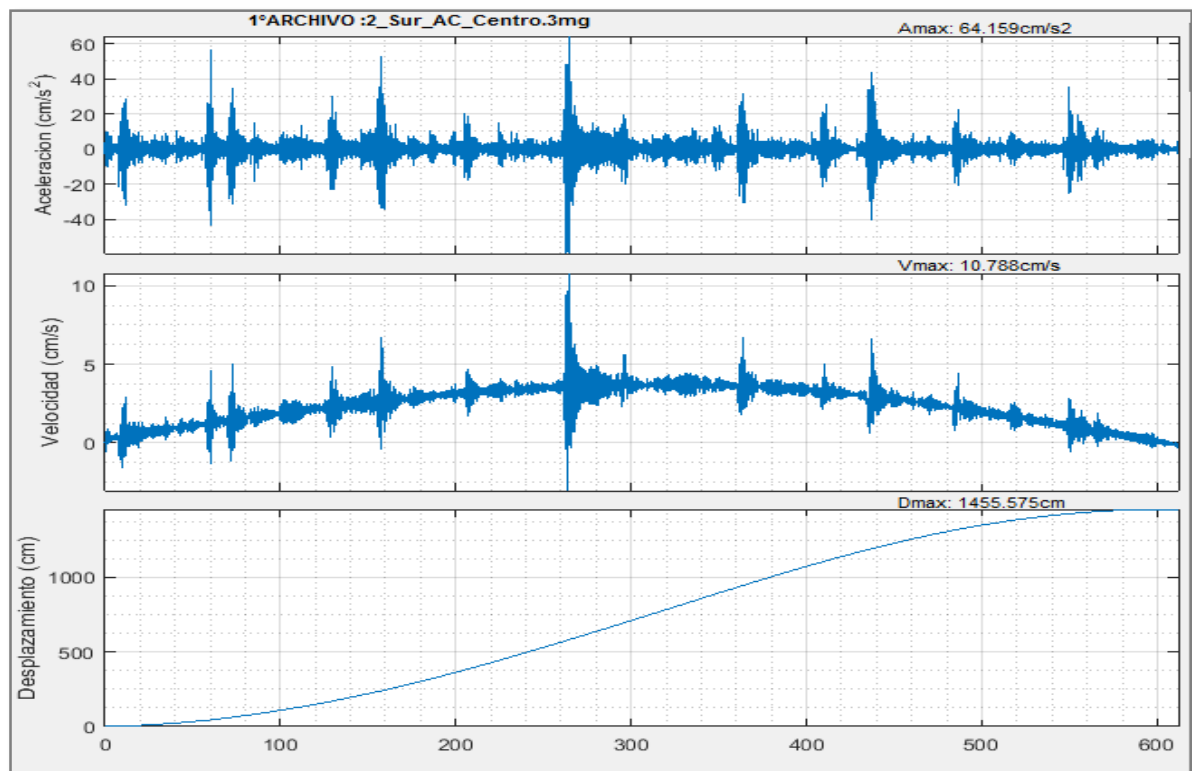


Ilustración 2.27. Comparación de resultados de aceleración, velocidad y desplazamiento, sin corrección. a) Software SeismoSignal, b) Programa en Matlab. Fuente: Autores.



a)



b)

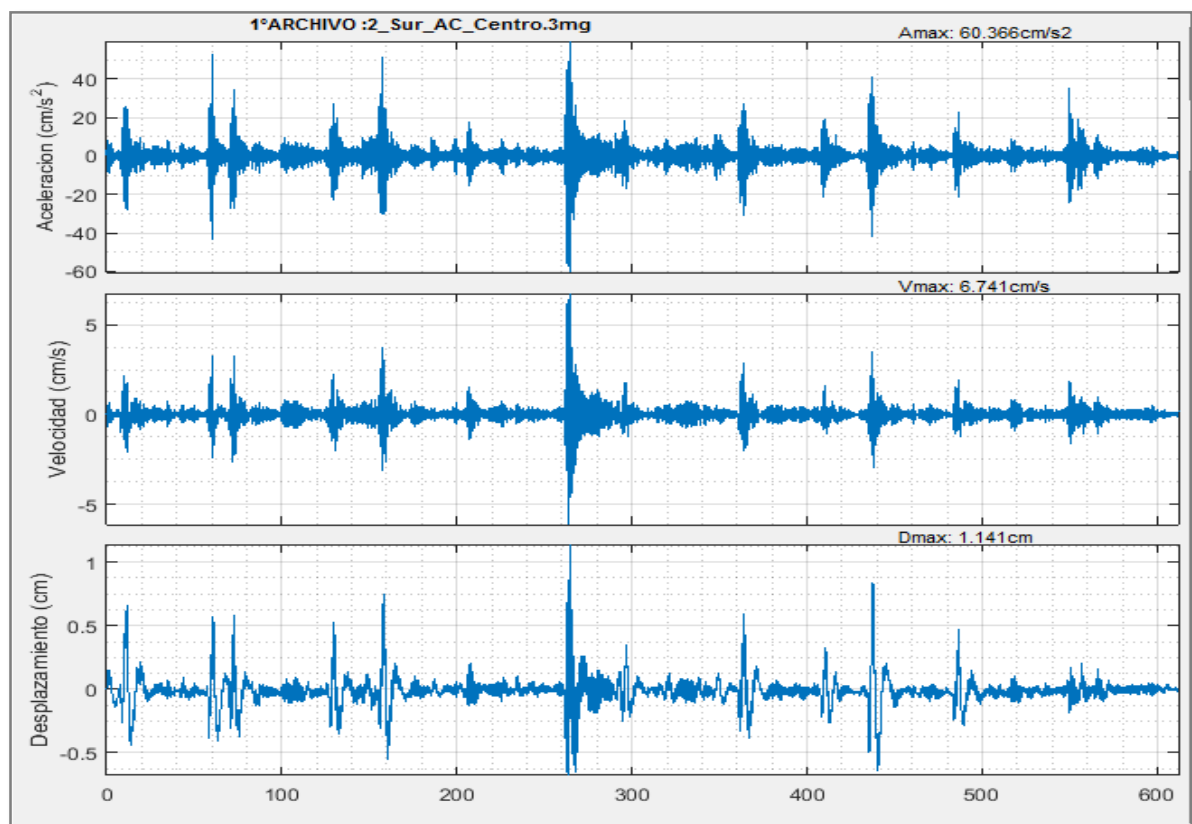


Ilustración 2.28. Comparación de señal: a) Original, b) Corregida y Filtrada. Fuente: Autores.

### 2.3.4.1. Metodología para la obtención del Período Natural

Los procesos que generan las señales son complejos para realizar una descripción precisa de una señal, por ello, se prefiere modelar analíticamente la señal como un proceso estocástico, es decir, señales aleatorias, “Una señal aleatoria se considera como miembro de un conjunto de señales en tiempo discreto caracterizada por un conjunto de funciones de densidad de probabilidad” (Oppenheim & Schaffer, 2011).

Tanto para la determinación del período de vibración como del amortiguamiento, se empleó un análisis probabilístico de las vibraciones, desarrollado por Tenaka et al. (1996). Se asume que el movimiento ambiental es un proceso estocástico, lo que significa que es improbable que la fuente de vibración ambiental tenga una frecuencia característica dominante, además posee la propiedad de estacionariedad.

Un proceso estocástico es estacionario si la ley probabilística que lo define es invariante a una traslación del origen del tiempo, es decir, el proceso es homogéneo en el tiempo y matemáticamente significa que la media definida en la ecuación es constante.

$$E[\bar{x}(t)] = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{t=1}^n x(t)/n \quad (2-15)$$

En el análisis de procesos estocásticos es común restar la media para obtener un proceso de media nula. Los procesos estocásticos estacionarios de media nula quedan caracterizados por la función de auto correlación o por la densidad espectral de potencia que es una función positiva y par que representa la contribución de cada frecuencia al valor medio de la función  $x(t)$ .

Cada función de un proceso estocástico estacionario puede sintetizarse en términos de sus componentes armónicas efectuando un análisis de Fourier (Ruiz, 1972). Es decir, el contenido de frecuencias puede obtenerse a partir del espectro de Fourier.

El *espectro de Fourier*, es un parámetro que nos proporciona el contenido en frecuencias del acelerograma (registro de aceleraciones), de manera que para cada periodo de oscilación (inverso de la frecuencia) del acelerograma se representa la amplitud máxima que le corresponde. Del espectro de Fourier se pueden deducir las frecuencias más importantes, en el caso de estudio, la frecuencia predominante correspondiente al pico de amplitud del espectro. El espectro de Fourier se suele graficar con ejes logarítmicos, donde el eje de abscisas son las frecuencias, y el eje de ordenadas son las amplitudes en cm/s.

El movimiento del suelo es asumido un comportamiento de ruido blanco, el cual es una idealización matemática de un proceso estocástico estacionario en que todas las frecuencias contribuyen con la misma intensidad al valor medio cuadrático del proceso, donde su densidad espectral de potencia  $S_o$  es constante en todo el rango de frecuencias. En estructuras de bajo amortiguamiento, el espectro de potencia es muy agudo en la vecindad de la frecuencia propia  $w_o$ , teniendo como densidad espectral de potencia (Midorikawa, 1990):

$$S(w) = S_o \frac{1}{(1 - (w/w_n)^2)^2 + 4h^2(w/w_n)^2} \quad (2-16)$$

Donde:

$w_n$ : frecuencia natural

$h$ : coeficiente de amortiguamiento

La frecuencia predominante  $w_n$  se obtiene de la máxima amplitud del espectro. Adicionalmente, el **período predominante de vibración** se determina mediante la siguiente ecuación.

$$T_n = \frac{1}{w_o} \quad (2-17)$$

Donde:

$T_n$ : período predominante de vibración  
 $w_o$ : frecuencia predominante

#### 2.3.4.2. Metodología para la obtención del amortiguamiento

El amortiguamiento es la capacidad de un sistema o cuerpo para disipar energía cinética en otro tipo de energía.

##### Ancho de Banda de Media Potencia

Este método se basa en que el ancho de la densidad espectral de potencia es proporcional a la relación de amortiguamiento del sistema (Wenzel, 2009, pág. 481). Dado los datos originales de la forma  $x(t) \approx e^{-\alpha t} \sin(w_o t)$ , donde  $\alpha = hw_o$ , la densidad espectral de potencia  $G_x(w)$  está dada por

$$G_x(w) = 2\alpha \left( \frac{1}{\alpha^2 + (w + w_o)^2} + \frac{1}{\alpha^2 + (w - w_o)^2} \right) \quad (2-18)$$

cuyo pico corresponde a

$$G_p = G_x(w_o) \approx \frac{2}{\alpha} \quad (2-19)$$

Dado que la lectura de medio pico  $G_p/2$  está dado por  $w = (1 \pm h)w_o$

Y el ancho de pico espectral en la mitad de la potencia  $d_w = 2hw_o$ , obteniéndose

$$h = \frac{d_w}{2w_o} \quad (2-20)$$

Donde:

$h$ : coeficiente de amortiguamiento  
 $w_o$ : frecuencia predominante, corresponde a la máxima amplitud del espectro  
 $d_w$ : ancho del espectro en la mitad de la máxima amplitud

En este método pueden presentarse errores estadísticos, uno de los inconvenientes es cuando falta el pico exacto espectral, además de que es un método inestable ante amplitudes menores al 60% de la máxima amplitud de un registro.

El procedimiento aplicado a los acelerogramas comprende:

1. Separación del registro en eventos (ventanas) con intervalos de tiempo desde 10seg.
2. Cálculo de la densidad espectral de potencia de cada ventana, y su respectivo amortiguamiento.
3. Eliminación de ventanas erróneas, cuyas frecuencias predominantes distan de la frecuencia del registro, y cuyas amplitudes bajas tengan amortiguamientos altos.
4. Cálculo del amortiguamiento promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

Estos resultados se presentan en los ANEXOS 6.1 Y 6.3.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. TOPOGRAFÍA

En base a los objetivos planteados en este estudio, se presentan los resultados más importantes obtenidos, en primer lugar, del levantamiento topográfico realizado a los puentes de Nulti.

El desarrollo de la evaluación comprende en primer lugar el conocimiento de las características de los puentes de Nulti, en especial de la disposición inicial de la superestructura de cada puente, y en base al levantamiento realizado se determinó el cambio en esta condición a partir del grado de deformación real de la estructura. En la Ilustración 3.1 y en la Ilustración 3.2, se muestran el perfil longitudinal de las vigas correspondientes a los puentes Nulti Norte y Nulti Sur, indicándose en ellas la contra-flecha inicial además su deformación actual en el centro de la luz.

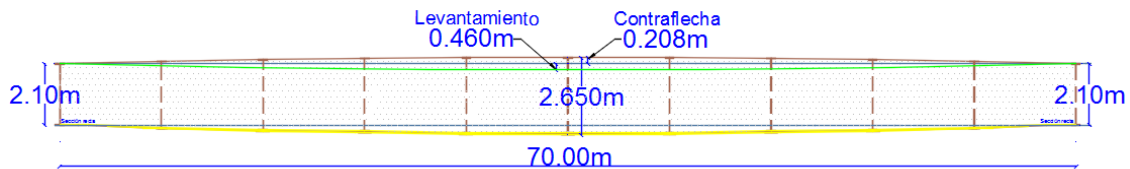


Ilustración 3.1. Disposición inicial de la contra flecha del Puente Nulti Sur.

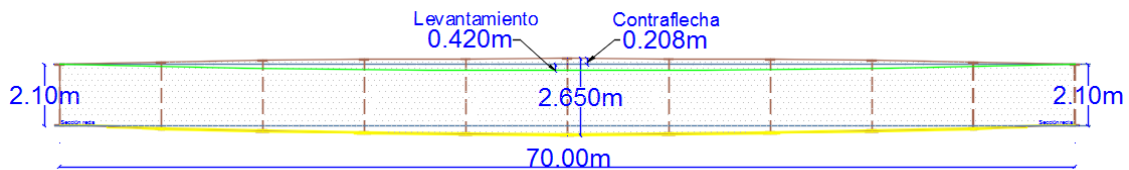
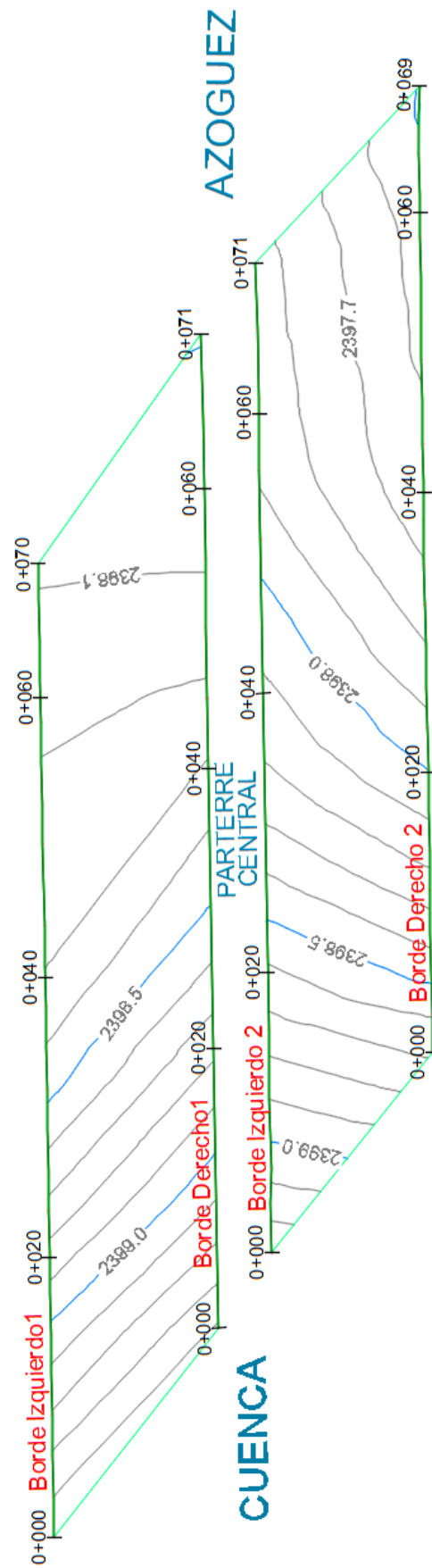


Ilustración 3.2. Disposición inicial de la contra flecha del Puente Nulti Norte.

Como resultado del levantamiento topográfico realizado,

**LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**  
**PUNTES NULTI SUR**



*Ilustración 3.3. Superficie Topográfica Puentes Nulti Sur*

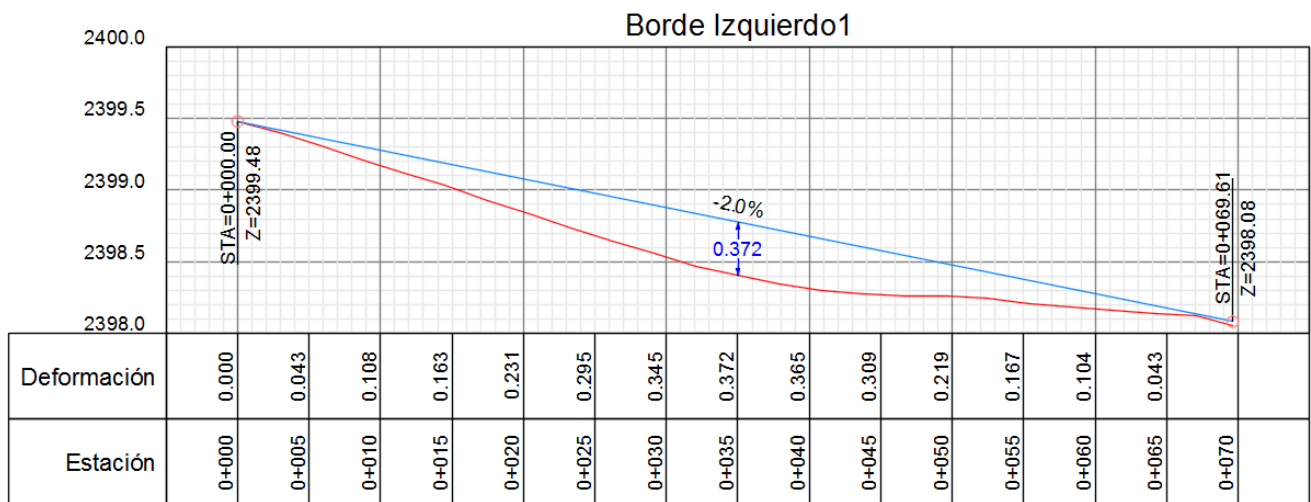


Ilustración 3.4. Borde Izquierdo (Puente 1 Sur) vía Azogues-Cuenca

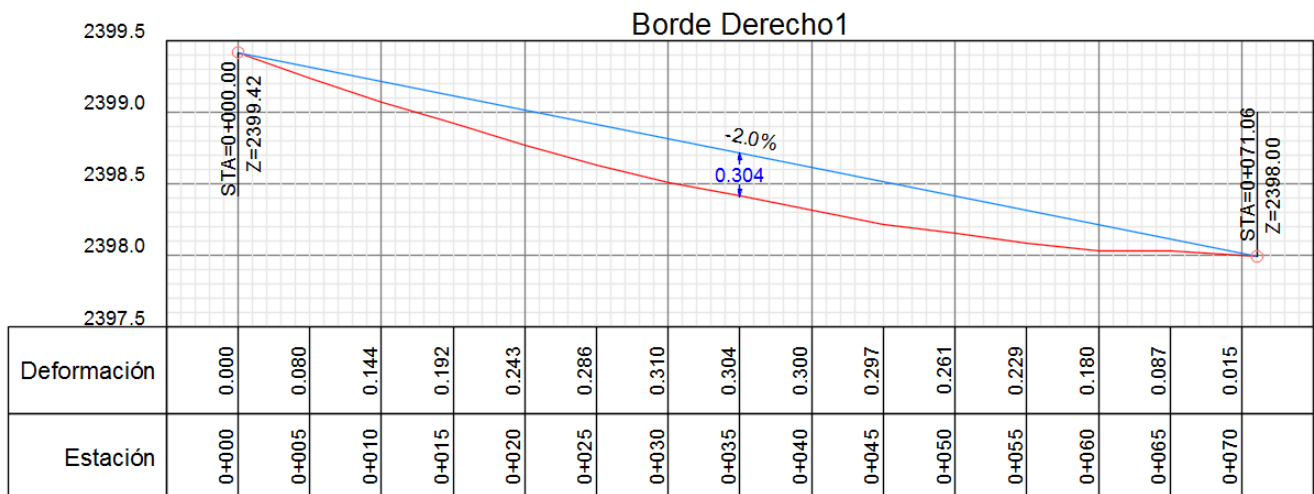


Ilustración 3.5. Borde Derecho (Puente 1 Sur) vía Azogues-Cuenca

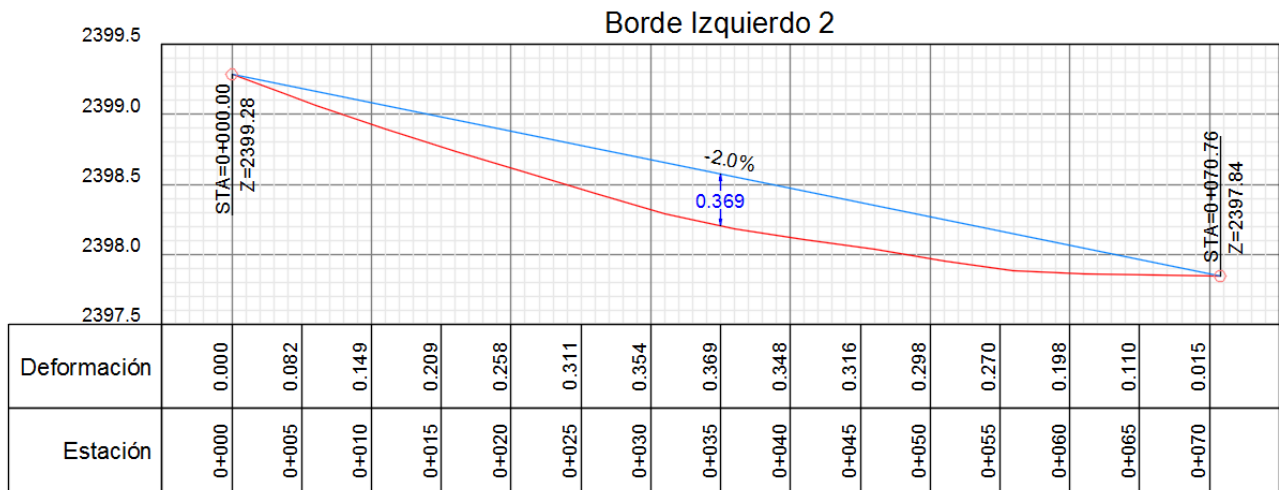


Ilustración 3.6. Borde Izquierdo (Puente 2 Sur) vía Cuenca-Azogues

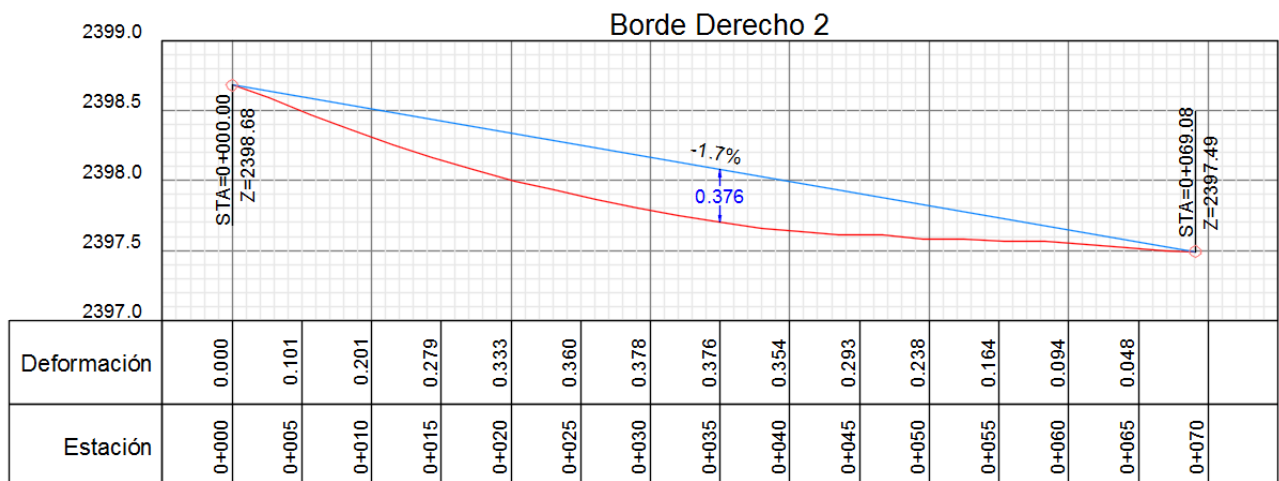


Ilustración 3.7. Borde Derecho (Puente 2 Sur) vía Cuenca-Azogues

## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

### Puentes Nulti Sur

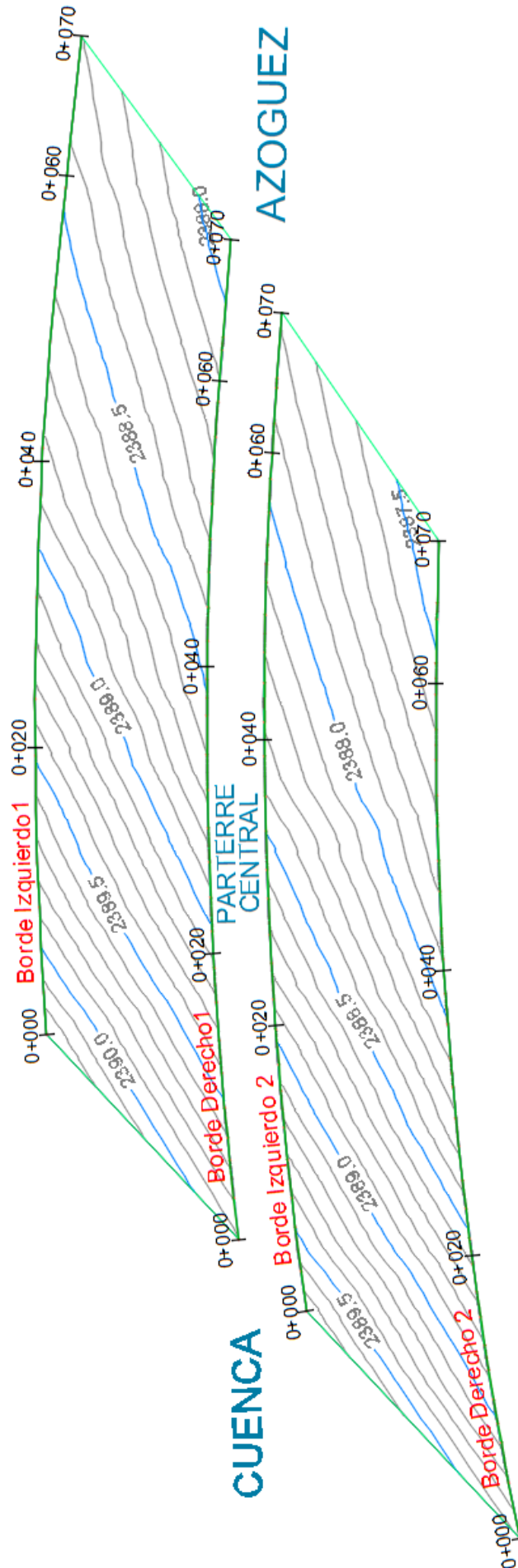


Ilustración 3.8. Superficie Topográfica Puentes Nulti Norte



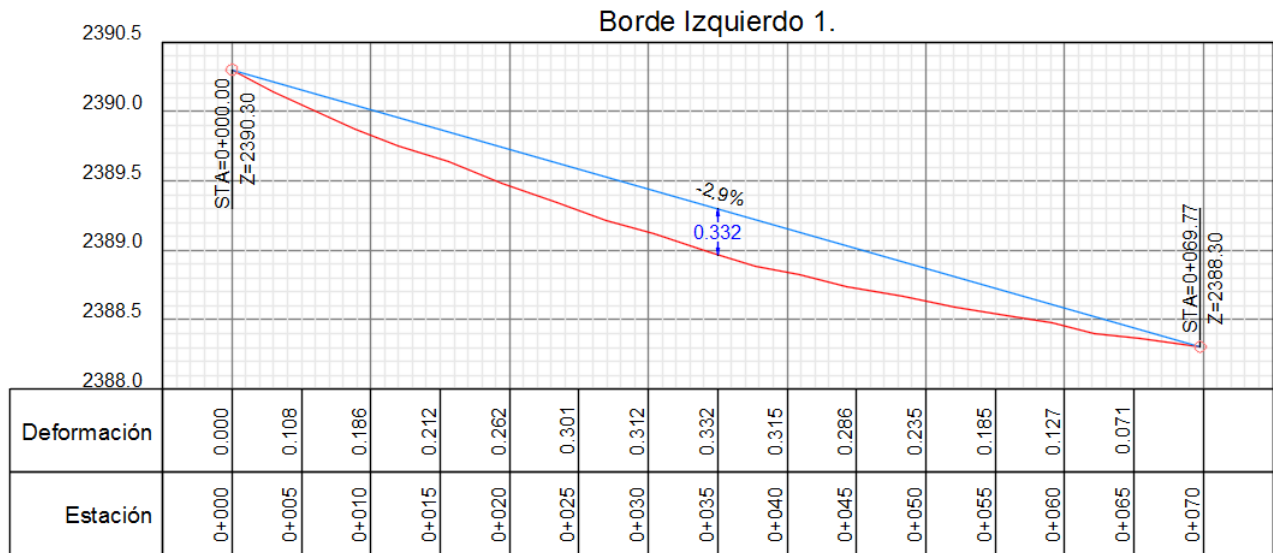


Ilustración 3.9. Borde Izquierdo (Puente 1 Norte) vía Azogues-Cuenca

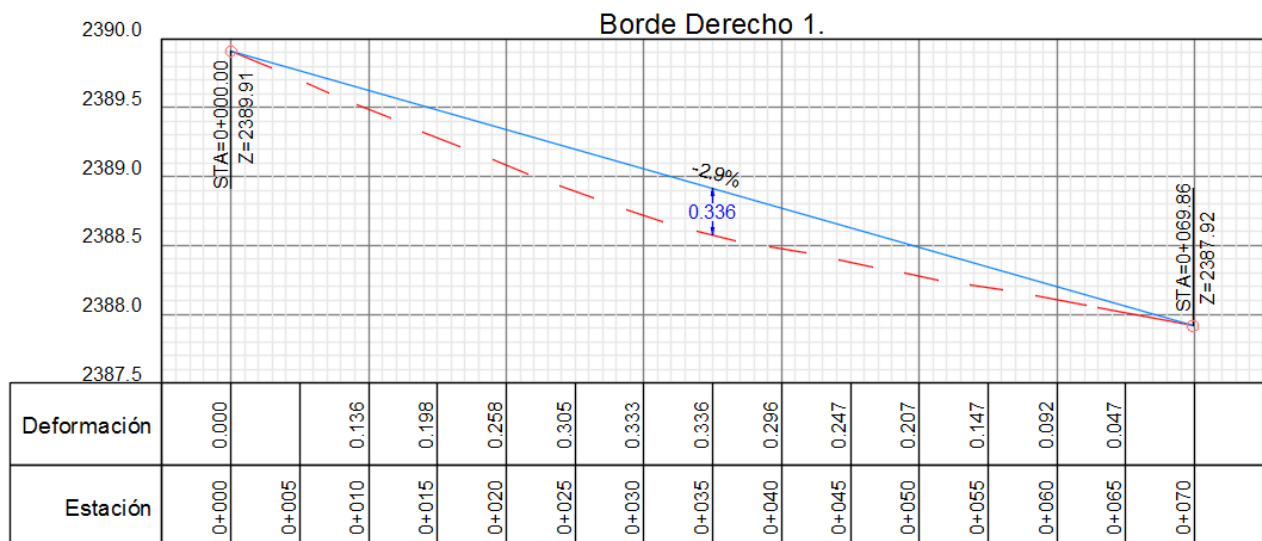


Ilustración 3.10. Borde Derecho (Puente 1 Norte) vía Azogues-Cuenca

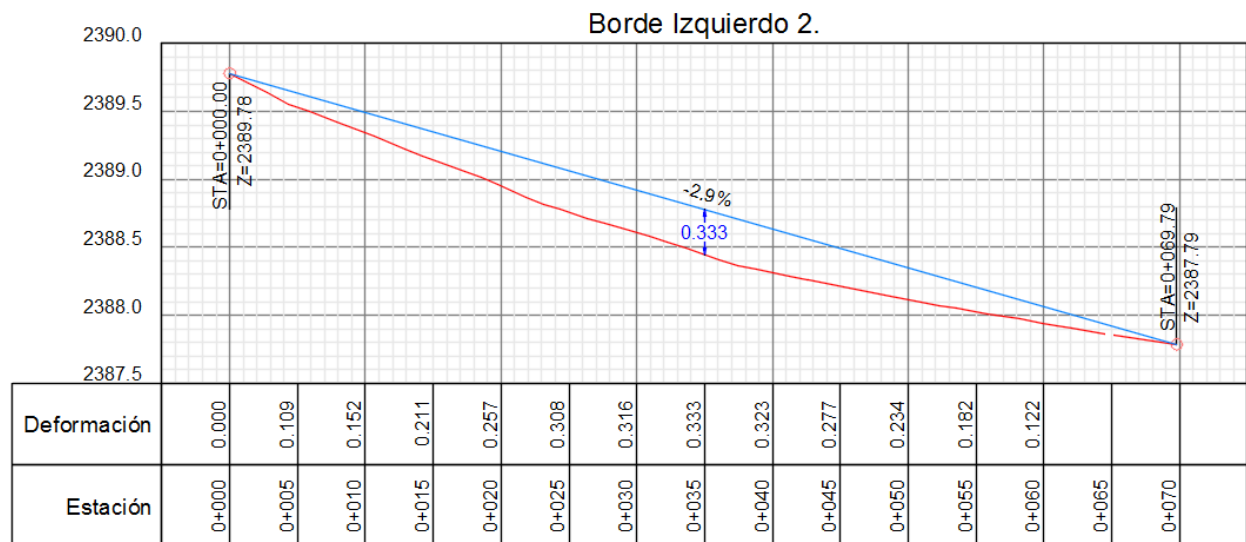


Ilustración 3.11. Borde Izquierdo (Puente 2 Norte) vía Cuenca-Azogues

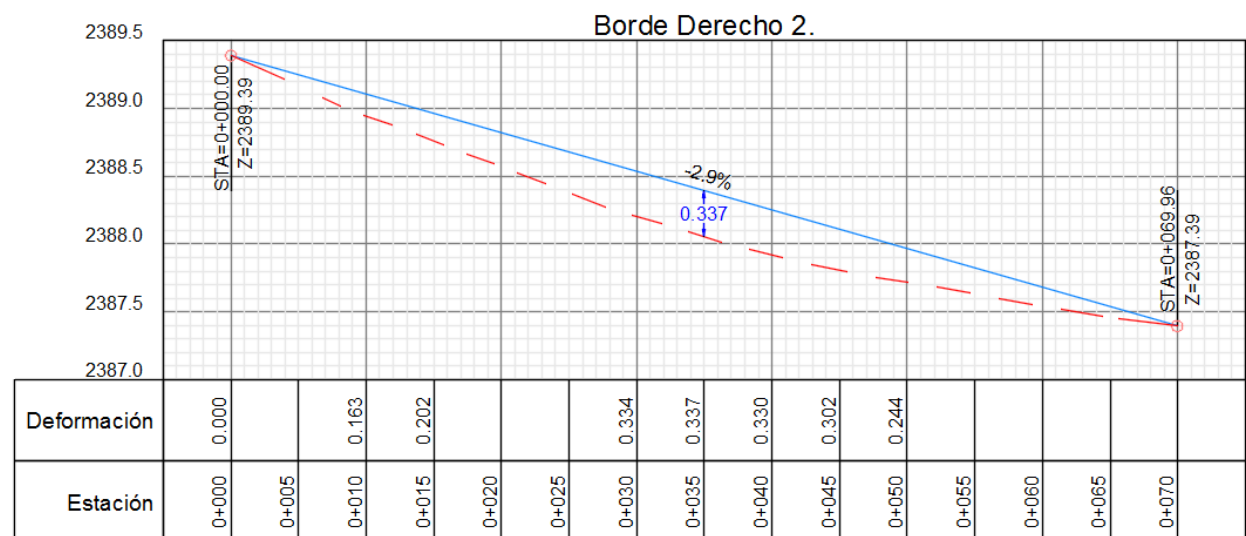


Ilustración 3.12. Borde Derecho (Puente 2 Norte) vía Cuenca-Azogues

Las deflexiones de los puentes de Nulti se resumen en la Tabla 3.1.

	Contra flecha (cm)	Deflexión máxima desde eje (cm)	Deflexión máxima desde contra flecha (cm)
Nulti Sur	20.8	37.6	0.584
Nulti Norte	20.8	33.7	0.545

*Tabla 3.1. Resumen de contra flechas y deflexiones medidas en los puentes de Nulti.*

La Norma AASHTO especifica limitaciones en la deflexión recomendadas para el diseño de puentes bajo consideración de sus cargas de servicio, en la sección 2.5.2.6.2 de la norma se menciona algunos criterios de deflexión, de los cuales la deflexión permitida para el tipo de puente en estudio es  $L/1000$ , donde  $L$  es la luz del puente. Los puentes de Nulti al tener luces de 70 metros su deflexión máxima permitida es 7cm, incumpliendo este parámetro al medirse actualmente 58.6 cm máximo de deflexión en el caso del puente Nulti Sur y 54.5 cm del puente Nulti Norte, desde su posición inicial de la contra-flecha. Sin embargo, este parámetro está sujeto a cierto grado de imprecisión debido a que la toma de datos se realizó sobre la losa del puente, en donde se asume un espesor uniforme de acuerdo a las especificaciones presentadas en los planos estructurales. Esta suposición no es correcta, ya que, según información, presentada en (Campoverde, 2017) y con la verificación de datos en campo (ver ilustración la que corresponda), se evidencia que la capa de asfalto tiene un espesor superior a los 5 cm dados en la memoria de cálculo. Estos valores de espesores de la capa de rodadura varían desde 8 cm en los apoyos, llegando a tomar valores de hasta 20 cm en el centro de la luz producto de los recapeos realizados (Campoverde, 2017).



*Ilustración 3.13. Capa de asfalto máxima debida al recapeo. Fuente. Campoverde, 2017.*

Teniéndose la mayor deformación en el puente Nulti Sur de 37.8cm, este valor indica el incremento de 1.4 cm con respecto a la deformación de 36.4cm (Campoverde, 2017), obtenido en el levantamiento realizado hace aproximadamente 1 año y medio para el puente Nulti Sur.

Por su mayor deflexión, son considerados los Puentes Nulti Sur como puentes críticos, permitiendo así continuar los procesos de modelación y mediciones en campo, dando mayor atención a los puentes mencionados.

### 3.2. MODELACIÓN

De los modelos realizados a continuación se mostrarán los resultados arrojados por el programa de cálculo, estos resultados corresponden a deformaciones máximas producidos por cargas de servicio. Así como también los parámetros dinámicos (periodo y frecuencia) de cada uno de los puentes.

#### 3.2.1. Viga compuesta

Los resultados de la modelación de la viga se muestran en la Tabla 3.2. dando mayor deformación en el punto 7 que corresponde al centro de la luz de la viga (a 35 m) con un valor de 13.37 cm.

PUNTO	SECCION	LONGITUD	EJE Z
		m	cm
1	A	0	0
2	A	2	-1.3201
3	B	7	-4.4813
4	C	14	-8.2804
5	D	21	-11.0888
6	E	28	-12.7994
7	F	35	-13.3684
8	E	42	-12.7994
9	D	49	-11.0888
10	C	56	-8.2804
11	B	63	-4.4813
12	A	68	-1.3201
13	A	70	0

Tabla 3.2. Deformación de una viga debido a su peso propio

#### 3.2.2. Puente Nulti Sur

El periodo fundamental de la estructura es de 0.673892 segundos, al que corresponde una frecuencia de 1.484358 Hz.

Los resultados obtenidos se muestran en la Ilustración 3.14.

#### Estado límite de servicio I

Deformación máxima = 34.08 cm

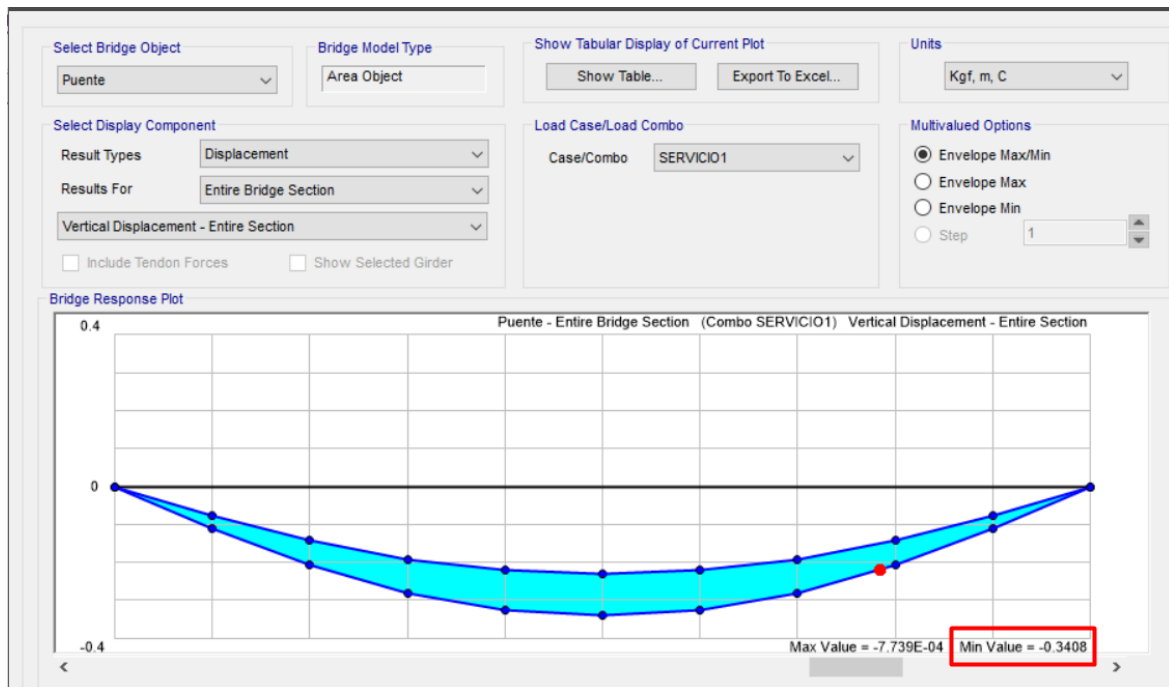


Ilustración 3.14. Desplazamiento Puente Nulti Sur por estado límite de Servicio I. Fuente: Autores.

### 3.2.3. Puente Nulti Norte

El periodo fundamental de la estructura es de 0.612053 segundos, al que corresponde una frecuencia de 1.633845 Hz

Los resultados obtenidos se muestran en Ilustración 3.15.

#### Estado límite de servicio I

Deformación = 23.06 cm

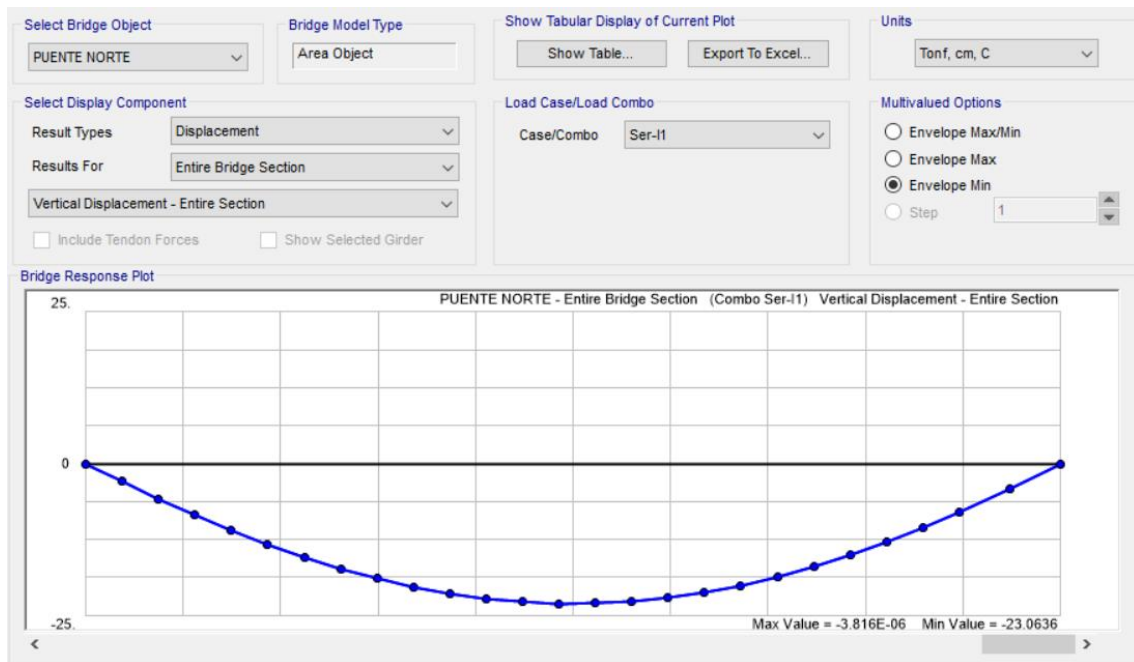


Ilustración 3.15. Desplazamiento puente Nulti Norte por estado límite de Servicio I.

## DEFORMACIONES A LARGO PLAZO

Las deformaciones a largo plazo en puentes según la norma AASHTO se calcularon según las siguientes consideraciones:

- Módulo de elasticidad del hormigón a largo plazo ( $E_{h\_largo\ plazo}$ ), se obtuvo dividiendo el modulo a corto plazo ( $E_h$ ) por el coeficiente de fluencia lenta  $\Psi(t, t_1)$  según la AASHTO C 5.14.3.2.

$$\Psi(t, t_1) = 3$$

$$E_{h\_largo\ plazo} = E_h/3$$

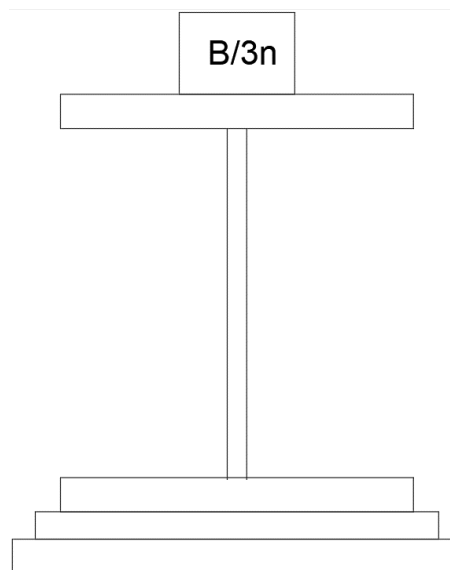
Donde,

t: es la madurez del hormigón.

$t_1$ : es el tiempo cuanto se aplica inicialmente la carga.

El coeficiente de fluencia fue calculado en función de la madurez del hormigón y el tiempo cuando se plica inicialmente la carga, según la ecuación 5.4.2.3.2-1 de la normativa AASHTO.

- Se transforma la nueva sección compuesta equivalente en acero (ver figura 1).



*Ilustración 16: Viga de sección compuesta para cálculo de deformaciones a largo plazo.*

Donde,

B: es el ancho de ala efectiva dado en la ASSHTO 4.6.2.6. Según el análisis se determinó que la viga exterior es la más crítica, así para:

- Nulti sur B=2.4 m.
- Nulti norte B=3.3 m.

$$B_e = \frac{B}{3n}$$

$$n = \frac{E_a}{E_h} = 8$$

Donde:

Ea: es el módulo de elasticidad del acero (2100000 kg/cm<sup>2</sup>)

Eh: es el módulo de elasticidad del hormigón (252671.33 kg/cm<sup>2</sup>)

Be: es el ancho equivalente de la losa de hormigón para deflexiones a largo plazo.

- Nulti sur Be=10 cm.
- Nulti norte Be=13.8 cm.

c) considerando solo las cargas permanentes (DC +DW).

Con esta nueva sección se procedió a calcular la deflexión dando como resultado:

**Nulti sur:** deformación total = 42.2 cm en la viga más crítica (exterior izquierda). La deformación inmediata según el modelo es de 34.8 cm, esperando así una deformación a largo plazo de 7.4 cm, consecuencia de la fluencia lenta del hormigón.

**Nulti norte:** deformación total = 28.8 cm en la viga más crítica (exterior izquierda). La deformación inmediata según el modelo es de 23.06 cm, esperando así una deformación a largo plazo de 5.74 cm, consecuencia de la fluencia lenta del hormigón.

Los resultados tabulados se muestran en la tabla 3.3.

*Tabla 3.3. Resultados de las deformaciones instantáneas y a largo plazo de los puentes de Nulti.*

	deformación instantánea	deformación total	deformación a largo plazo
VIGA	13.37cm	-----	-----
NULTI SUR	34.8cm	42.2cm	7.4cm
NULTI NORTE	23.06cm	28.8cm	5.74cm

### 3.3. ANÁLISIS DE CAMPO

En base al levantamiento de datos de vibración en campo realizado con sensores de aceleración y velocidad se obtuvieron los siguientes registros.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de los datos de velocidad del geófono, como base para el criterio de filtrado en los acelerogramas del puente. Luego de esto, se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los acelerogramas procesados según la metodología planteada en el capítulo 2, Los correspondientes registros con su respectiva gráfica de aceleración, velocidad, desplazamiento y espectro, se presentan en ANEXOS 6.2 y 6.4; y los parámetros dinámicos y espectros las ventanas seccionadas de cada registro se presentan en ANEXOS 6.1 y 6.3.

#### 3.3.1. Resultados obtenidos del geófono

Aplicando la técnica del cociente espectral horizontal/vertical (H/V) en base a registro de vibraciones ambientales, se obtuvo el período fundamental de vibración del depósito de suelo mediante el programa Geopsy, resultando como frecuencia fundamental del suelo 10.26Hz como se indica en la Ilustración 3.17. Por tanto, el período corresponde a 0.097seg. El sitio al estar emplazado sobre suelos fluviales propio en orillas de ríos, presenta un comportamiento dinámico correspondiente a periodos propios de este tipo de suelos dentro del rango de 0-0.2seg (Pinilla, 2012). Este valor es el punto de referencia para eliminar el ruido (frecuencias altas) mediante el filtrado, siendo más notable en los apoyos de los puentes.



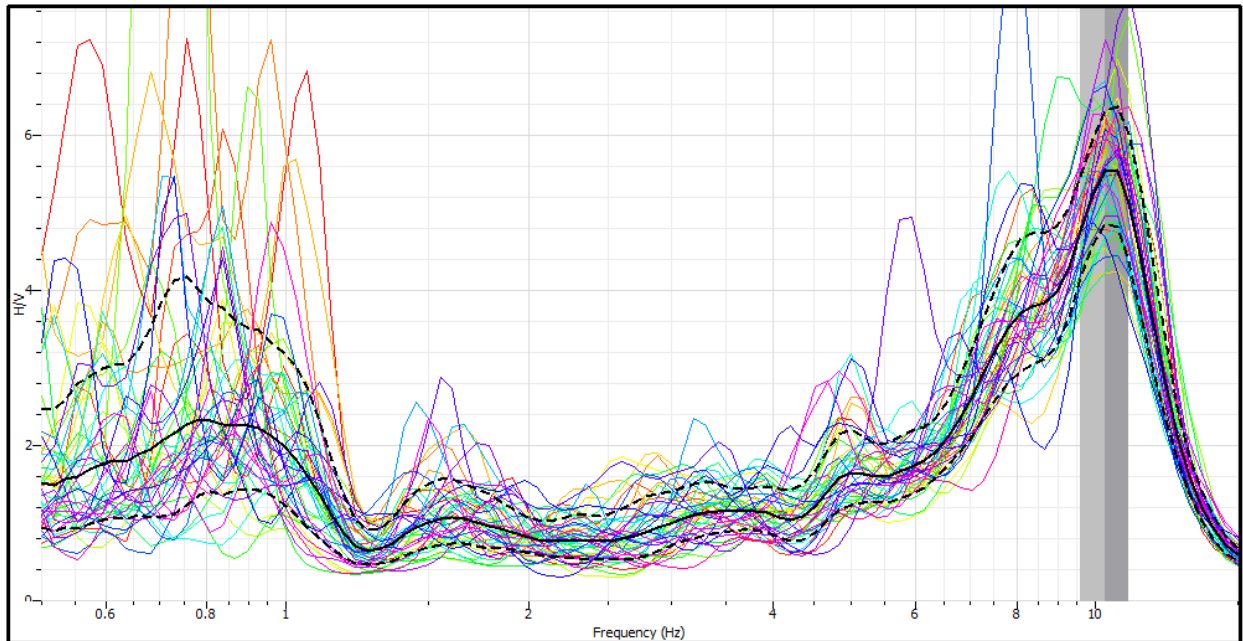


Ilustración 3.17. Cociente espectral H/V para obtención de la frecuencia natural del suelo aledaño a los puentes de Nulti, (Fuente: Autores, obtenido del Programa Geopsy)

### 3.3.2. Resumen de resultados obtenidos de acelerogramas en Puentes NULTI SUR

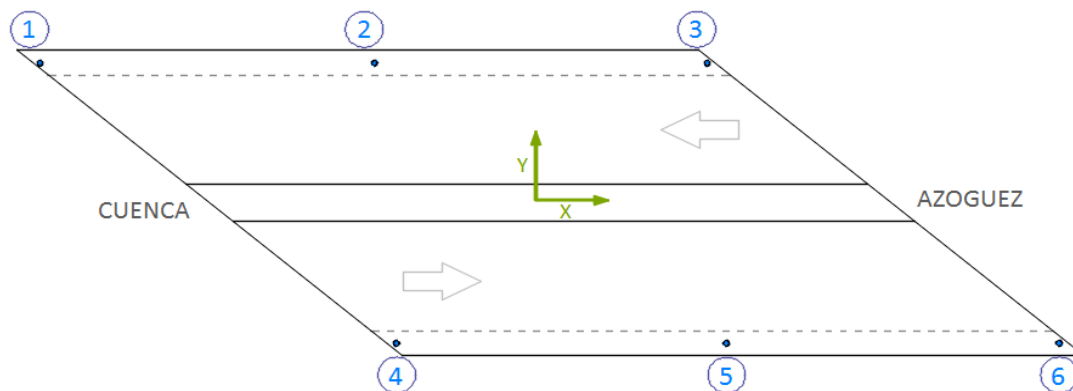


Tabla 3.4: Resumen de los resultados obtenidos de los acelerogramas para el puente Nulti Sur.

Punto-Archivo	EJE	FILTRO	Amáx (cm/s <sup>2</sup> )	Vmáx (cm/s)	Dmáx (cm)	FRECUENCIA (Hertz)	PERÍODO (Seg)	AMORTIGUAMIENTO (Seg)
<b>1</b>	X	0.3-10	4.902	0.381	0.083	1.32	<b>0.76</b>	<b>2.48%</b>
	Y		9.839	0.544	0.108	4.35	<b>0.23</b>	<b>1.70%</b>
	Z		10.112	0.413	0.063	1.48	<b>0.68</b>	<b>2.54%</b>

2	2_Sur_AC_Centro	X	0.1-25	4.920	0.130	0.050	4.29	0.23	1.78%
		Y		10.380	0.410	0.150	2.50	0.40	2.78%
		Z		60.370	6.740	1.140	1.26	0.79	3.37%
3	3_Sur_AC_ApoyoD	X	1.0-10	3.164	0.258	0.029	1.33	0.75	3.17%
		Y		3.998	0.244	0.021	4.35	0.23	1.95%
		Z		13.593	0.535	0.059	1.33	0.75	2.88%
4	4_Sur_CA_ApoyoI	X	0.6-10	2.981	0.153	0.012	1.87	0.53	2.24%
		Y		4.426	0.267	0.018	2.47	0.40	2.90%
		Z		6.849	0.216	0.020	4.36	0.23	2.94%
5	5_Sur_CA_Centro	X	0.1-25	5.880	0.300	0.110	4.36	0.23	1.51%
		Y		7.450	0.340	0.140	4.39	0.23	1.09%
		Z		27.000	3.770	1.130	1.32	0.76	2.48%
6	6_Sur_CA_ApoyoD	X	0.4-10	4.851	0.207	0.025	1.34	0.75	2.22%
		Y		7.802	0.405	0.027	4.39	0.23	1.67%
		Z		6.418	0.228	0.020	4.40	0.23	1.57%

### 3.3.3. Resumen de resultados obtenidos de acelerogramas en Puentes NULTI NORTE

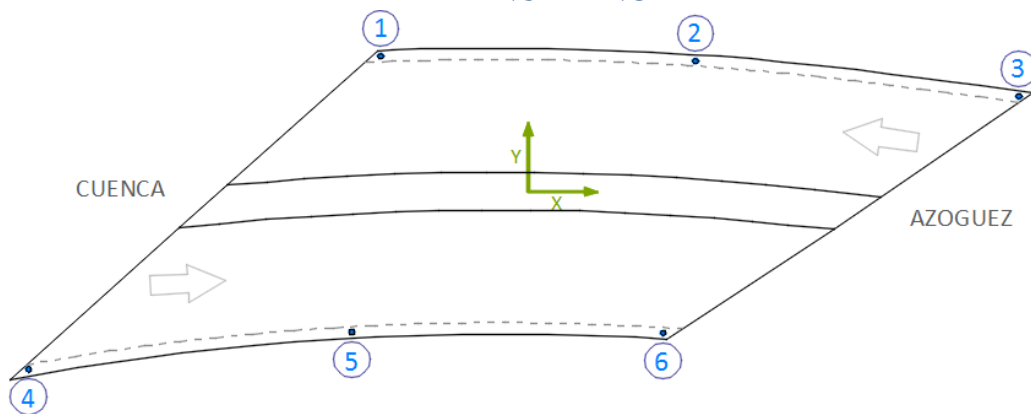


Tabla 3.5: Resumen de los resultados obtenidos de los acelerogramas para el puente Nulti Norte.

Punto-Archivo	EJE	FILTRO	Amáx	Vmáx	Dmáx	FRECUENCIA	PERÍODO	AMORTIGUAMIENTO
			(cm/s <sup>2</sup> )	(cm/s)	(cm)	(Hertz)	(Seg)	(Seg)
1	X	0.3-10	1.105	0.057	0.020	5.03	0.20	1.40%
	Y		1.932	0.062	0.016	7.73	0.13	1.79%

		Z		1.082	0.048	0.006	1.46	<b>0.68</b>	<b>2.60%</b>
<b>2</b>	2_Norte_AC_Centro	X	0.4-25	1.844	0.064	0.004	5.03	<b>0.20</b>	<b>1.92%</b>
		Y		7.998	0.164	0.020	6.16	<b>0.16</b>	<b>2.00%</b>
		Z		20.866	1.243	<b>0.154</b>	1.46	<b>0.68</b>	<b>3.02%</b>
<b>3</b>	3_Norte_AC_ApoyoD	X	0.4-10	3.123	0.346	0.060	1.46	<b>0.68</b>	<b>2.98%</b>
		Y		3.659	0.405	0.073	1.46	<b>0.68</b>	<b>3.14%</b>
		Z		1.563	0.148	0.018	1.46	<b>0.68</b>	<b>2.75%</b>
<b>4</b>	4_Norte_CA_ApoyoI	X	0.4-8	2.429	0.114	0.010	5.00	<b>0.20</b>	<b>2.46%</b>
		Y		3.964	0.185	0.014	4.89	<b>0.20</b>	<b>2.68%</b>
		Z		1.711	0.067	0.005	5.04	<b>0.20</b>	<b>2.70%</b>
<b>5</b>	5_Norte_CA_Centro	X	0.4-25	3.178	0.103	0.009	5.05	<b>0.20</b>	<b>1.58%</b>
		Y		5.324	0.178	0.015	4.92	<b>0.20</b>	<b>1.77%</b>
		Z		25.908	1.812	<b>0.147</b>	2.26	<b>0.44</b>	<b>2.61%</b>
<b>6</b>	6_Norte_CA_ApoyoD	X	0.4-10	1.412	0.075	0.009	1.58	<b>0.63</b>	<b>2.80%</b>
		Y		2.027	0.107	0.013	1.44	<b>0.69</b>	<b>2.53%</b>
		Z		3.095	0.132	0.010	2.21	<b>0.45</b>	<b>2.67%</b>

La evaluación de la respuesta dinámica de los puentes en base a mediciones de vibraciones ambientales ha demostrado ser una herramienta muy poderosa para evaluar la condición estructural de este tipo de infraestructuras. Su aplicación como una técnica no destructiva ha resultado ser muy efectiva; sin embargo, su implementación práctica no es sencilla. En primer lugar, es necesario contar con un modelo matemático de referencia, con objeto de tener información de los parámetros de vibración que representan la condición ideal o sin daño, y que serán los valores con que se compararán las condiciones futuras o subsecuentes. En segundo lugar, la medición experimental se debe planificar cuidadosamente para obtener la información deseada, usar la instrumentación adecuada respecto a la sensibilidad y nivel de detalle de información requerida, además del daño que puede presentar una estructura en funcionamiento, evitar los errores de medición y considerar un tiempo apropiado para determinar un buen contenido de frecuencias. Finalmente, definir un buen tratamiento y procesamiento para su interpretación, y posterior evaluación con códigos de diseño y verificar las condiciones de operación de un puente con respecto a los criterios con que fue diseñado.

De los periodos obtenidos en:

**Puente Nulti Sur:** es de 0.79seg y una variación estándar de 0.02 en el tablero Azogues-Cuenca y 0.76seg y una variación estándar de 0.01 en el tablero Cuenca-Azogues. Registrándose aceleraciones de 60.37 y 27cm/s<sup>2</sup> respectivamente, así mismo amplitudes de 1.14 y 1.13cm respectivamente.

**Puente Nulti Norte:** es de 0.68seg y una variación estándar de 0.03 en el tablero Azogues-Cuenca y 0.44seg y una variación estándar de 0.06 en el tablero Cuenca-Azogues. Registrándose aceleraciones de 20.87 y 25.90cm/s<sup>2</sup> respectivamente, así mismo amplitudes de 0.15 y 0.14cm respectivamente.

Con respecto a los amortiguamientos, el valor del coeficiente de amortiguamiento indica la capacidad de disipación de energía en la estructura, según la AASHTO en su sección 4, indica amortiguamiento del 1% en puentes, los amortiguamientos obtenidos experimentales analizados respecto al eje vertical, se resumen de acuerdo a la Tabla 3.6.

*Tabla 3.6: Resultados de amortiguamientos en los puentes de Nulti.*

	<b>Puentes Nulti Sur</b>		<b>Puentes Nulti Norte</b>	
	Azogues-Cuenca	Cuenca-Azogues	Azogues-Cuenca	Cuenca-Azogues
<b>Apoyo Izquierdo</b>	2.54%	2.94%	2.60%	2.70%
<b>Centro</b>	3.37%	2.48%	3.02%	2.61%
<b>Apoyo Derecho</b>	2.88%	1.57%	2.75%	2.67%

Como se observa en ambos tableros Norte y Sur en sentido Azogues-Cuenca se observan amortiguamientos mayores al 3% en el centro del puente, siendo mayor para el Tablero Sur; y menores al 3% en los apoyos.

En este caso, no se cuenta con una línea base propia del sistema sin daño para comparación, sin embargo, esta línea de base puede generarse a partir de modelos teóricos del comportamiento deseado, o también se puede encontrar a partir de la experiencia con estructuras similares (Wenzel, 2009, pág. 126). Por ello, se opta por establecer un punto de comparación con una estructura similar, por ejemplo, el Puente Europa cuya superestructura compuesta por vigas de acero de hasta 2.75m de peralte y losa de hormigón, cuenta con una luz de 70m, periodo de 0.56seg, (Barrera, 2001).

<b>PUENTE</b>	<b>AMORTIGUAMIENTO máximo centro del puente(%)</b>
Puente Nulti Sur	3.37%
Puente Nulti Norte	3.02%
Europa (Lumagpamba)	2.03%

*Tabla 3.7. Comparación de amortiguamientos. Fuente: Autores.*

Algunas conclusiones presentadas en (Wenzel, 2009, pág. 123 y 197), respecto a mediciones tomadas en varios puentes de hormigón, se han obtenido valores de amortiguamiento mayores en presencia de daño en comparación a su condición sin daño. Es decir, un puente con daño presenta un incremento en su amortiguamiento. Esta situación se evidencia en los puentes de estudio de acuerdo a la Tabla 3.7.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### PARÁMETROS DINÁMICOS

La norma AASHTO en su comentario C2.5.2.6.1 menciona que en puentes metálicos las deformaciones excesivas debidas a cargas de servicio pueden provocar daños (se producen fisuras) en el tablero de hormigón y capa de rodadura, esto no necesariamente representa una muestra significativa de daño severo y potencial colapso en los puentes, sin embargo,

afecta a la serviciabilidad y durabilidad debido al deterioro del tablero y como consecuencia una disminución en la rigidez.

Tomando como base teórica el comentario analizamos los puentes y llegamos a las siguientes conclusiones:

- Nulti Sur: Periodo natural del modelo  $T_n=0.67$  seg. Periodo natural experimental resultó para el tablero Azogues-Cuenca 0.79 seg y, el tablero Cuenca-Azogues 0.76 seg. Es decir, un incremento del 18% en su periodo natural.
- Nulti Norte: Periodo natural del modelo  $T_n=0.61$  seg. Período experimental resultó para el tablero Azogues-Cuenca 0.68 seg y, el tablero Cuenca-Azogues 0.44 seg. Por lo tanto, el tablero Azogues-Cuenca presenta aumento del 11.5%, y el tablero Cuenca-Azogues una disminución de 38.6%, mostrando una mayor rigidez que el modelo, por lo que se supone que este tablero no ha sufrido daño.

Con estos valores y debido al deterioro evidente en la calzada se puede notar que el puente Nulti Sur presenta mayor daño.

En los puentes de Nulti, de condiciones semejantes al puente Europa se tienen amortiguamientos mayores de acuerdo a la Tabla 3.7 hasta en un 66%, aunque las condiciones de cada puente difieren poco, sólo como referencia en puentes de hormigón sin daño se tienen amortiguamientos alrededor de 1.2% (Wenzel, 2009, pág. 123), y además se recomienda para puentes una amortiguamiento del 1,5% suficiente para suprimir vibraciones no deseadas (Wenzel, 2009, pág. 31). Por tanto, el amortiguamiento mayor al 3% de los puentes de Nulti, da un indicio de daño, y sería un punto de partida para un futuro control de este parámetro.

## METODOLOGÍA DE CAMPO

- Entre las ventajas que se encontraron en el desarrollo de esta metodología tenemos: fácil aplicación de las operaciones en campo e interpretación de los resultados sin la necesidad de realizar pruebas complejas, es económica ya que elimina la necesidad de dispositivos de prueba de carga y en el caso de puentes con grandes claros generalmente es necesario el cierre parcial de algunos carriles a menos que se disponga de equipos inalámbricos. Sin embargo, con esta metodología no se necesita interrumpir del tráfico y las pruebas no son de carácter destructivo.

## DEFORMACIONES

- Viga: La deformación de la modelación de la viga debido a su peso propio es 13.67 cm, el cual supera a la recomendación dada por la AASHTO que es de  $L/1000 = 7$  cm para puentes simplemente apoyados.
- Sección Entera: De acuerdo a lo estipulado en el art. 6.10.1.1.1a de la AASHTO, sección en donde se especifica el diseño de secciones requeridas para puentes conformados con vigas de acero y losas de hormigón son las siguientes:
  - a.- Para construcciones no apuntaladas se deberá tomar en cuenta la sobre carga debido a carga muerta, estas solicitaciones serán soportadas únicamente por la sección se la viga de acero.

b.- Para secciones construidas apuntaladas la sobre carga está dada por las cargas muertas y vivas y la sección que soporta estas solicitaciones se tomara como una sección compuesta entre las vigas de acero y la losa de hormigón.

De lo anteriormente expuesto y tomando en cuenta que la viga únicamente con su peso propio supera el límite de deformación dado en la norma, se toma como valor referencial para el modelo el literal b, teniendo lo siguiente para los puentes:

- Nulti sur: deformación máxima en el centro de la luz de 34.08 cm y, considerando que la contra flecha es de 20.8 cm más la deformación máxima de 7 cm permitidos en la norma. Este valor excede en 6.28 cm este límite. Por lo tanto, podemos concluir que para las solicitaciones de cargas a las que se encuentra sometido el puente, las secciones colocadas no son lo suficientemente rígidas.
- Nulti Norte: deformación máxima en el centro de la luz de 23.06 cm y, considerando que la contra flecha es de 20.8 cm más la deformación máxima de 7 cm permitidos en la norma. Este valor tiene 4.74 cm de holgura para superar este límite. Por lo tanto, podemos concluir que para las solicitaciones de cargas a las que se encuentra sometido el puente, las secciones colocadas son satisfactorias.

Las deformaciones obtenidas en el levantamiento topográfico se presentan en la Tabla 4.1.

*Tabla 4.1: Deformaciones obtenidas del levantamiento topográfico.*

PUENTE	Deflexión máxima	Contra flecha	limite (L/1000)	Deformación adicional
Nulti Sur	37.8 cm	20.8 cm	7 cm	10 cm
Nulti Norte	33.7 cm	20.8 cm	7 cm	5.9 cm

Como se puede observar, actualmente ambos puentes sobrepasan los límites de deformación dados en la Norma AASHTO para este tipo de puentes. EL puente Nulti Sur supera con 10 cm la especificación y es el más crítico, por su parte el puente Nulti Norte supera en 5.9 cm el valor dado en la especificación.

Por otra parte las deformaciones obtenidas del se presentan en la Tabla 4.1.

*Tabla 4.2: Resumen de deformaciones obtenidas del modelo.*

	deformación instantánea	deformación total	deformación a largo plazo
NULTI SUR	34.8cm	42.2cm	7.4cm
NULTI NORTE	23.06cm	28.8cm	5.74cm

Al realizar un análisis comparativo entre la deformación obtenida del levantamiento:

Nulti Sur: flecha (37.6 cm) más la contra flecha (20.8 cm) vs la deformación instantánea más la deformación a largo plazo obtenida del modelo (46.88), resulta que en la realidad la deformación que presenta el puente de Nulti Sur ha excedido en 11.52 cm el valor esperado.

Nulti Sur: flecha (33.7 cm) más la contra flecha (20.8 cm) vs la deformación instantánea más la deformación a largo plazo obtenida del modelo (42.72), resulta que en la realidad la deformación que presenta el puente de Nulti norte ha excedido 11.78 cm el valor esperado.

Por lo tanto, las secciones de viga colocado en el puente no son satisfactorias para las sollicitaciones de carga a los que están sometidos los puentes de Nulti, además debido a estas grandes deformaciones la sección del puente podría haber cambiado su rigidez consecuencia del daño que ha sufrido el tablero.

Estas grandes deformaciones pueden ser producto del aumento del peso debido a la capa de rodadura agregada posterior a su puesta en funcionamiento. El espesor de la capa de rodadura llega a tener un valor de hasta 20 cm en el centro del puente (Campoverde, 2017), otras de las causas que podrían influir, serían irregularidades en la construcción como: materiales de menor calidad a las especificadas en la memoria de cálculo, deficiencias en el proceso constructivo, entre otras. Estas deformaciones influyen en el cambio del período natural de la estructura.

## RECOMENDACIONES

Resulta importante dar seguimiento al comportamiento dinámico de la estructura en forma periódica anual, realizando las mediciones de vibración en los mismos puntos, con la finalidad de prevenir desviaciones importantes de las frecuencias naturales de vibración que evidencien incremento de daño en la estructura. Sin embargo

La evaluación de la respuesta dinámica de los puentes en base a mediciones de vibraciones ambientales ha demostrado ser una herramienta muy poderosa para evaluar la condición estructural de este tipo de infraestructuras. Su aplicación como una técnica no destructiva ha resultado ser muy efectiva. Sin embargo, para su implementación práctica se recomienda: En primer lugar, es necesario modelar la estructura con algún software de cálculo para obtener su periodo natural, estos serán valores de referencia para las condiciones futuras. En segundo lugar, para la medición experimental se debe usar la instrumentación adecuada respecto a la sensibilidad, y nivel de detalle de la información. Finalmente, definir el tratamiento y procesamiento adecuado para la interpretación de los datos medidos en campo, para posterior a ello, contrastar los resultados con las recomendaciones dadas en la normativa empleada para el diseño.

A partir de los resultados obtenidos en este estudio y en estudios realizados a nivel internacional, se debería proponer e incentivar programas de monitorización de estructuras a fin de estudiar el comportamiento real de la estructura dando un seguimiento continuo a su respuesta dinámica e ir monitoreando periódicamente la presencia o no de daño.



## 5. REFERENCIAS

- AASHTO. (2002). *The AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. Washington, DC.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Aldea, A., Liba, M., Demetriu, S., & Kashima, T. (2007). Evidence Of Soil-Structure Interaction From Earthquake Records At A High-Rise Building Site In Bucharest, 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Thessaloniki June 25-28, 2007, CD-ROM, Paper No. 1523.
- Alghuhane, T., Khalil, A., Fayed, M., & Ismail, A. (2015). Ambient Vibration Testing of Existing Buildings in Madinah. *World Academy of Science, Engineering and Technology*.
- Barrera, L. (2001). Estudio de la respuesta dinámica ante solicitaciones de impacto y cargas de servicio en puentes tipo de la provincia del Azuay. Cuenca.
- Campoverde, E. (2017). *Evaluación del estado tenso-deformacional del puente Nulti Sur*. Cuenca.
- Carreño, E., Bravo, B., Suarez, A., & J.M. Torde, S. (1999). Registro y Tratamiento de Acelerogramas. *Instituto Geográfico Nacional*. Obtenido de <http://revistas.ucm.es/fis/02144557/articulos/FITE9999110081A.PDF>
- Dunand, F., Bard, P., Chatelain, J., & Gueguen, P. (2004). Evidence of Soil-Structure Interaction from Ambient Vibrations - Consequences on Design Spectra. Proceedings Third UJNR Workshop on Soil-Structure Interaction, March 29-30, 2004, Menlo Park, California, USA, 7p.
- Hidalgo, D. (agosto de 2011). Procesamiento de los acelerogramas de la red de acelerógrafos de la ciudad de Quito. Quito, Ecuador.
- Hudson, D. (1979). Reading and interpreting strong motion accelerograms. *Earthquakes Engineering Research Institute*.
- Midorikawa, S. (1990). Ambient vibration tests of building in Santiago and Viña del Mar. Chile. *Universidad Católica de Chile*.
- Oppenheim, A., & Schafer, R. (2011). *Tratamiento de señales en tiempo discreto. 3° Edición*. Madrid: Pearson.
- Parra, D., & Farfán, J. (2001). Determinación de periodo y amortiguamiento de edificios de la ciudad de Cuenca, mediante vibraciones ambientales. Cuenca.
- Pinilla, C. (2012). *Correlación entre el perfil de velocidad de propagación de ondas de corte y el espectro de respuesta en suelos*. Santiago de Chile.
- Ruiz, P. (1972). Aspectos Probabilísticos de las Vibraciones, Publicación del Departamento de Ingeniería Estructural de la Universidad Católica de Chile. N° 72 - 1.



Trifunac, M., & Moslem, K. (1986). Effects of Soil Structure Interaction on the Response of Buildings During Strong Earthquake Ground Motions, Department of Civil Engineering. *Report CE 86-04, University of Southern Calif., Los Angeles, California.*

Wenzel, H. (2009). *Health Monitoring of Bridges*. Vienna, Austria: John Wiley & Sons, Ltd.

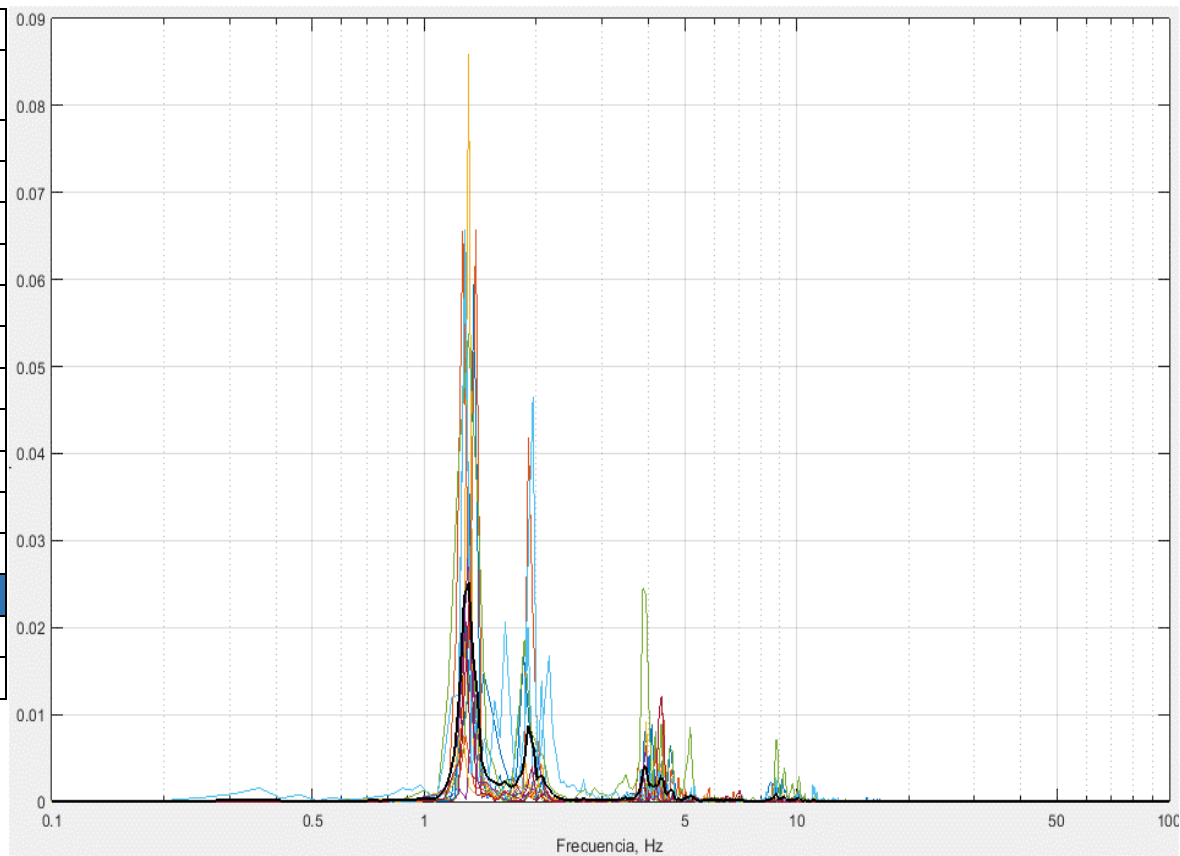
## 6. ANEXOS

### *6.1. Espectros de Fourier y Parámetros Dinámicos Puentes Nulti Sur*



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO**

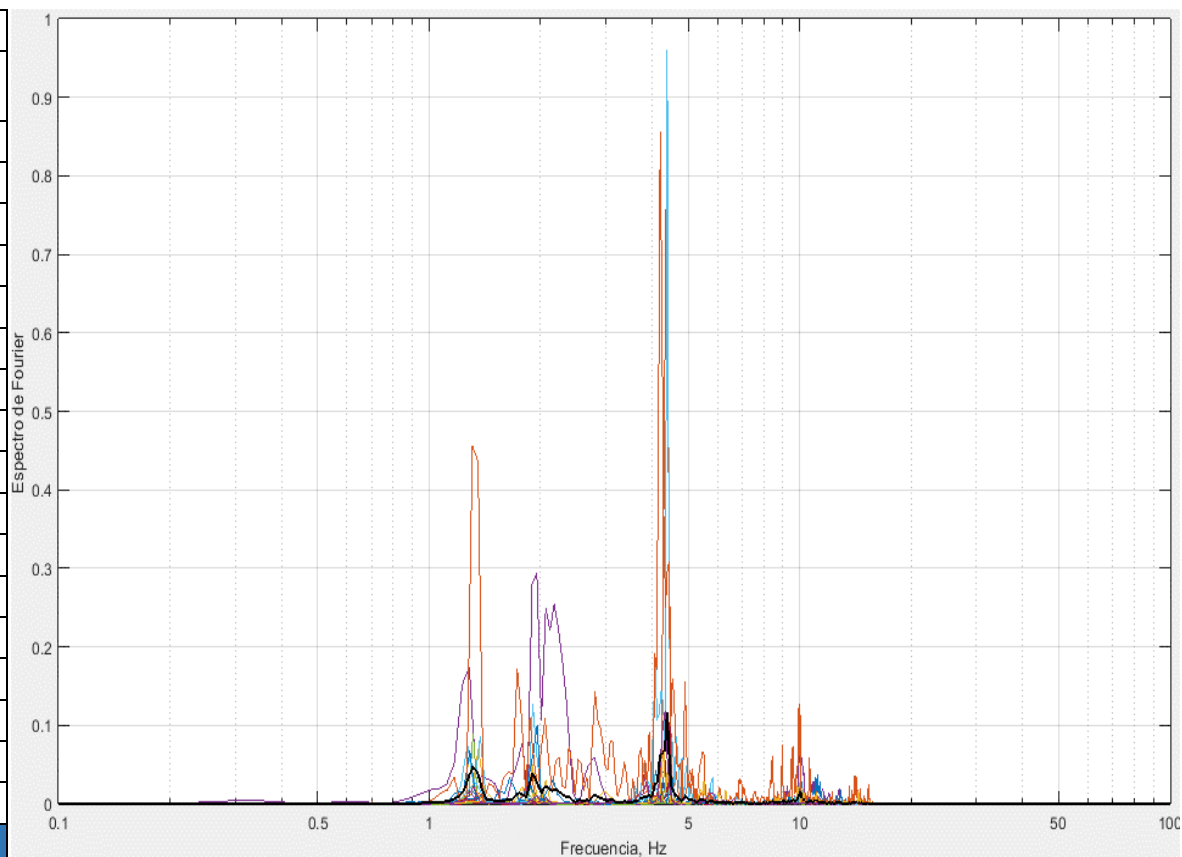
1_Sur_AC_Apoyol_x							
#	<i>Duración</i>	<i>Ti</i>	<i>Tf</i>	<i>Amplitud Espectro</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Período</i>	<i>Coef. Amort</i>
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	16.91	128.6	145.5	0.06	1.36	0.74	2.49
2	13.93	174.3	188.3	0.01	1.29	0.77	3.26
3	27.36	187.8	215.1	0.09	1.32	0.76	1.56
4	15.42	261.4	276.8	0.01	1.36	0.73	2.44
5	17.91	296.2	314.1	0.06	1.28	0.78	2.48
6	19.40	327	346.4	0.02	1.29	0.78	2.21
7	18.90	381.3	400.2	0.07	1.38	0.73	2.24
8	15.91	401.2	417.1	0.01	1.26	0.80	3.1
9	19.40	477.8	497.2	0.07	1.29	0.78	2.28
10	15.92	549.9	565.8	0.02	1.32	0.76	2.77
<b>Promedio</b>					<b>1.32</b>	<b>0.76</b>	<b>2.48</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.04	0.02	0.48
<b>Coef. Variación</b>					3.0%	3.1%	19.4%





**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO**

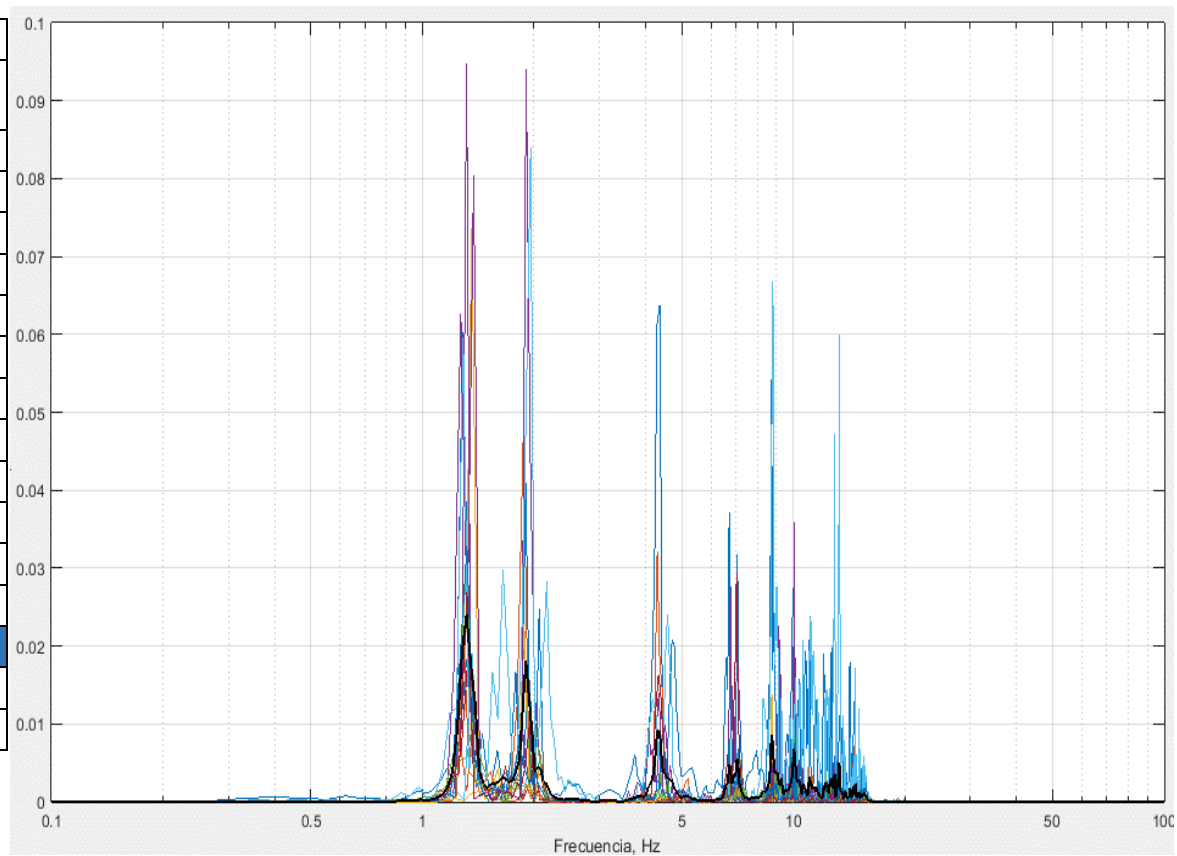
1_Sur_AC_Apoyol_y							
	<i>Duración</i>	<i>Ti</i>	<i>Tf</i>	<i>Amplitud</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Período</i>	<i>Coef. Amort</i>
	<i>(seg)</i>	<i>(seg)</i>	<i>(seg)</i>	<i>Espectro</i>	<i>(seg)</i>	<i>(seg)</i>	<i>(%)</i>
1	14.43	50.98	65.41	0.04	4.09	0.24	1.26
2	14.42	107.7	122.1	0.79	4.37	0.23	1.52
3	16.91	128.6	145.5	0.07	1.36	0.74	2.50
4	27.36	187.8	215.1	0.09	1.32	0.76	1.60
5	13.43	215.1	228.6	0.05	4.02	0.25	1.38
6	11.44	228.6	240	0.01	4.37	0.23	1.24
7	15.92	245.5	261.4	0.02	1.88	0.53	2.08
8	15.42	261.4	276.8	0.01	1.36	0.73	2.47
9	19.40	327	346.4	0.02	1.29	0.78	2.28
10	15.42	362.4	377.8	0.02	1.88	0.53	1.96
11	18.90	381.3	400.2	0.96	4.39	0.23	0.74
12	15.91	401.2	417.1	0.1	4.46	0.22	0.78
13	19.40	477.8	497.2	0.1	1.96	0.51	2.55
14	21.39	507.1	528.5	0.86	4.21	0.24	1.60
15	21.39	528.5	549.9	0.07	4.3	0.23	1.13
16	15.92	549.9	565.8	0.12	4.33	0.23	2.04
<b>Promedio</b>					<b>3.10</b>	<b>0.42</b>	<b>1.70</b>
<b>Desviación Est.</b>					<b>1.40</b>	<b>0.23</b>	<b>0.59</b>
<b>Coef. Variación</b>					<b>45.3%</b>	<b>55.0%</b>	<b>35.0%</b>





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

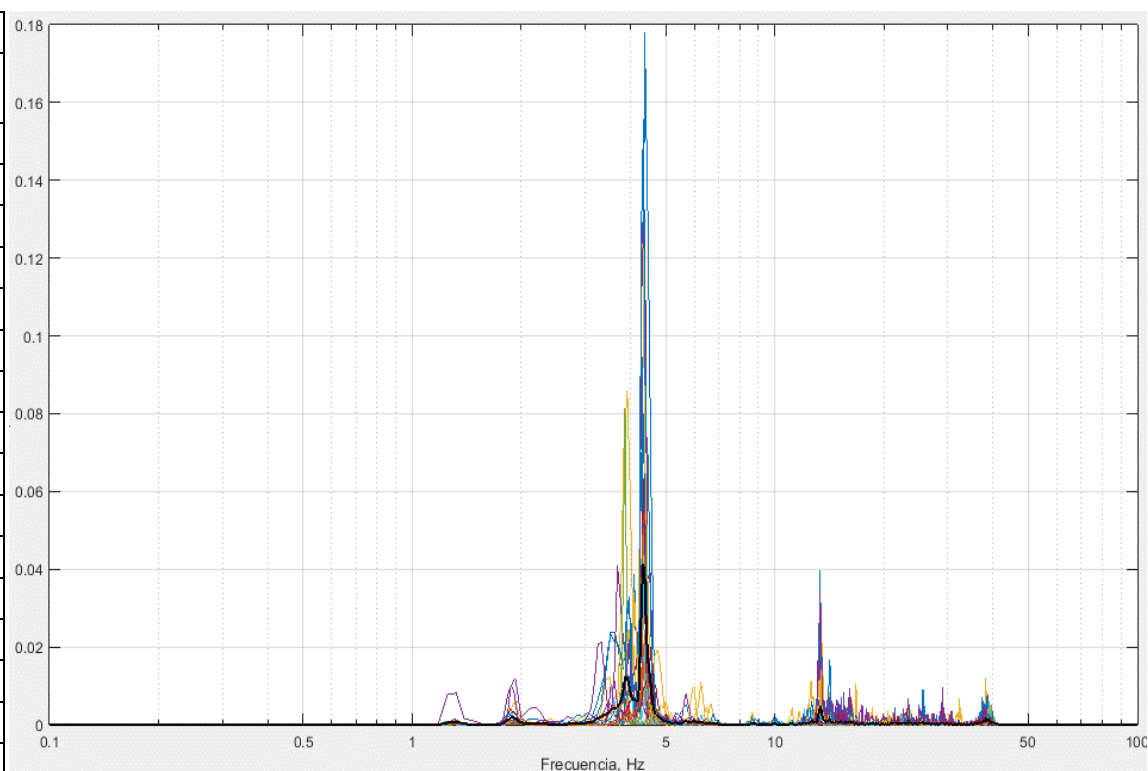
1_Sur_AC_Apoyol_z							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud	Frecuencia	Período	Coef. Amort,
	(seg)	(seg)	(seg)	Espectro	(seg)	(seg)	(%)
1	16.91	128.6	145.5	0.07	1.36	0.74	2.45
2	27.36	187.8	215.1	0.09	1.32	0.76	1.55
3	15.92	245.5	261.4	0.02	1.88	0.53	2.07
4	15.42	261.4	276.8	0.02	1.36	0.73	2.44
5	14.92	281.8	296.7	0.02	1.34	0.75	3.44
6	17.91	296.2	314.1	0.06	1.28	0.78	2.53
7	19.40	327	346.4	0.02	1.29	0.78	2.24
8	15.42	362.4	377.8	0.02	1.88	0.53	1.89
9	18.90	381.3	400.2	0.09	1.90	0.53	1.98
10	12.94	417.1	430	0.03	1.31	0.76	3.58
11	15.92	586.7	602.6	0.03	1.32	0.76	3.81
Promedio					1.48	0.70	2.54
Desviación Est.					0.26	0.11	0.74
Coef. Variación					17.9%	15.4%	29.3%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

2_Sur_AC_Centro_x							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	10.50	6.74	17.24	0.18	4.38	0.23	2.26
2	13.49	24.73	38.22	0.06	4.37	0.23	1.01
4	11.99	56.7	68.69	0.09	3.92	0.26	3.11
5	12.99	68.69	81.68	0.13	4.31	0.23	2.07
6	14.99	81.68	96.67	0.01	4.37	0.23	2.98
7	25.98	96.67	122.65	0.02	4.35	0.23	1.19
8	14.48	125.15	139.63	0.06	4.35	0.23	1.36
9	12.99	170.11	183.1	0.01	3.92	0.25	1.33
10	13.49	202.58	216.07	0.02	4.37	0.23	1.08
11	14.99	216.07	231.06	0.01	3.93	0.25	1.35
13	14.49	274.02	288.51	0.08	3.86	0.26	1.05
14	14.99	288.51	303.5	0.04	4.27	0.23	1.73
15	10.99	313.99	324.98	0.02	4.55	0.22	1.11
16	13.99	359.45	373.44	0.08	4.32	0.23	2.13
17	12.49	377.44	389.93	0.02	4.4	0.23	1.77
18	20.99	406.41	427.4	0.12	4.29	0.23	1.82
19	23.49	430.89	454.38	0.05	4.34	0.23	1.54
20	13.98	454.38	468.36	0.01	4.43	0.23	1.96
21	14.99	466.86	481.85	0.01	4.4	0.23	1.4
22	19.49	481.35	500.84	0.02	4.54	0.22	3.36
23	15.99	545.8	561.79	0.16	4.35	0.23	1.66
24	13.49	561.79	575.28	0.05	4.33	0.23	1.93
<b>Promedio</b>					<b>4.29</b>	<b>0.23</b>	<b>1.78</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.20	0.01	0.67
<b>Coef. Variación</b>					4.6%	4.7%	37.5%

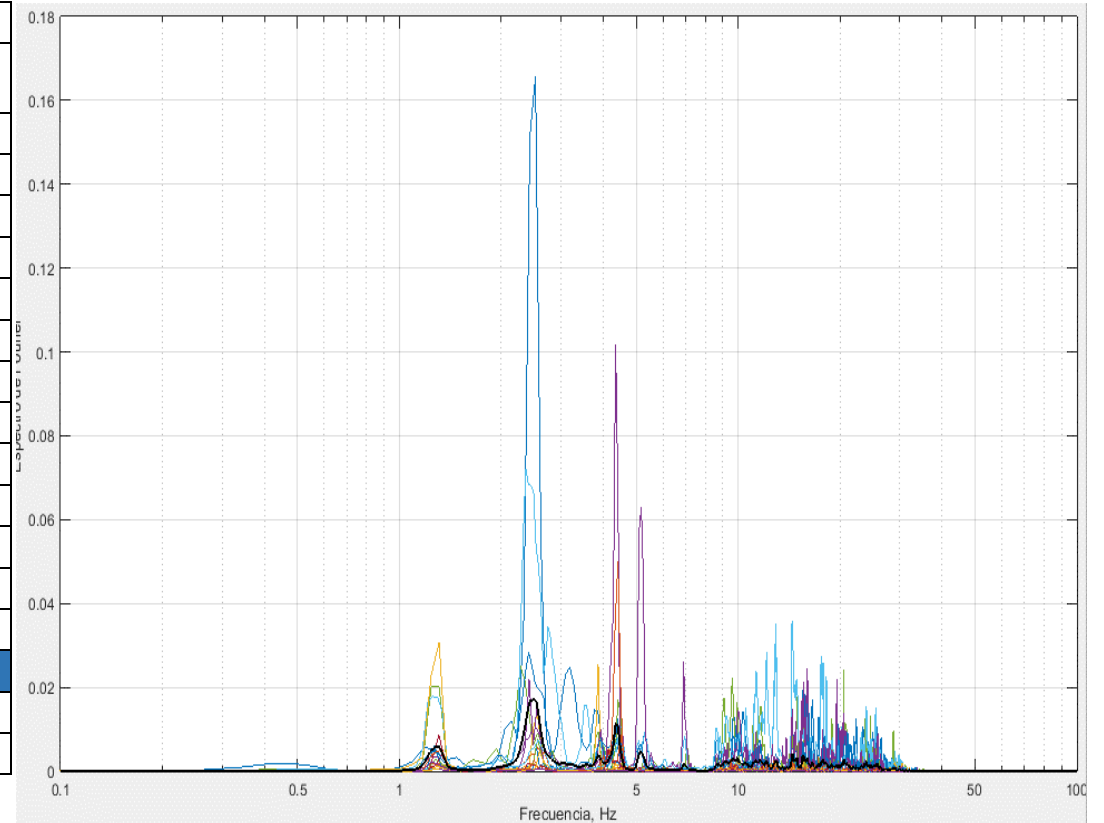






UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

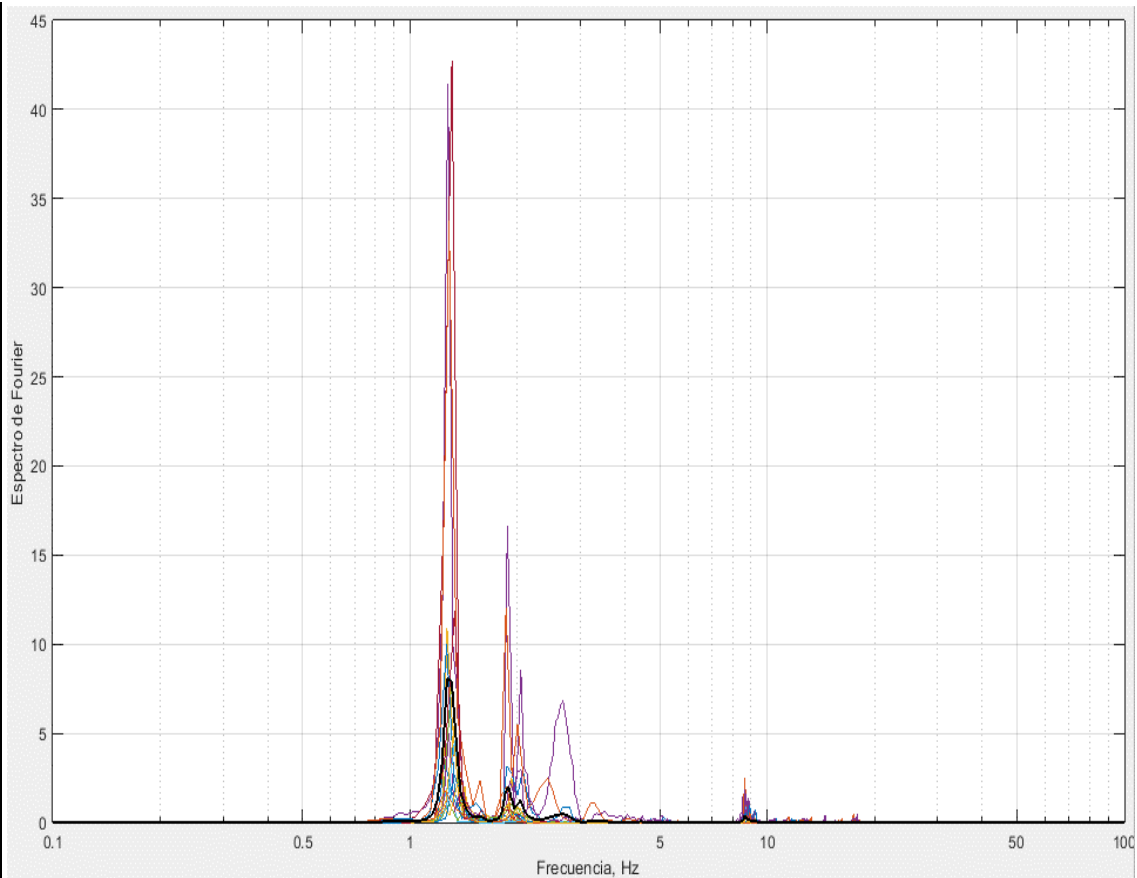
2_Sur_AC_Centro_y							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	10.50	6.74	17.24	0.17	2.52	0.4	4.43
2	14.99	81.68	96.67	0.01	4.17	0.24	2.33
3	14.48	125.15	139.63	0.03	2.28	0.44	5.22
4	12.99	170.11	183.1	0.01	1.31	0.76	3.16
5	14.99	216.07	231.06	0.01	1.27	0.79	3.04
6	9.99	238.55	248.54	0.01	4.5	0.22	1.39
7	14.48	344.97	359.45	0.1	4.35	0.23	1.61
8	12.49	377.44	389.93	0.01	4.4	0.23	2.13
9	13.98	454.38	468.36	0.01	4.43	0.23	4.08
10	14.99	466.86	481.85	0.01	4.13	0.24	1.82
11	11.99	513.83	525.82	0.05	4.42	0.23	2.05
12	13.49	531.31	544.8	0	2.59	0.39	2.05
<b>Promedio</b>					<b>3.36</b>	<b>0.37</b>	<b>2.78</b>
<b>Desviación Est.</b>					1.28	0.21	1.22
<b>Coef. Variación</b>					37.9%	56.3%	44.1%





**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO**

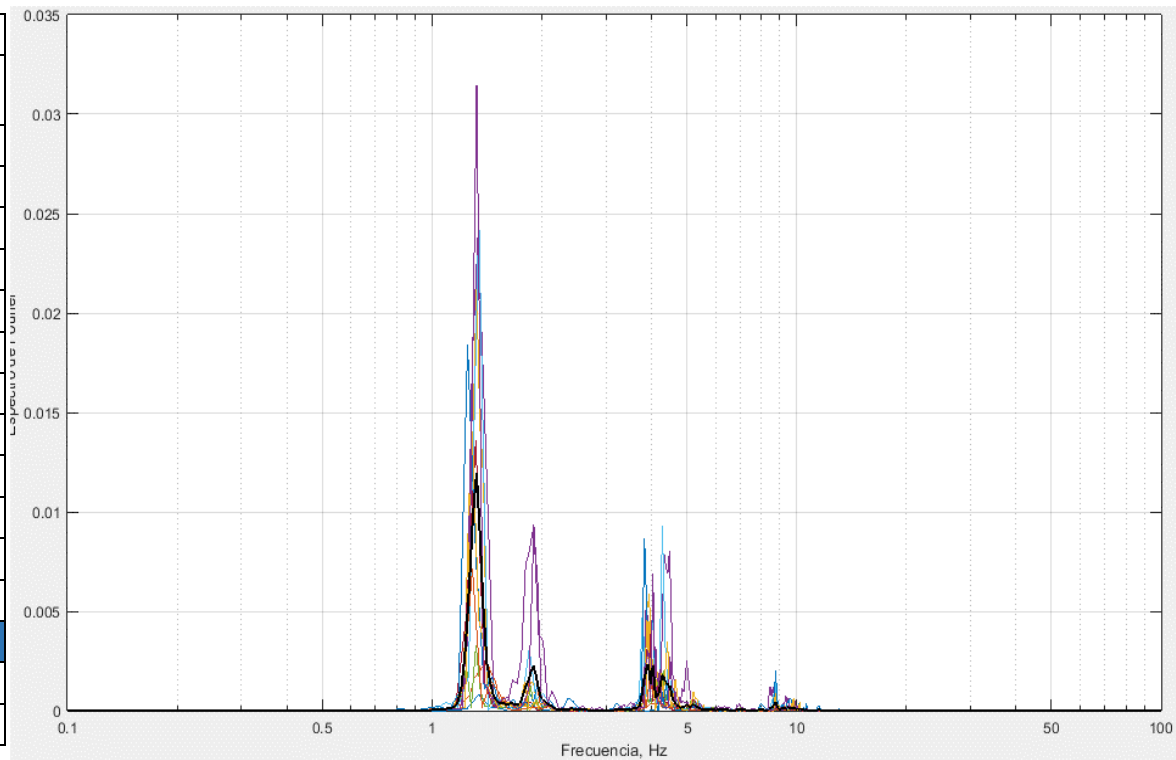
2_Sur_AC_Centro_z							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	15.98	39.22	55.2	3.43	1.25	0.8	3.65
2	14.99	81.68	96.67	4.44	1.33	0.75	4.09
3	25.98	96.67	122.65	10.91	1.27	0.79	2.64
4	23.48	145.13	168.61	41.42	1.28	0.78	2.30
5	12.99	170.11	183.1	7.96	1.31	0.76	3.26
6	12.49	182.6	195.09	2.24	1.28	0.78	3.18
7	14.49	274.02	288.51	42.71	1.31	0.76	3.51
8	14.99	288.51	303.5	9.96	1.27	0.79	3.49
9	13.99	359.45	373.44	33.73	1.29	0.78	3.33
10	13.49	387.93	401.42	5.66	1.33	0.75	3.23
11	20.99	406.41	427.4	4.95	1.29	0.78	2.18
12	13.98	454.38	468.36	1.09	1.29	0.78	3.07
13	14.99	466.86	481.85	4.59	1.33	0.75	3.23
14	11.99	513.83	525.82	11.85	1.33	0.75	3.82
15	13.49	531.31	544.8	2.64	1.33	0.75	3.86
16	11.99	575.77	587.76	1.81	1.25	0.8	5.00
17	15.48	586.27	601.75	2.13	1.36	0.74	3.41
<b>Promedio</b>					<b>1.30</b>	<b>0.77</b>	<b>3.37</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.03	0.02	0.66
<b>Coef. Variación</b>					2.4%	2.6%	19.6%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

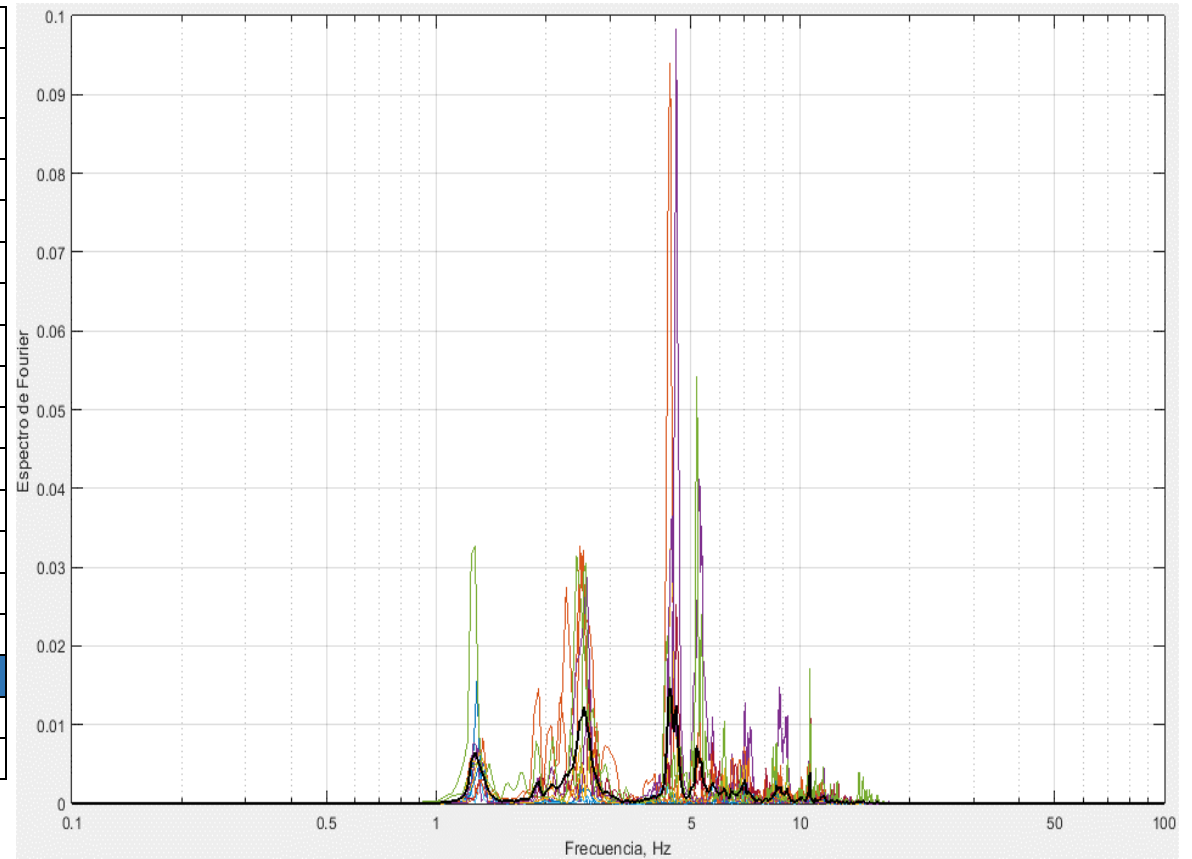
3_Sur_AC_ApoyoD_x							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	10.41	1.24	11.65	0	1.82	0.55	2.88
2	26.76	27.01	53.77	0	1.42	0.7	2.69
4	33.20	53.77	86.97	0.02	1.33	0.75	2.67
5	21.31	106.3	127.6	0.02	1.34	0.75	5.2
6	25.76	220.3	246	0	1.32	0.76	1.85
7	11.90	246	257.9	0.02	1.34	0.74	3.24
8	12.89	284.7	297.6	0.01	1.32	0.76	3.89
9	14.37	330.8	345.1	0.02	1.25	0.8	3.8
10	12.39	345.1	357.5	0.01	1.29	0.77	3.36
11	17.84	468.5	486.4	0.01	1.29	0.78	2.71
13	17.34	486.4	503.7	0.03	1.33	0.75	2.54
Promedio					1.37	0.74	3.17
Desviación Est.					0.16	0.07	0.89
Coef. Variación					11.4%	9.1%	28.2%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

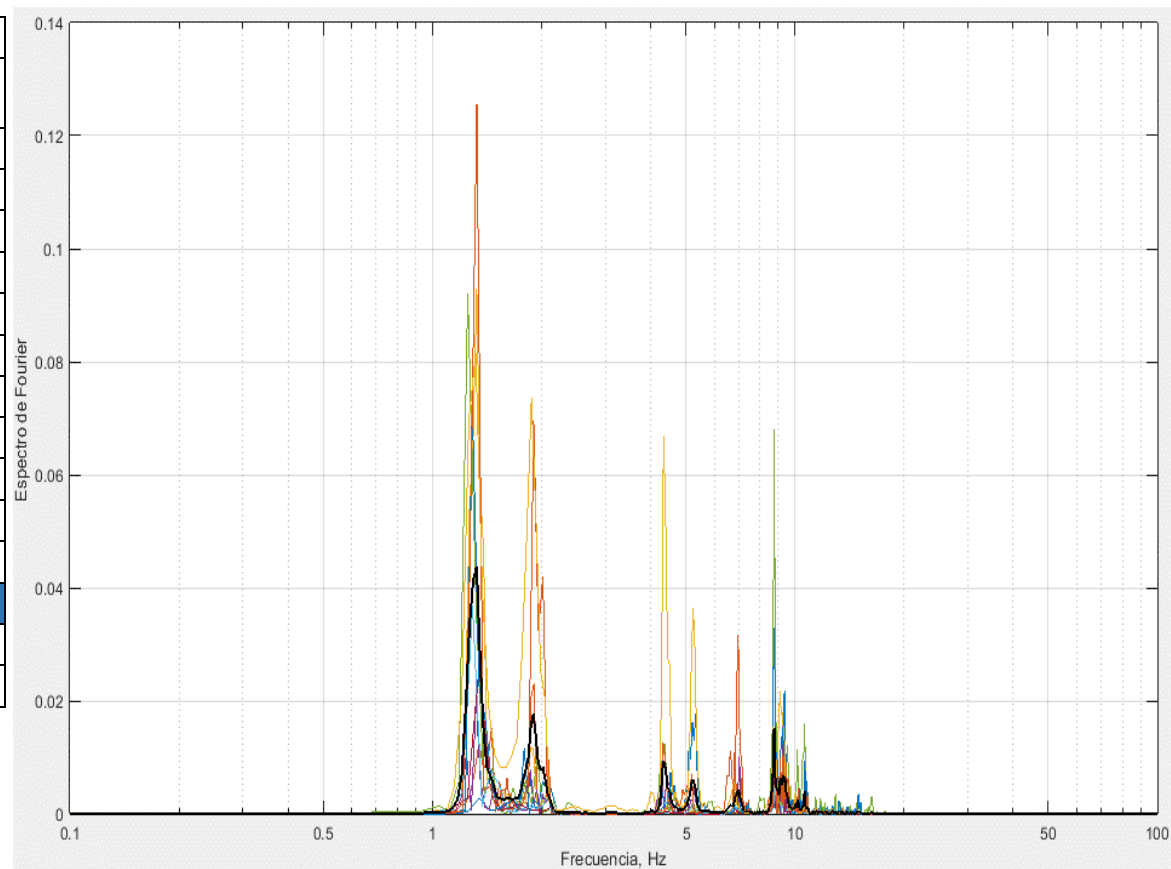
3_Sur_AC_ApoyoD_y							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	33.20	53.77	86.97	0.02	1.29	0.77	1.70
2	19.32	86.97	106.3	0.09	4.4	0.23	1.62
3	21.31	106.3	127.6	0.03	4.41	0.23	1.65
4	26.26	127.6	153.9	0.1	4.57	0.22	1.34
5	14.38	205.9	220.3	0.03	2.43	0.41	3.27
6	25.76	220.3	246	0	5.82	0.17	1.80
7	22.80	261.4	284.2	0.03	4.56	0.22	1.28
8	12.89	416	428.9	0.01	1.32	0.76	3.94
9	17.34	428.9	446.2	0.03	2.54	0.39	2.57
10	14.37	446.2	460.6	0.01	2.64	0.38	1.51
11	17.34	486.4	503.7	0.04	4.44	0.23	1.81
12	33.20	515.1	548.3	0.05	5.2	0.19	0.90
<b>Promedio</b>					<b>3.64</b>	<b>0.35</b>	<b>1.95</b>
<b>Desviación Est.</b>					1.52	0.21	0.88
<b>Coef. Variación</b>					41.7%	60.0%	45.1%





**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO**

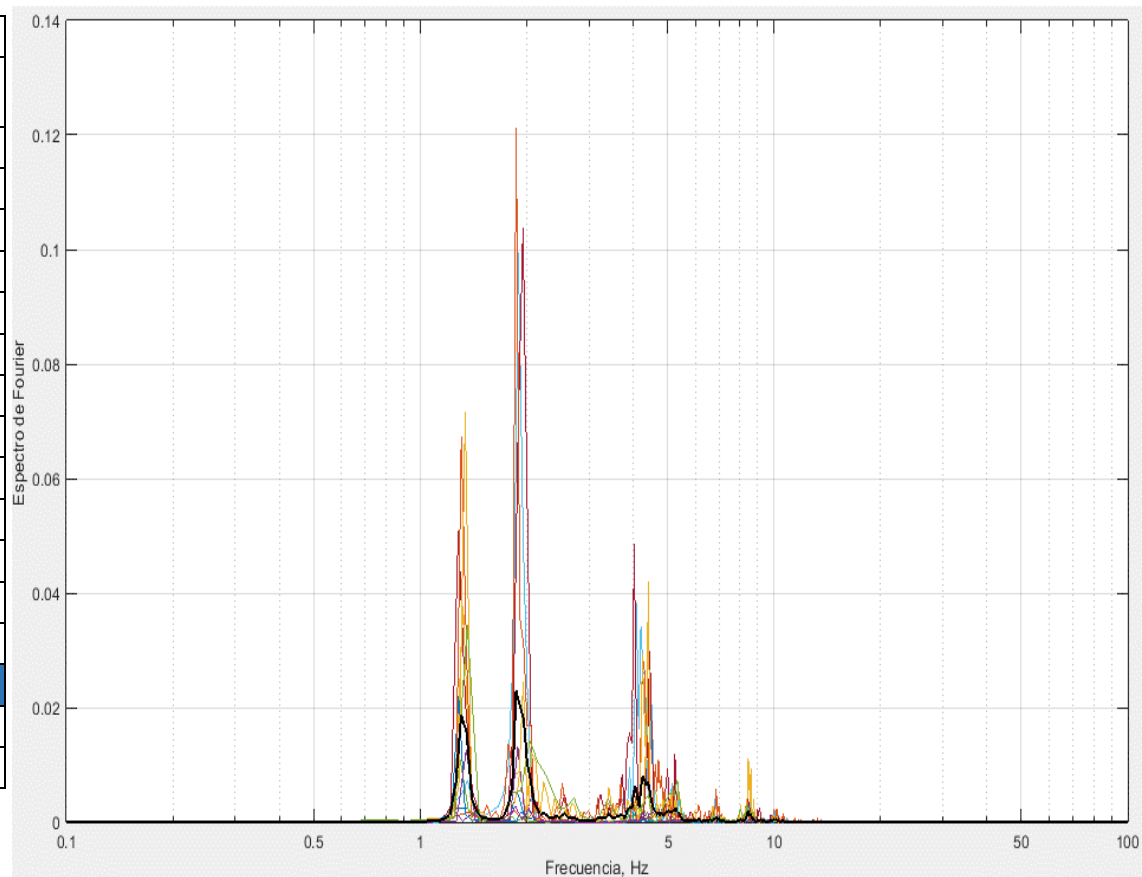
3_Sur_AC_ApoyoD_z							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	10.41	1.24	11.65	0.01	1.82	0.55	2.9
2	26.76	27.01	53.77	0.02	1.91	0.52	2.02
3	33.20	53.77	86.97	0.09	1.33	0.75	3.76
4	25.76	220.3	246	0.02	1.32	0.76	1.78
5	14.37	330.8	345.1	0.09	1.25	0.8	2.75
6	12.39	345.1	357.5	0.04	1.29	0.77	3.38
7	10.40	374.4	384.8	0.03	1.35	0.74	3.26
8	17.84	468.5	486.4	0.07	1.29	0.78	2.69
9	17.34	486.4	503.7	0.13	1.33	0.75	2.77
10	17.84	547.8	565.7	0.08	1.32	0.76	3.47
<b>Promedio</b>					<b>1.42</b>	<b>0.72</b>	<b>2.88</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.24	0.10	0.63
<b>Coef. Variación</b>					16.7%	13.7%	21.8%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

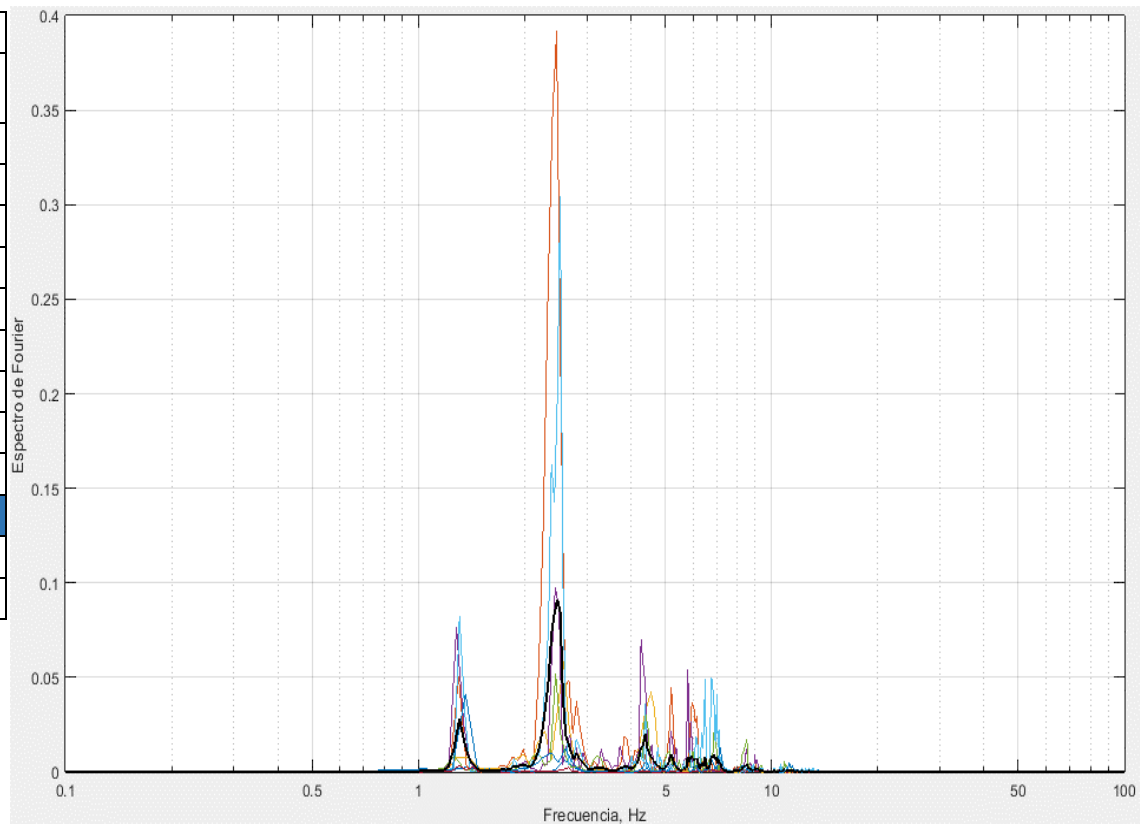
4_Sur_CA_Apoyol_x							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	9.57	1.39	10.96	0.01	1.88	0.53	2.88
2	6.55	10.21	16.76	0	2.14	0.47	3.88
3	13.60	53.55	67.15	0.04	1.32	0.76	2.91
4	10.59	115.53	126.12	0.01	1.89	0.53	2.61
5	13.86	135.69	149.55	0.01	1.3	0.77	3.16
6	16.88	148.8	165.68	0.1	1.9	0.53	2.69
7	16.38	165.68	182.06	0.1	1.95	0.51	3.58
8	17.13	182.06	199.19	0.02	1.28	0.78	2.38
9	21.41	211.04	232.45	0.12	1.87	0.54	1.56
10	17.89	229.68	247.57	0.07	1.34	0.75	2.23
11	11.84	256.14	267.98	0.01	1.35	0.74	3.15
12	8.82	238.25	247.07	0.03	1.36	0.74	4.23
<b>Promedio</b>					<b>1.63</b>	<b>0.64</b>	<b>2.94</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.33	0.13	0.74
<b>Coef. Variación</b>					20.1%	19.8%	25.0%





**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO**

4_Sur_CA_Apoyol_y							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud	Frecuencia	Período	Coef. Amort
	(seg)	(seg)	(seg)	Espectro	(seg)	(seg)	(%)
1	6.55	10.21	16.76	0.01	2.59	0.39	4.26
2	14.61	16.76	31.37	0.39	2.46	0.41	4.89
3	10.08	43.97	54.05	0.06	2.58	0.39	3.75
4	16.38	165.68	182.06	0.1	2.44	0.41	3.27
5	11.85	199.19	211.04	0.05	2.45	0.41	2.37
6	21.41	211.04	232.45	0.3	2.52	0.4	2.38
7	16.13	291.42	307.55	0	1.3	0.77	2.99
8	8.82	238.25	247.07	0.04	1.36	0.74	4.27
<b>Promedio</b>					<b>2.21</b>	<b>0.49</b>	<b>3.52</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.55	0.16	0.93
<b>Coef. Variación</b>					24.8%	33.5%	26.3%

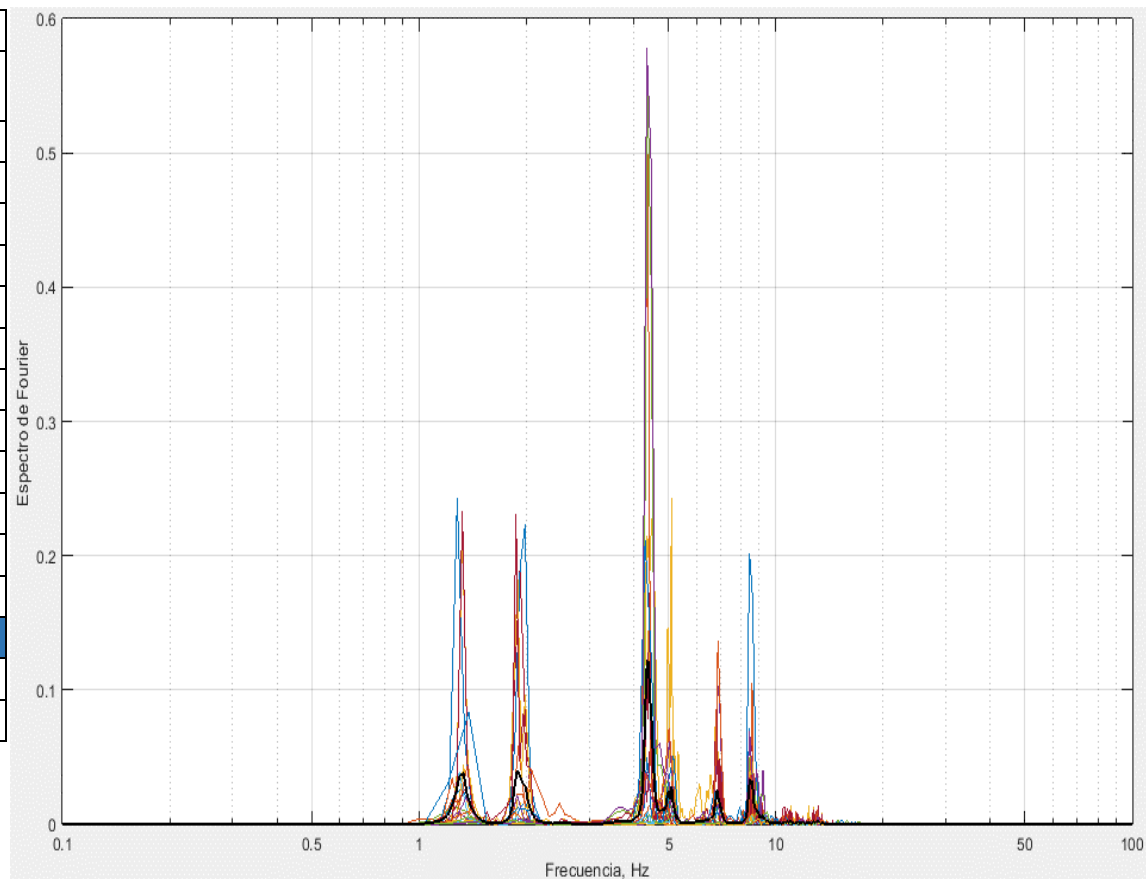






**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO**

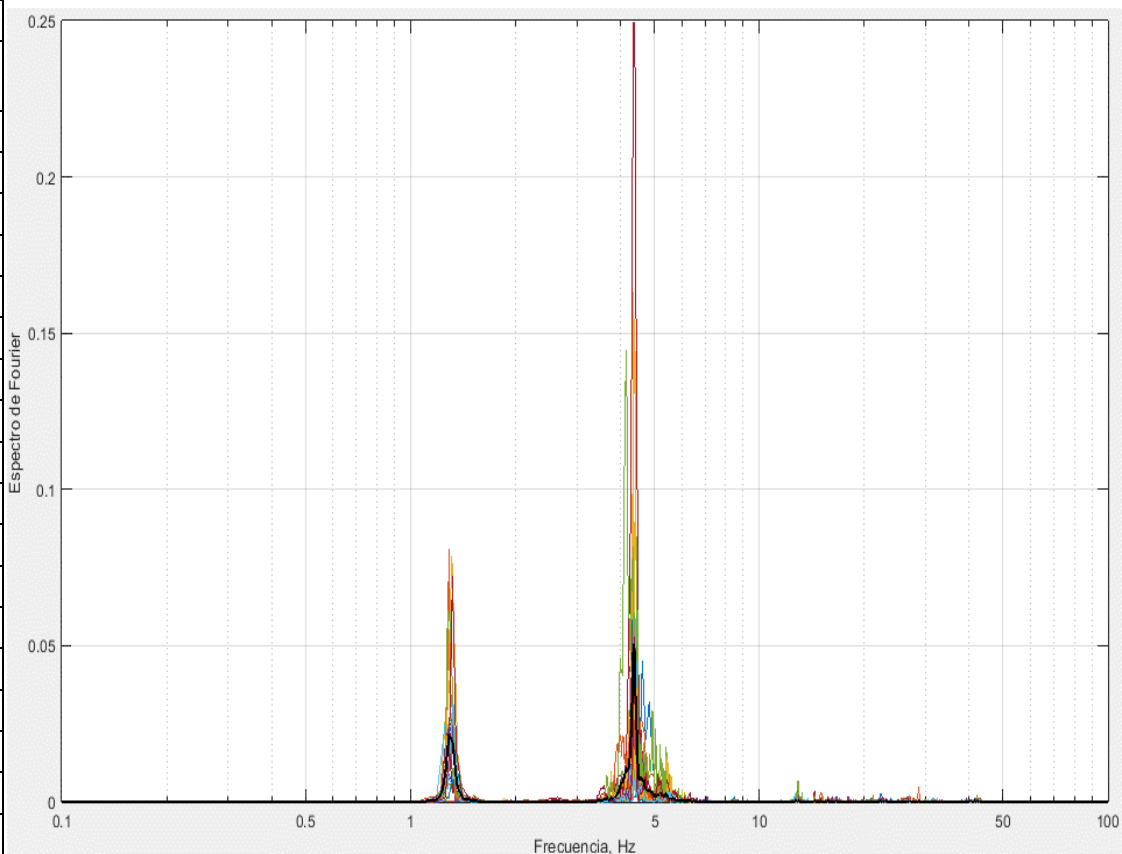
4_Sur_CA_Apoyol_z							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	13.61	30.87	44.48	0.03	5.07	0.2	1.75
2	30.74	67.66	98.4	0.24	5.11	0.2	0.6
3	10.08	115.79	125.87	0.02	1.88	0.53	2.76
4	15.62	150.31	165.93	0.19	1.92	0.52	3.38
5	12.10	199.19	211.29	0.5	4.38	0.23	1.59
6	10.33	268.24	278.57	0.1	6.87	0.15	1.81
7	9.83	281.84	291.67	0.56	4.37	0.23	2.31
8	9.57	290.16	299.73	0.01	5.12	0.2	1.18
9	5.80	232.45	238.25	0.21	4.31	0.23	2.45
10	8.56	268.24	276.8	0.14	6.89	0.15	1.65
11	7.81	283.36	291.17	0.58	4.35	0.23	2.93
<b>Promedio</b>					<b>4.57</b>	<b>0.26</b>	<b>2.04</b>
<b>Desviación Est.</b>					<b>1.61</b>	<b>0.13</b>	<b>0.82</b>
<b>Coef. Variación</b>					<b>35.3%</b>	<b>51.3%</b>	<b>40.0%</b>





**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO**

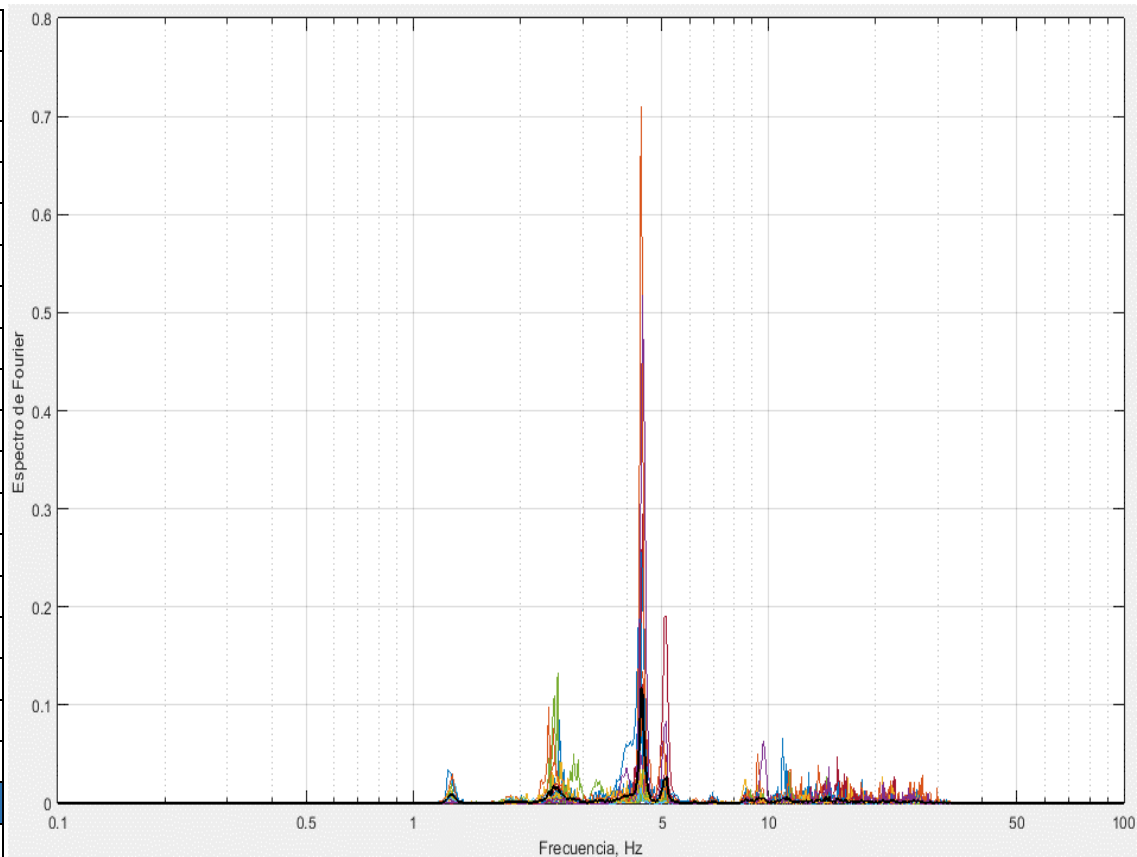
5_Sur_CA_Centro_x							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud	Frecuencia	Período	Coef. Amort
	(seg)	(seg)	(seg)	Espectro	(seg)	(seg)	(%)
1	9.30	8.73	18.03	0.06	4.3	0.23	2.36
2	10.47	23.85	34.32	0.03	4.58	0.22	2.46
3	19.78	47.12	66.9	0.15	4.4	0.23	1.35
4	18.61	66.9	85.51	0.04	4.35	0.23	0.81
5	39.55	287.94	327.49	0.06	4.37	0.23	0.92
6	24.43	498.51	522.94	0.07	4.38	0.23	1.42
7	27.92	569.48	597.4	0.25	4.37	0.23	1.79
8	20.94	598.57	619.51	0.04	4.39	0.23	0.99
9	13.97	660.22	674.19	0.04	4.36	0.23	1.95
10	65.15	702.11	767.26	0.16	4.36	0.23	0.31
11	16.28	767.26	783.54	0.06	4.36	0.23	1.24
12	27.93	852.18	880.11	0.01	4.4	0.23	0.69
13	15.12	901.05	916.17	0.02	1.26	0.8	3.1
14	27.92	932.46	960.38	0.05	4.33	0.23	1.38
15	27.92	960.38	988.3	0.01	4.33	0.23	1.12
16	48.86	1006.9	1055.8	0.08	1.29	0.78	0.99
17	19.78	1080.2	1100	0.08	1.31	0.76	2.35
18	22.10	1230.3	1252.4	0.06	4.34	0.23	1.57
19	45.37	1269.8	1315.2	0.14	4.17	0.24	1.51
20	40.72	1308.2	1349	0.03	1.33	0.75	1.96
21	32.57	1347.8	1380.4	0.07	1.32	0.76	1.49
<b>Promedio</b>					<b>3.63</b>	<b>0.36</b>	<b>1.51</b>
<b>Desviación Est.</b>					1.34	0.24	0.67
<b>Coef. Variación</b>					36.8%	65.8%	44.6%





**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO**

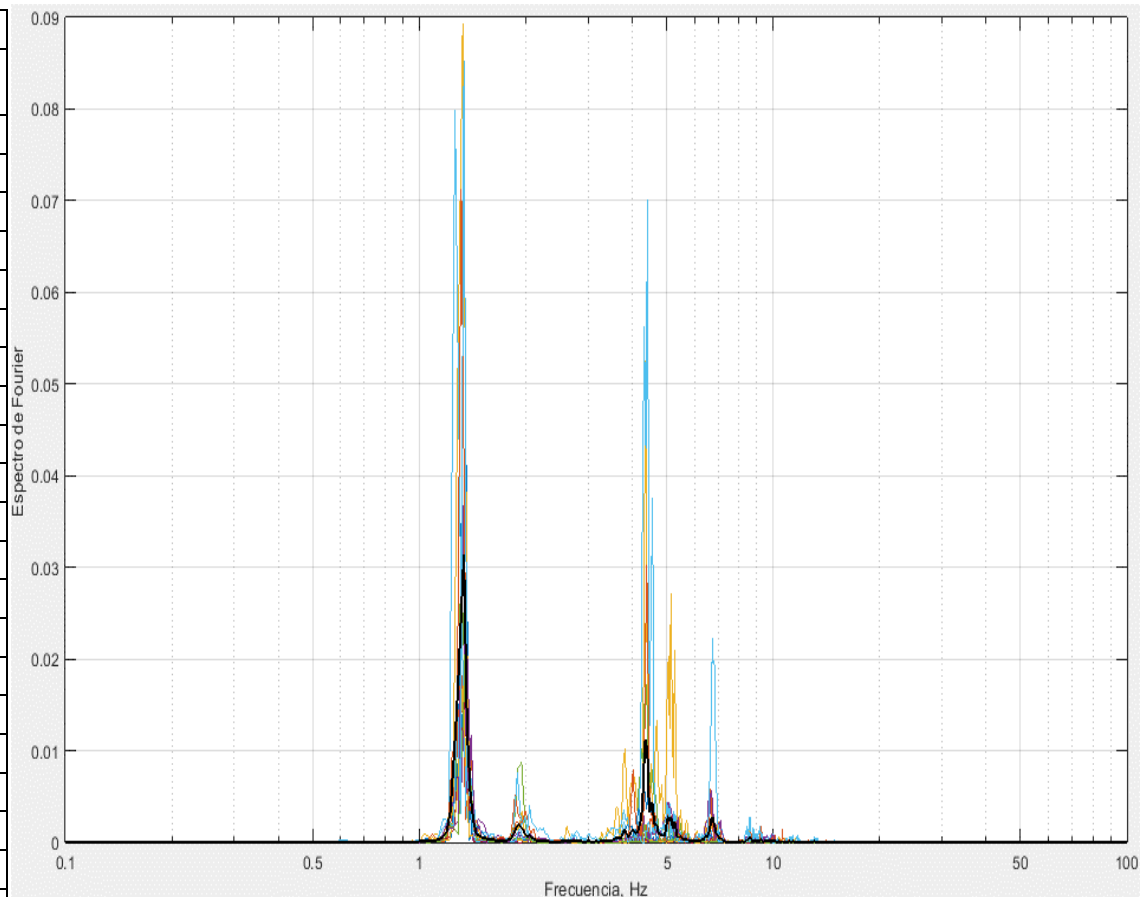
5_Sur_CA_Centro_y							
#	<i>Duración</i>	<i>Ti</i>	<i>Tf</i>	<i>Amplitud Espectro</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Período</i>	<i>Coef. Amort</i>
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	19.78	47.12	66.9	0.08	4.4	0.23	1.46
2	34.90	109.94	144.84	0.13	4.41	0.23	1.02
3	26.76	144.84	171.6	0.04	5.16	0.19	0.8
4	33.74	205.34	239.08	0.02	4.45	0.22	0.65
5	36.06	410.1	446.16	0.13	2.55	0.39	0.66
6	27.92	569.48	597.4	0.12	4.4	0.23	1.77
7	40.71	619.51	660.22	0.22	4.37	0.23	0.48
8	65.15	702.11	767.26	0.04	4.36	0.23	0.34
9	16.28	767.26	783.54	0.05	4.36	0.23	1.31
10	57.01	783.54	840.55	0.03	4.42	0.23	0.4
11	15.12	901.05	916.17	0.02	4.36	0.23	0.97
12	16.29	916.17	932.46	0.29	4.42	0.23	1.31
13	18.62	988.3	1006.9	0.27	4.35	0.23	2.35
14	25.60	1204.7	1230.3	0.71	4.37	0.23	1.13
15	16.29	1252.4	1268.7	0.52	4.42	0.23	1.7
<b>Promedio</b>					<b>4.32</b>	<b>0.24</b>	<b>1.09</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.53	0.04	0.57
<b>Coef. Variación</b>					12.2%	18.3%	52.3%

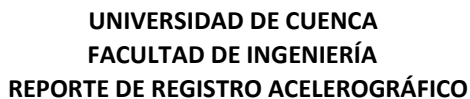




**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO**

5_Sur_CA_Centro_z							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	19.78	47.12	66.9	8.21	1.26	0.79	2.65
2	12.80	97.14	109.94	7.7	1.33	0.75	3.35
3	34.90	109.94	144.84	20.41	1.32	0.76	3.00
4	26.76	144.84	171.6	11.14	1.31	0.76	1.64
5	33.74	205.34	239.08	4.74	1.33	0.75	3.20
6	16.29	249.55	265.84	5.27	1.35	0.74	2.73
8	39.55	287.94	327.49	11.85	1.31	0.76	2.01
9	24.43	498.51	522.94	4.05	1.35	0.74	2.12
10	37.23	532.25	569.48	27.79	1.32	0.76	1.41
11	27.92	569.48	597.4	6.84	1.32	0.75	3.00
12	40.71	619.51	660.22	34.52	1.3	0.77	2.72
13	26.75	674.19	700.94	23.42	1.31	0.76	1.66
14	16.28	767.26	783.54	2.74	1.29	0.78	3.37
15	57.01	783.54	840.55	14.44	1.28	0.78	1.07
16	27.93	852.18	880.11	4.14	1.32	0.75	2.43
17	20.94	880.11	901.05	22.66	1.29	0.78	3.58
18	16.29	916.17	932.46	5.04	1.35	0.74	3.66
19	27.92	960.38	988.3	2.91	1.32	0.75	1.49
20	19.78	1080.2	1100	28.45	1.31	0.76	2.40
21	25.60	1204.7	1230.3	40.48	1.29	0.78	1.86
22	22.10	1230.3	1252.4	10.56	1.31	0.76	2.74
23	16.29	1252.4	1268.7	8.75	1.35	0.74	2.43
24	45.37	1269.8	1315.2	18.13	1.28	0.78	2.33
25	40.72	1308.2	1349	9.41	1.31	0.76	2.58
<b>Promedio</b>					<b>1.31</b>	<b>0.76</b>	<b>2.48</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.02	0.01	0.71
<b>Coef. Variación</b>					1.8%	2.0%	28.8%



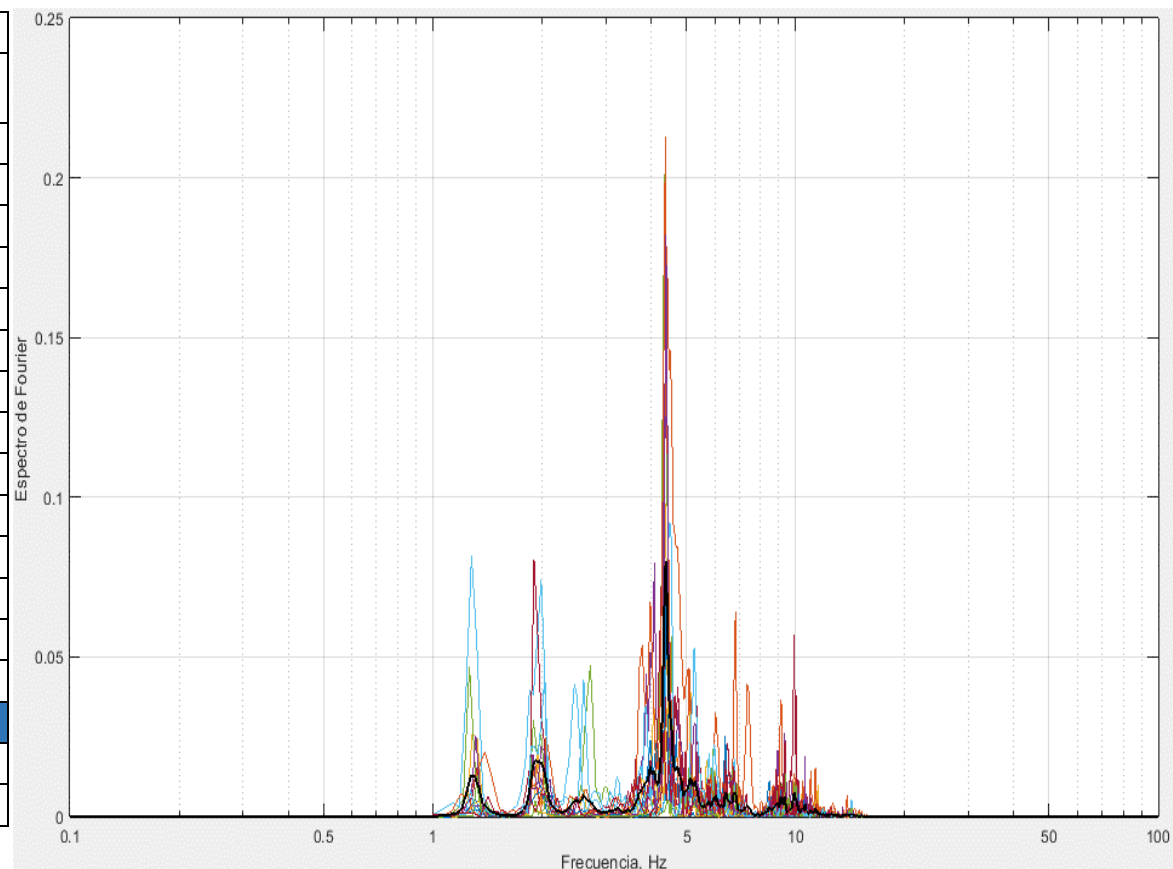


The plot displays the Fourier spectrum of a signal, with the y-axis labeled 'Espectro de Fourier' (Fourier Spectrum) ranging from 0 to 45, and the x-axis labeled 'Frecuencia, Hz' (Frequency, Hz) on a logarithmic scale from 0.1 to 100. Three distinct curves are shown: a blue curve, a green curve, and a yellow curve. All three curves exhibit a primary peak at approximately 1.5 Hz, with the blue curve reaching the highest amplitude of about 41. A secondary, smaller peak is visible at approximately 2.5 Hz, with the yellow curve showing the highest amplitude of about 18. Minor peaks are also present at higher frequencies, around 4.5 Hz and 8 Hz, with the blue curve showing the most significant peaks at these locations (approx. 4.5 Hz and 8 Hz).



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

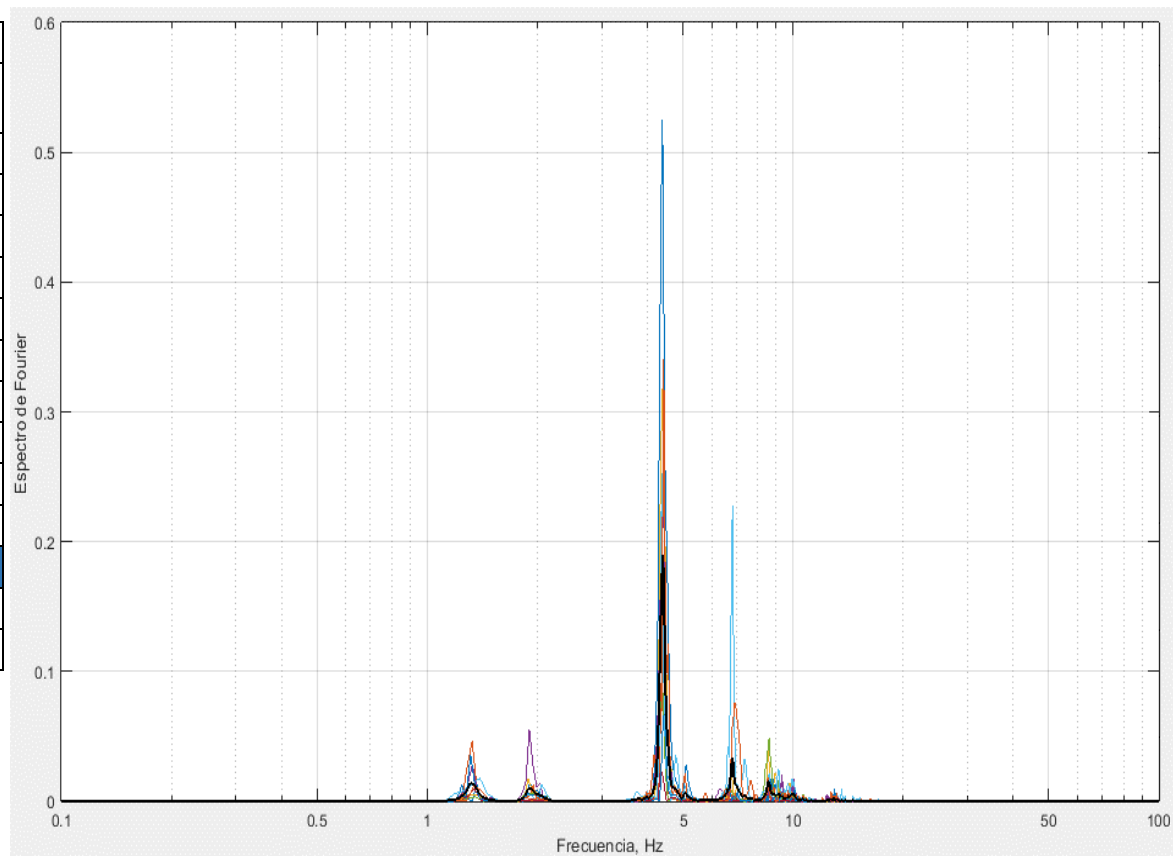
6_Sur_CA_ApoyoD_y							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	23.59	51.46	75.05	0.01	4.45	0.22	1.20
2	24.10	67.52	91.62	0.18	4.4	0.23	3.10
3	24.10	87.1	111.2	0.1	4.36	0.23	1.42
4	19.58	198.1	217.6	0.13	4.39	0.23	1.78
5	20.59	217.6	238.2	0.2	4.37	0.23	1.68
6	21.09	257.3	278.4	0.09	4.5	0.22	2.30
7	22.59	277.4	300	0.08	4.29	0.23	1.95
8	14.05	334.1	348.2	0.07	4.41	0.23	1.08
9	15.07	346.2	361.2	0.21	4.38	0.23	1.50
10	17.07	359.7	376.8	0.04	4.45	0.22	1.84
11	26.61	389.8	416.4	0.18	4.4	0.23	1.24
12	27.11	465.1	492.3	0.02	5.09	0.2	1.59
13	14.06	599.2	613.2	0.03	4.34	0.23	1.05
<b>Promedio</b>					<b>4.45</b>	<b>0.23</b>	<b>1.67</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.20	0.01	0.56
<b>Coef. Variación</b>					4.5%	3.9%	33.7%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

6_Sur_CA_ApoyoD_z							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	24.10	67.52	91.62	0.53	4.4	0.23	1.89
2	24.10	87.1	111.2	0.11	4.4	0.23	1.49
3	19.58	198.1	217.6	0.32	4.39	0.23	1.91
4	22.59	277.4	300	0.25	4.43	0.23	1.56
5	14.05	334.1	348.2	0.08	4.41	0.23	2.21
6	15.07	346.2	361.2	0.25	4.38	0.23	0.99
7	17.07	359.7	376.8	0.02	4.39	0.23	1.69
8	26.61	389.8	416.4	0.07	4.47	0.22	1.48
9	15.57	532.9	548.5	0.34	4.43	0.23	0.94
<b>Promedio</b>					<b>4.41</b>	<b>0.23</b>	<b>1.57</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.03	0.00	0.42
<b>Coef. Variación</b>					0.6%	1.5%	26.5%





## 6.2. *Acelerogramas Puentes Nulti Sur*



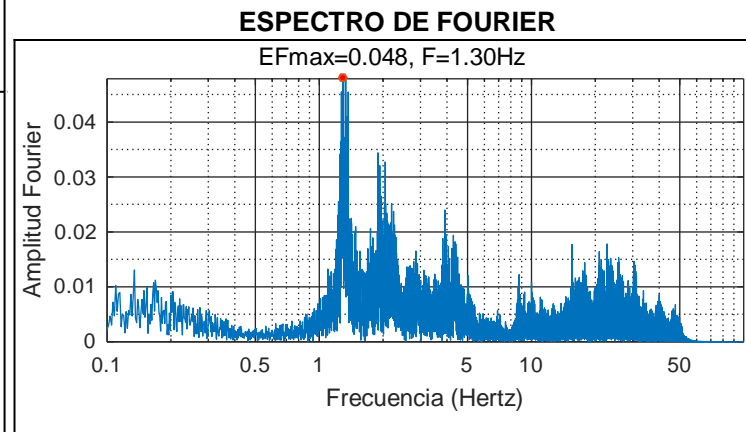
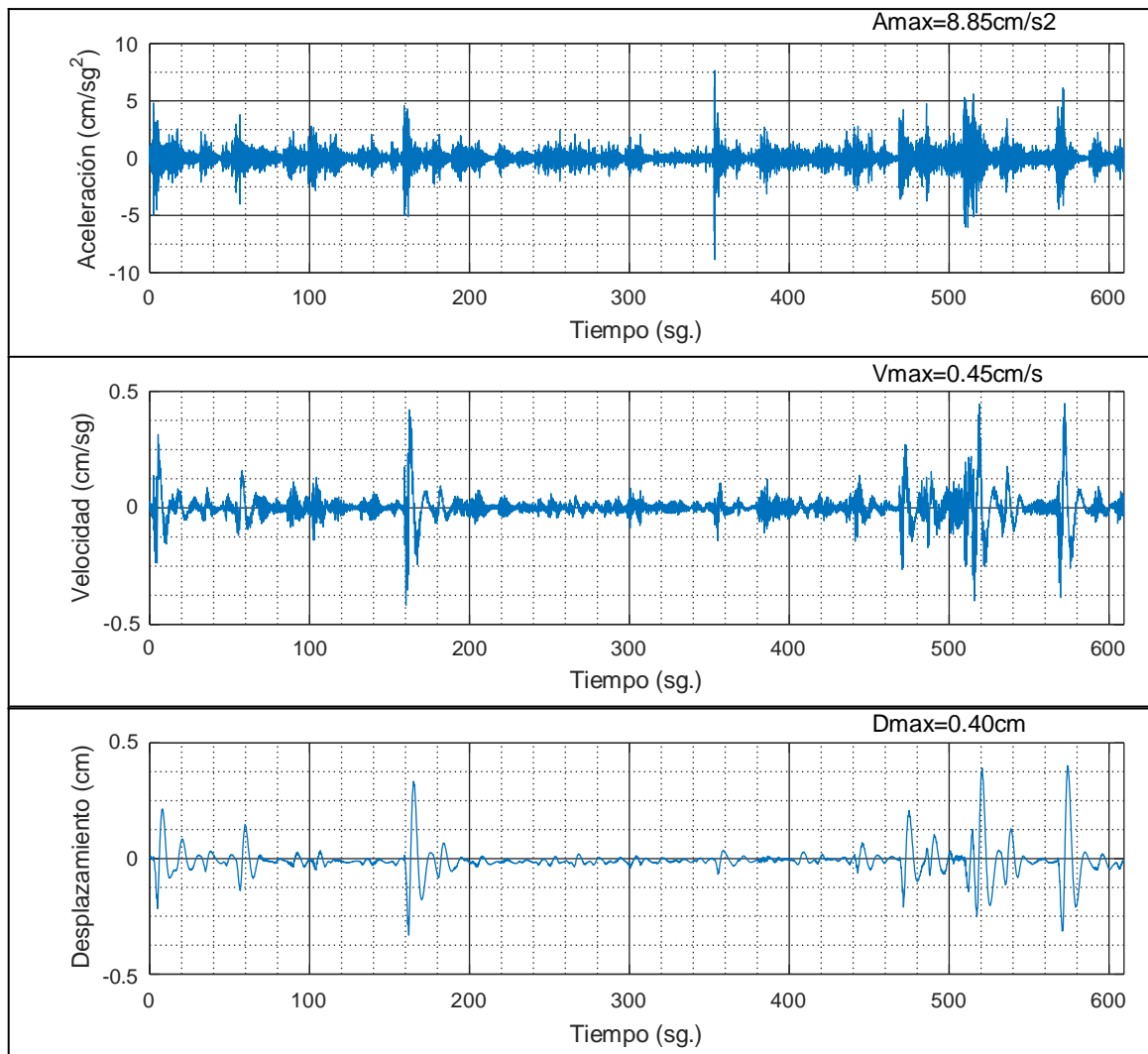


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: X

ARCHIVO: 1\_Sur\_AC\_Apoyol.1mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 30.00



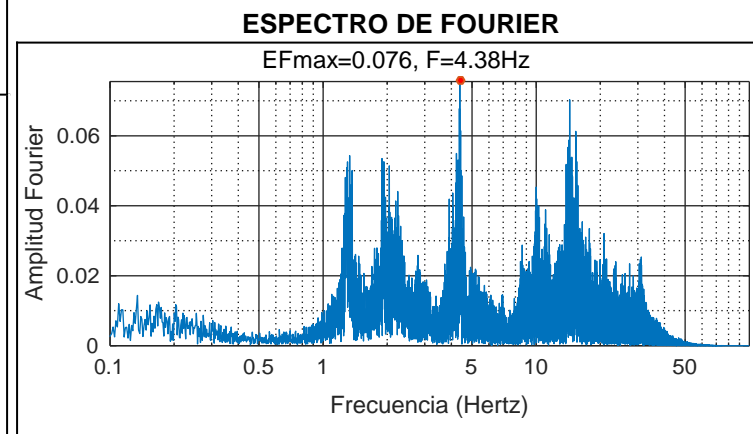
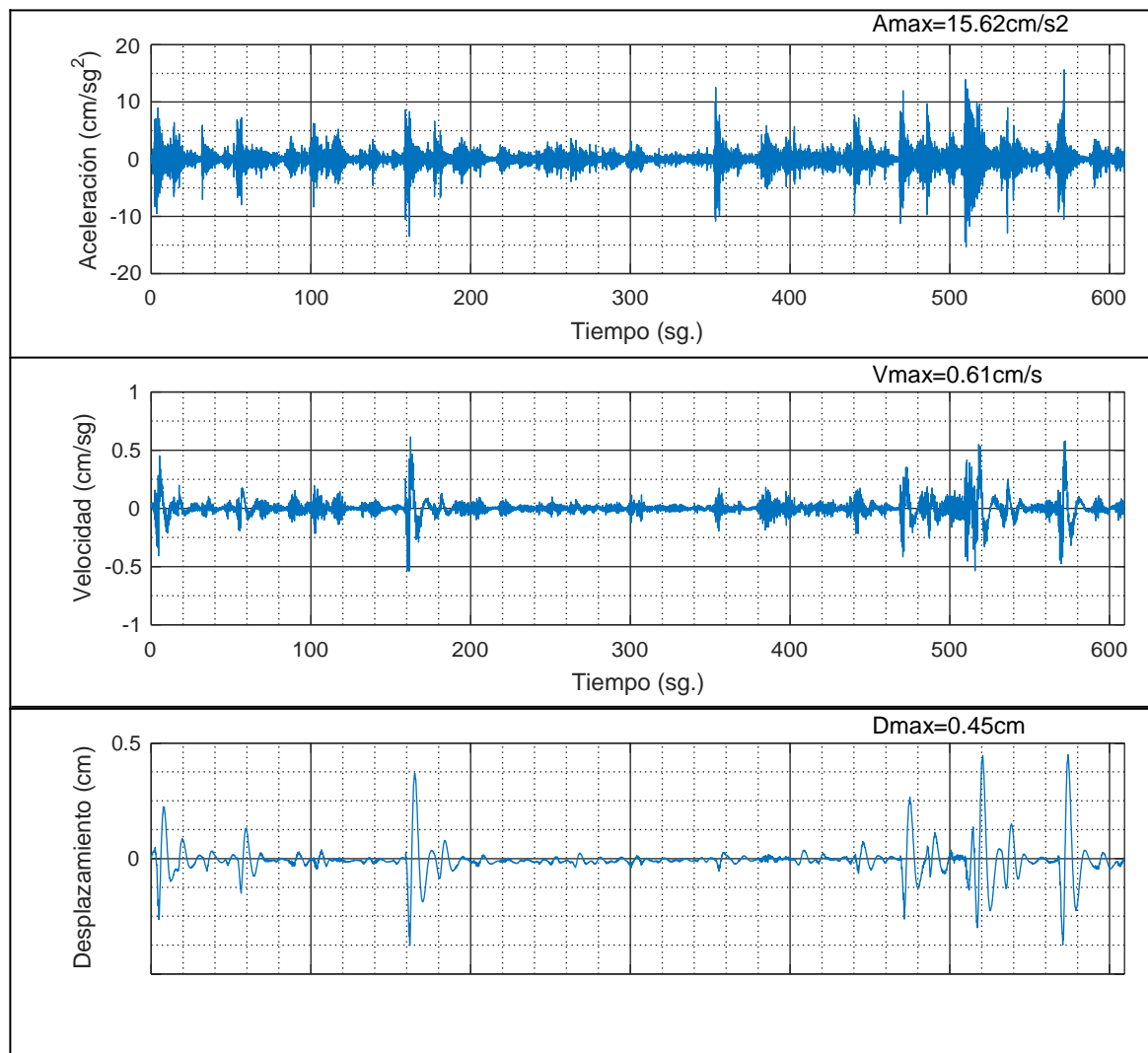


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Y

ARCHIVO: 1\_Sur\_AC\_Apoyol.2mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 30.00



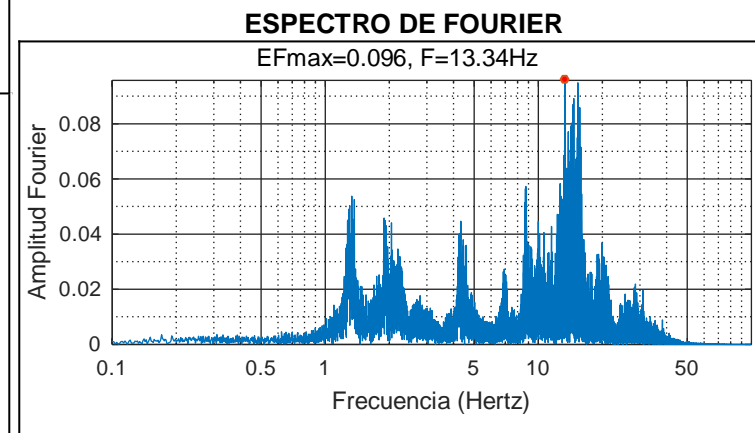
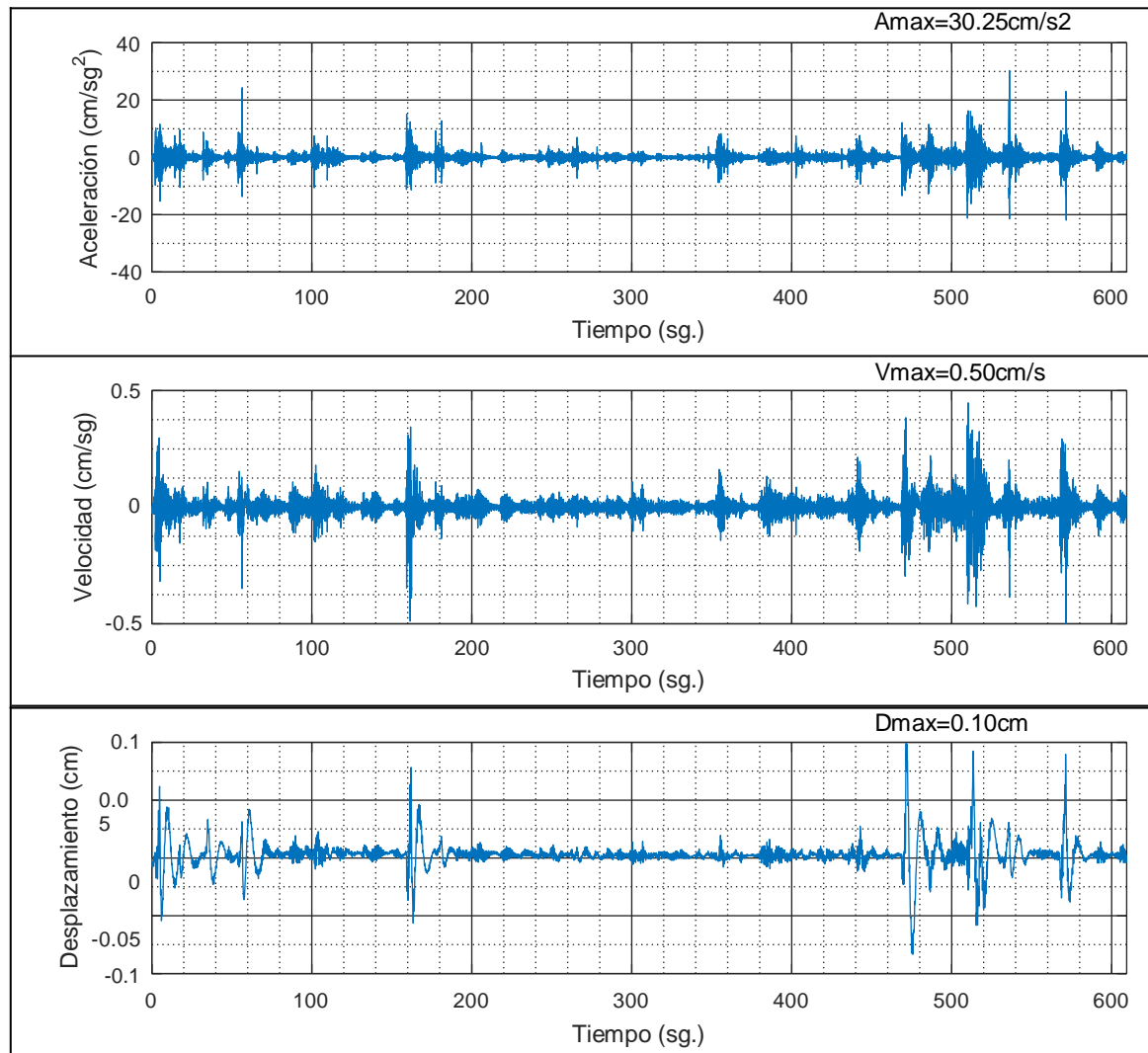


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Z

ARCHIVO: 1\_Sur\_AC\_Apoyol.3mg

FILTRO: Tipo:Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 30.00



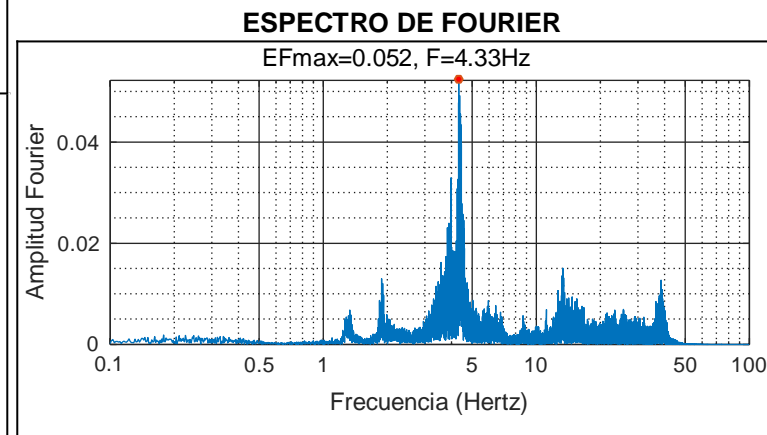
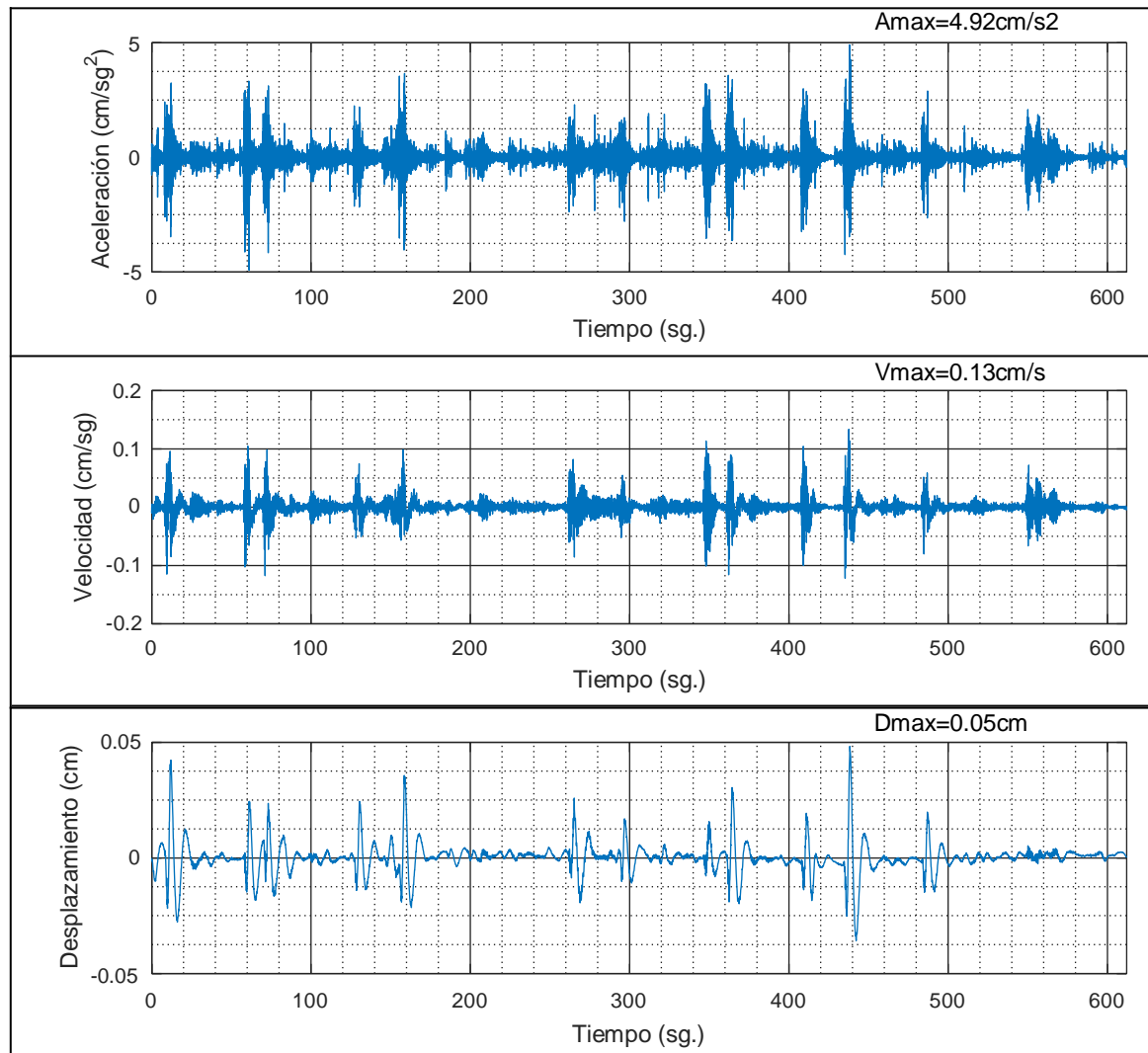


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: X

ARCHIVO: 2\_Sur\_AC\_Centro.1mg

FILTRO: Tipo:Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



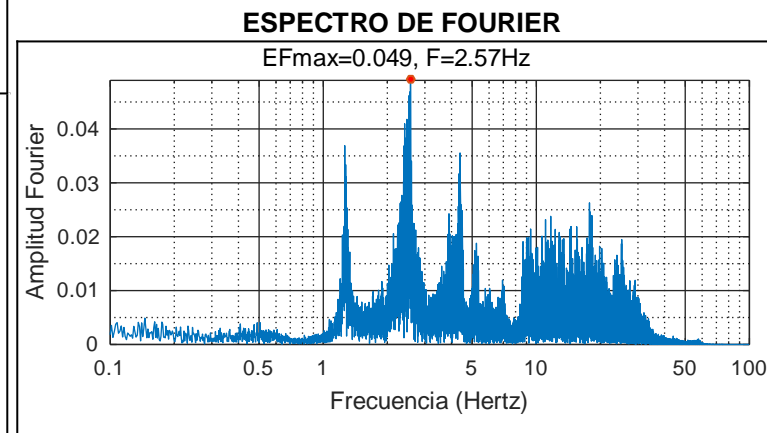
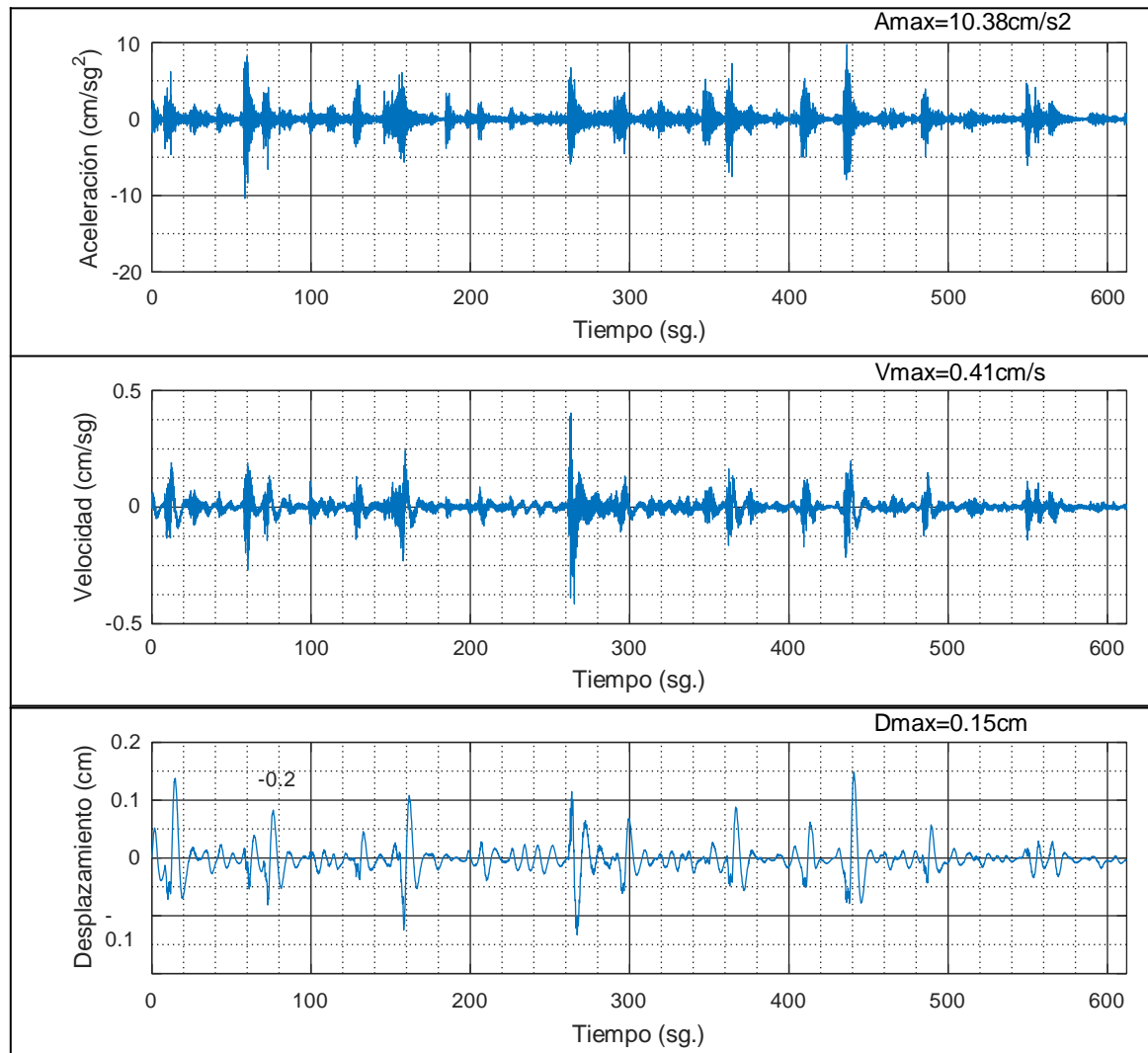


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Y

ARCHIVO: 2\_Sur\_AC\_Centro.2mg

FILTRO: Tipo:Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



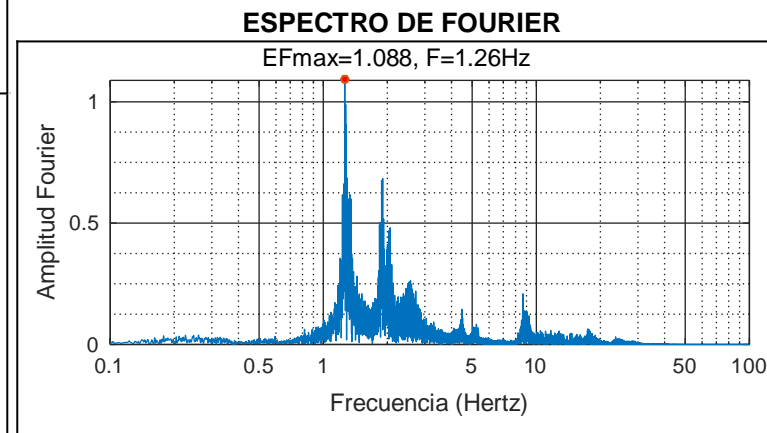
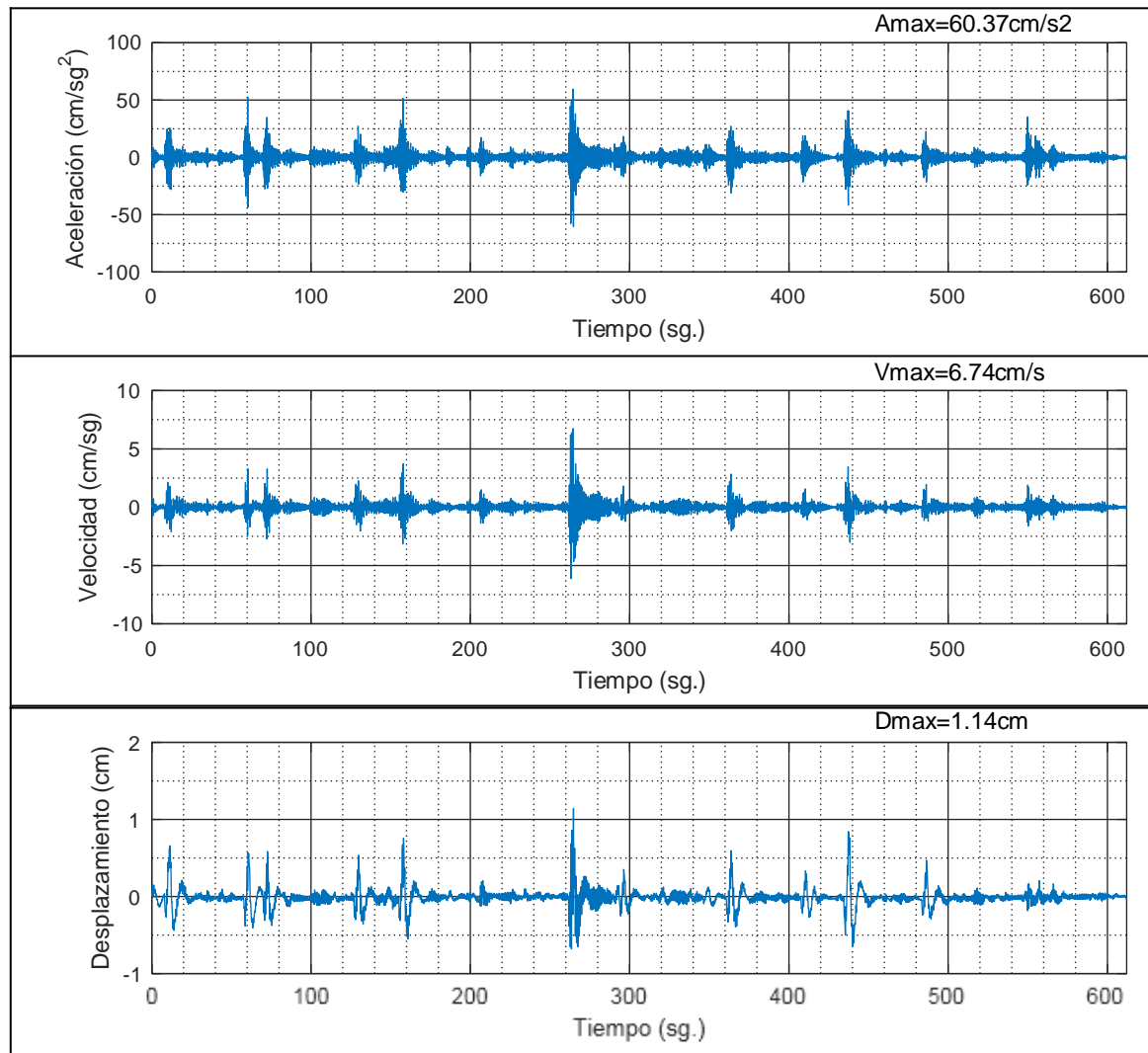


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Z

ARCHIVO: 2\_Sur\_AC\_Centro.3mg

FILTRO: Tipo:Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



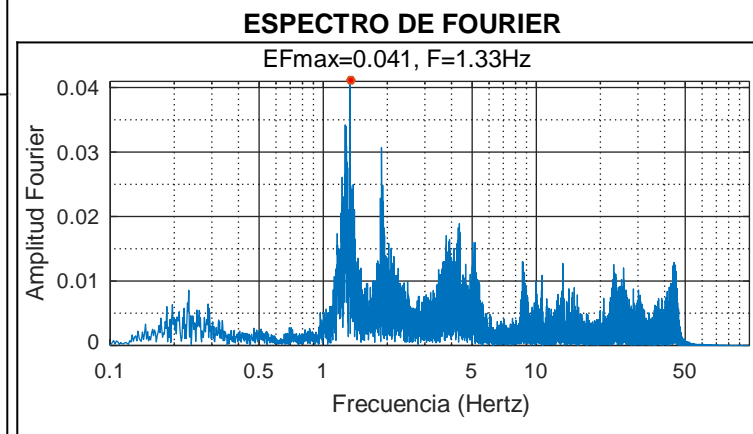
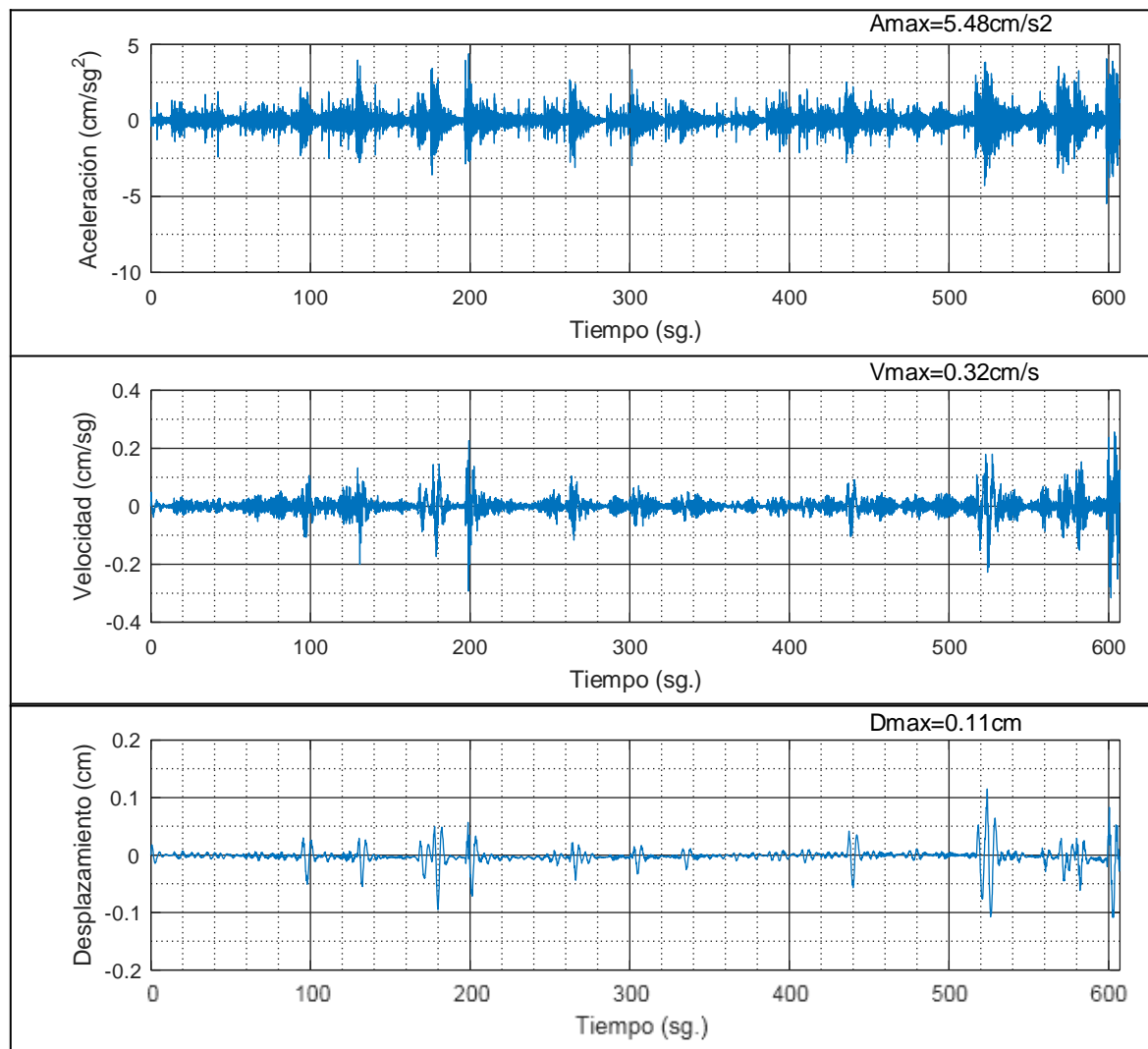


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: X

ARCHIVO: 3\_Sur\_AC\_ApoyoD.1mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.22 Fq2: 30.00



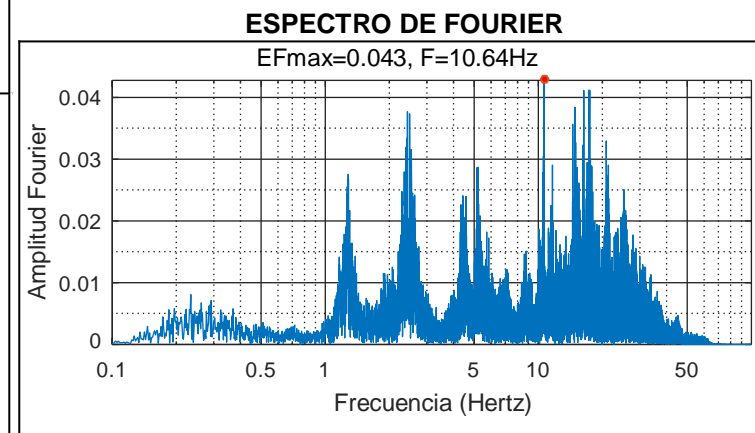
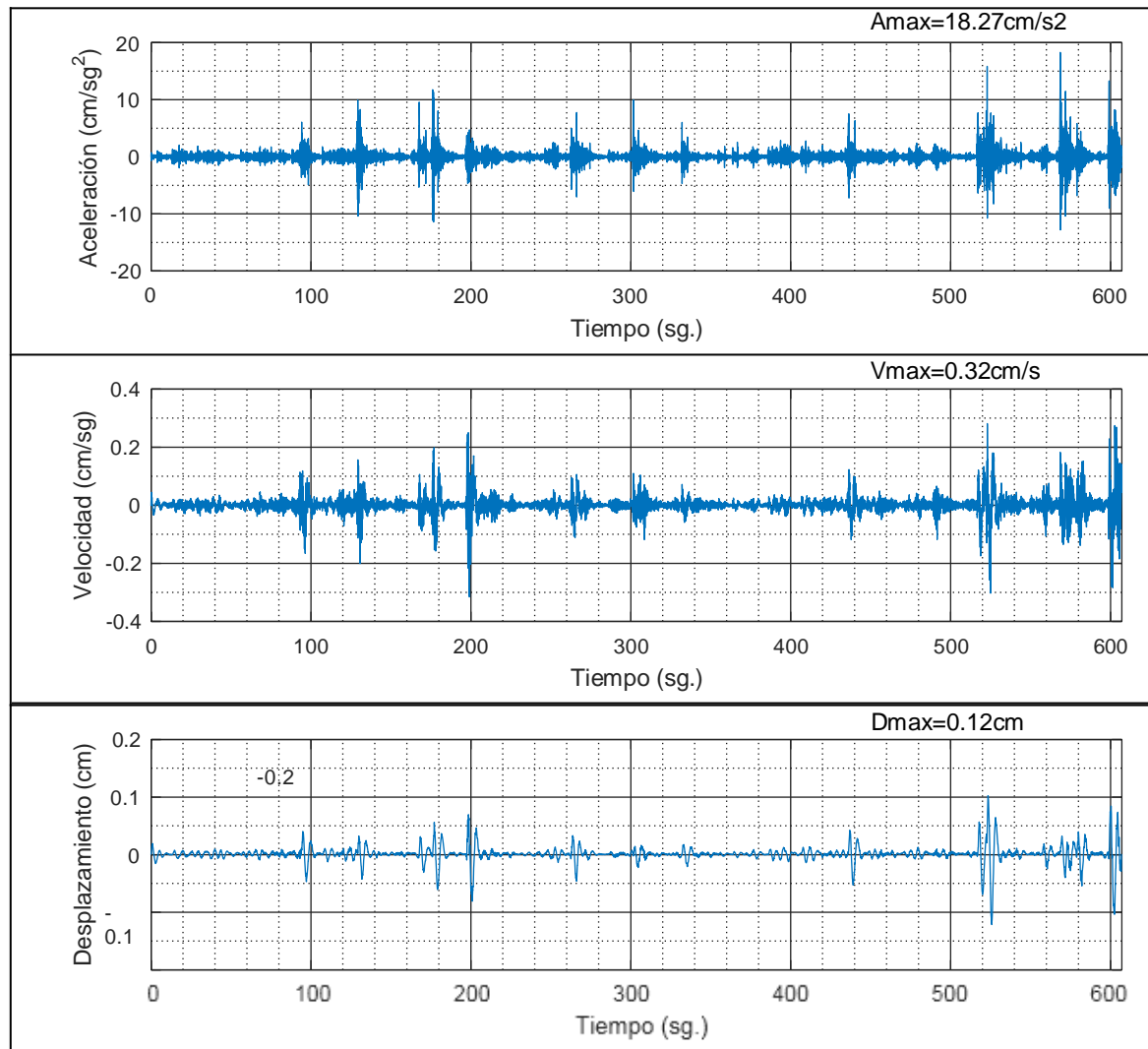


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Y

ARCHIVO: 3\_Sur\_AC\_ApoyoD.2mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.22 Fq2: 30.00





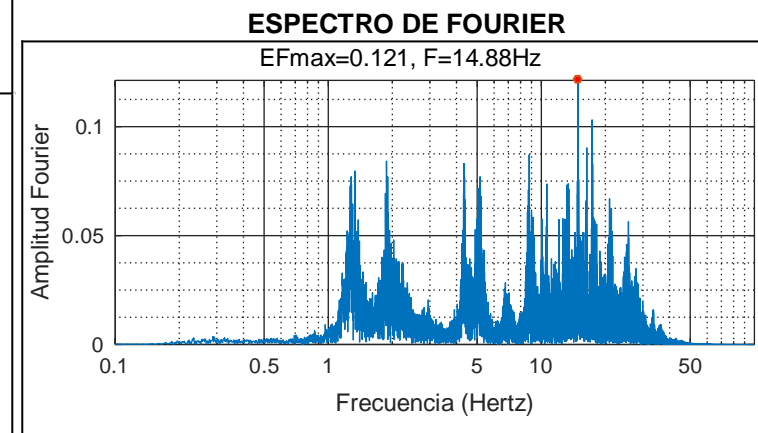
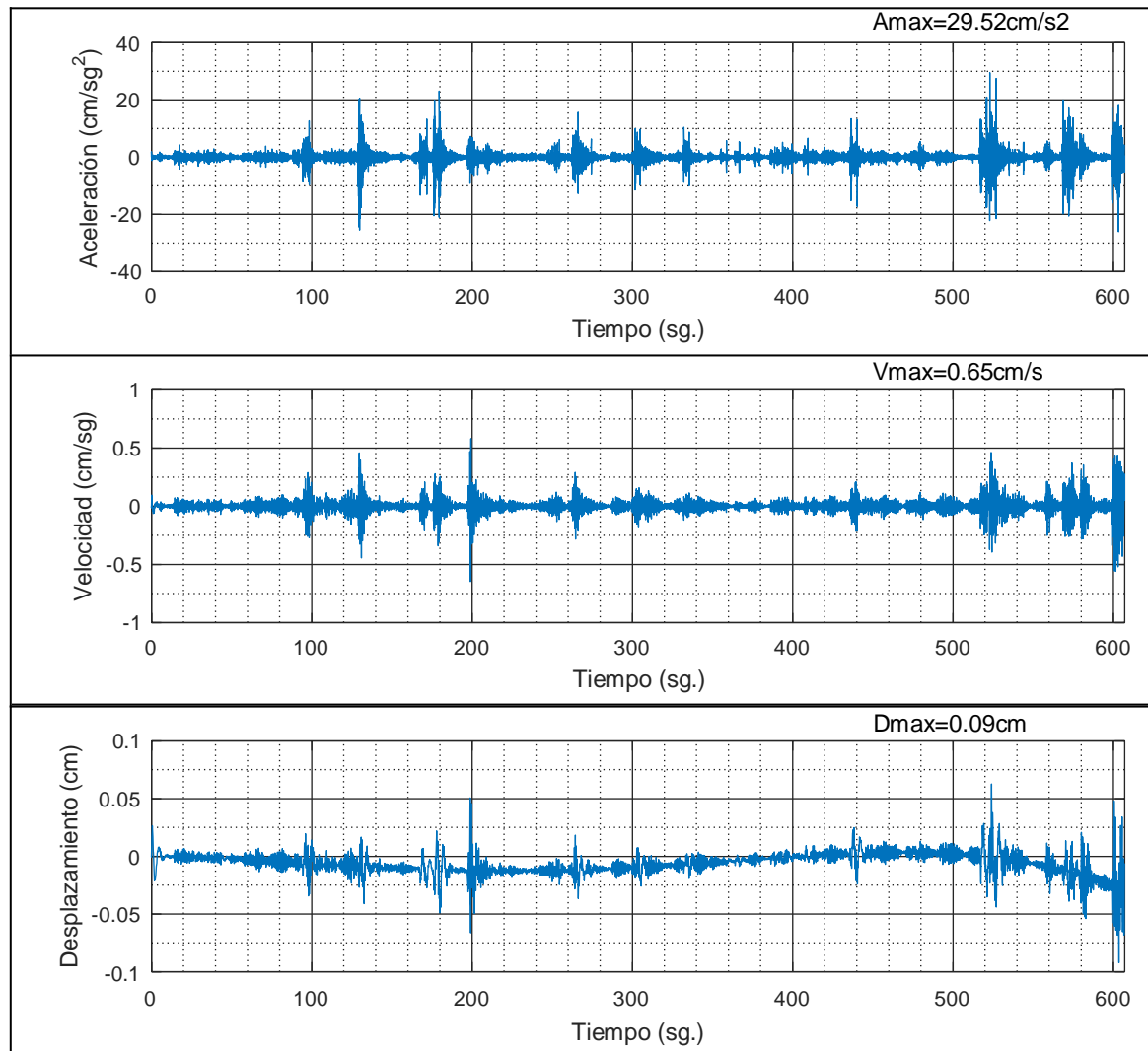


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Z

ARCHIVO: 3\_Sur\_AC\_ApoyoD.3mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.22 Fq2: 30.00



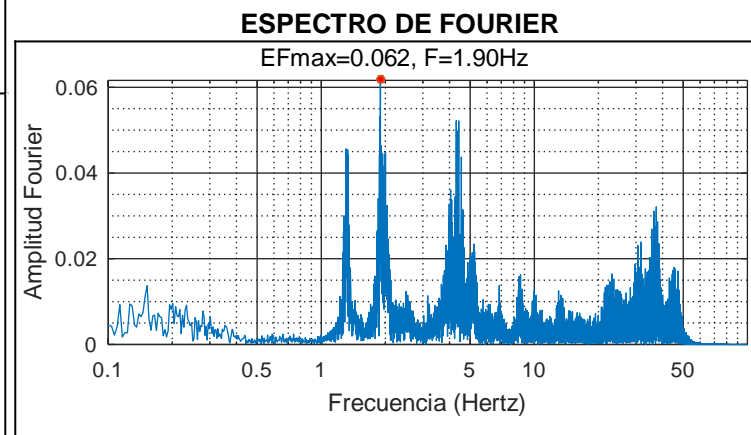
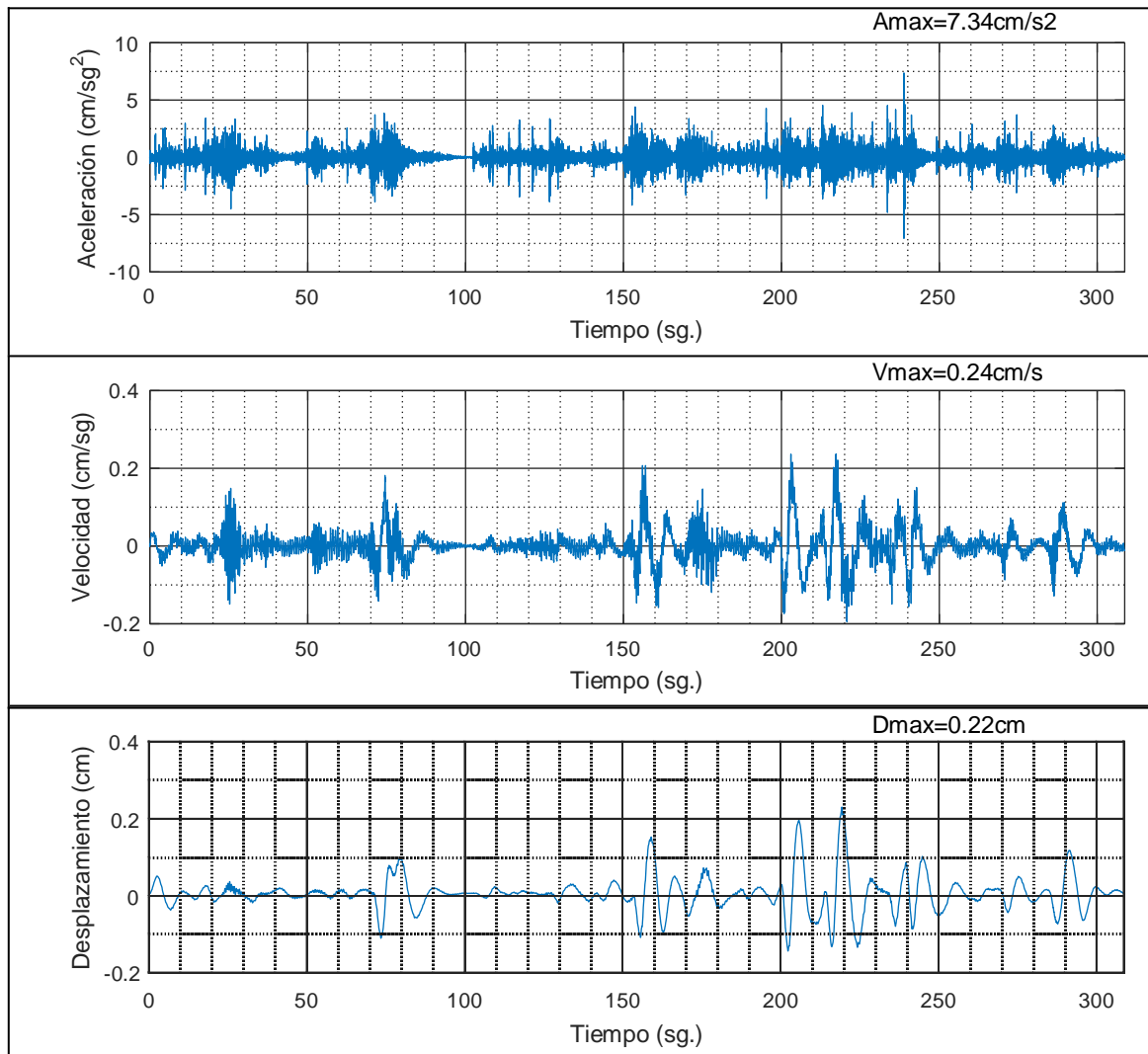


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: X

ARCHIVO: 4\_Sur\_CA\_Apoyol.1mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 35.00



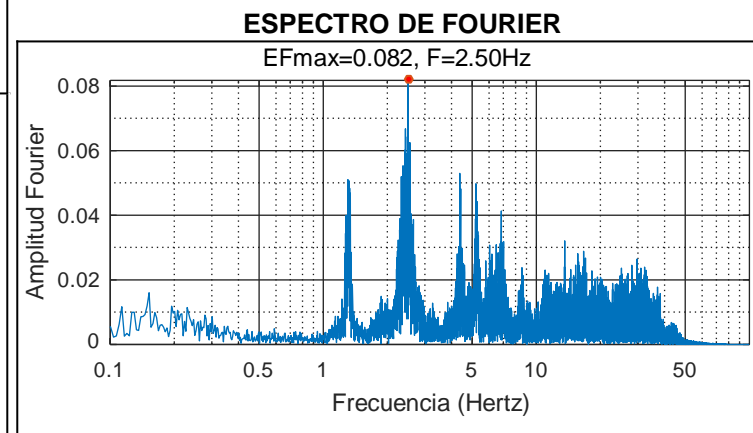
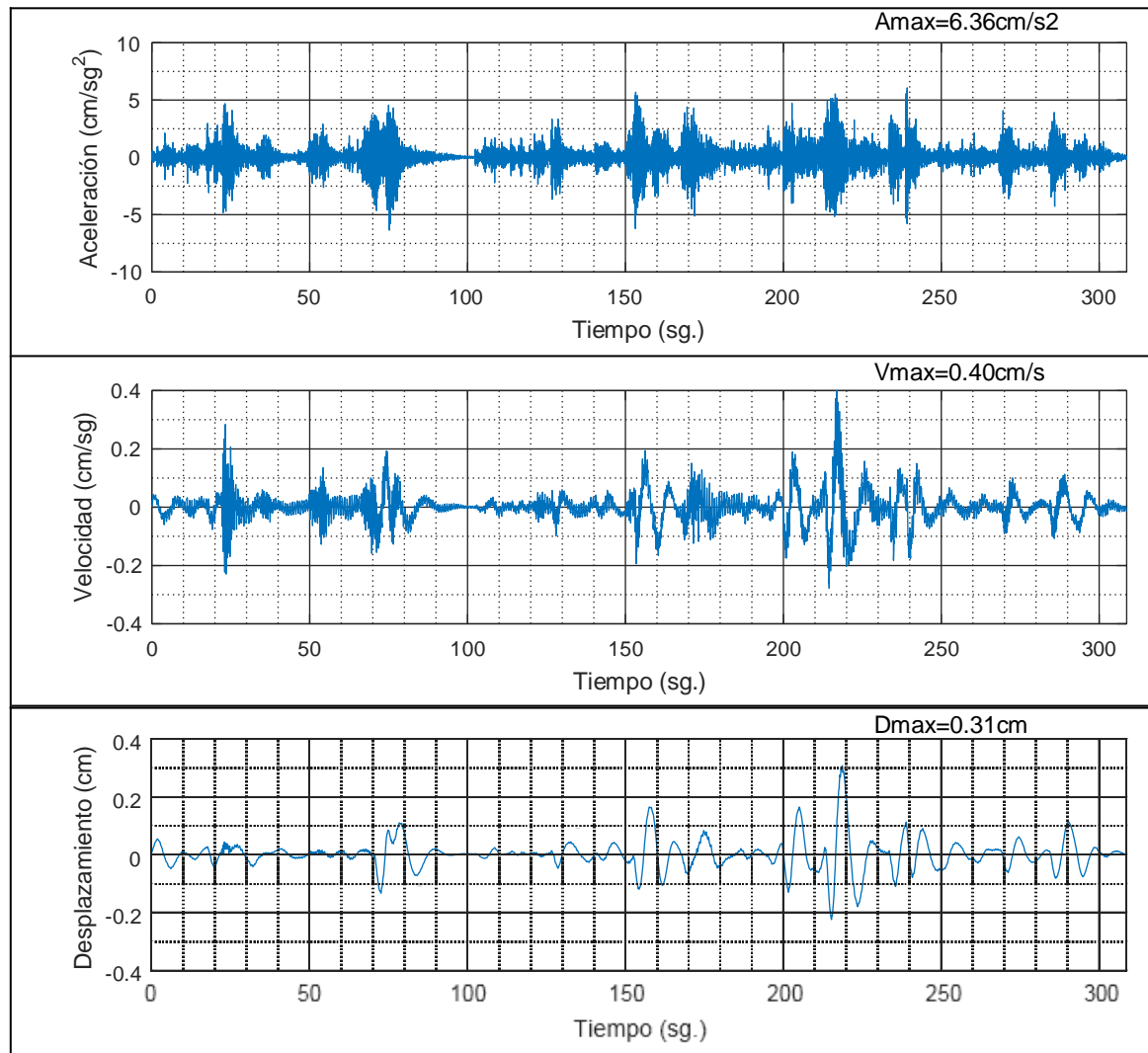


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Y

ARCHIVO: 4\_Sur\_CA\_Apoyol.2mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 35.00



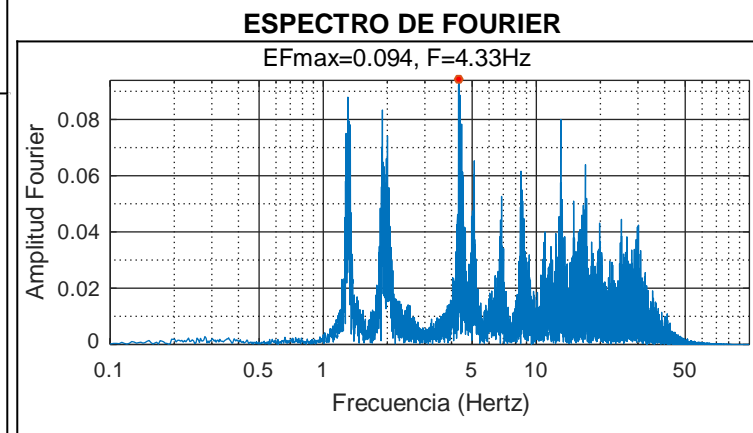
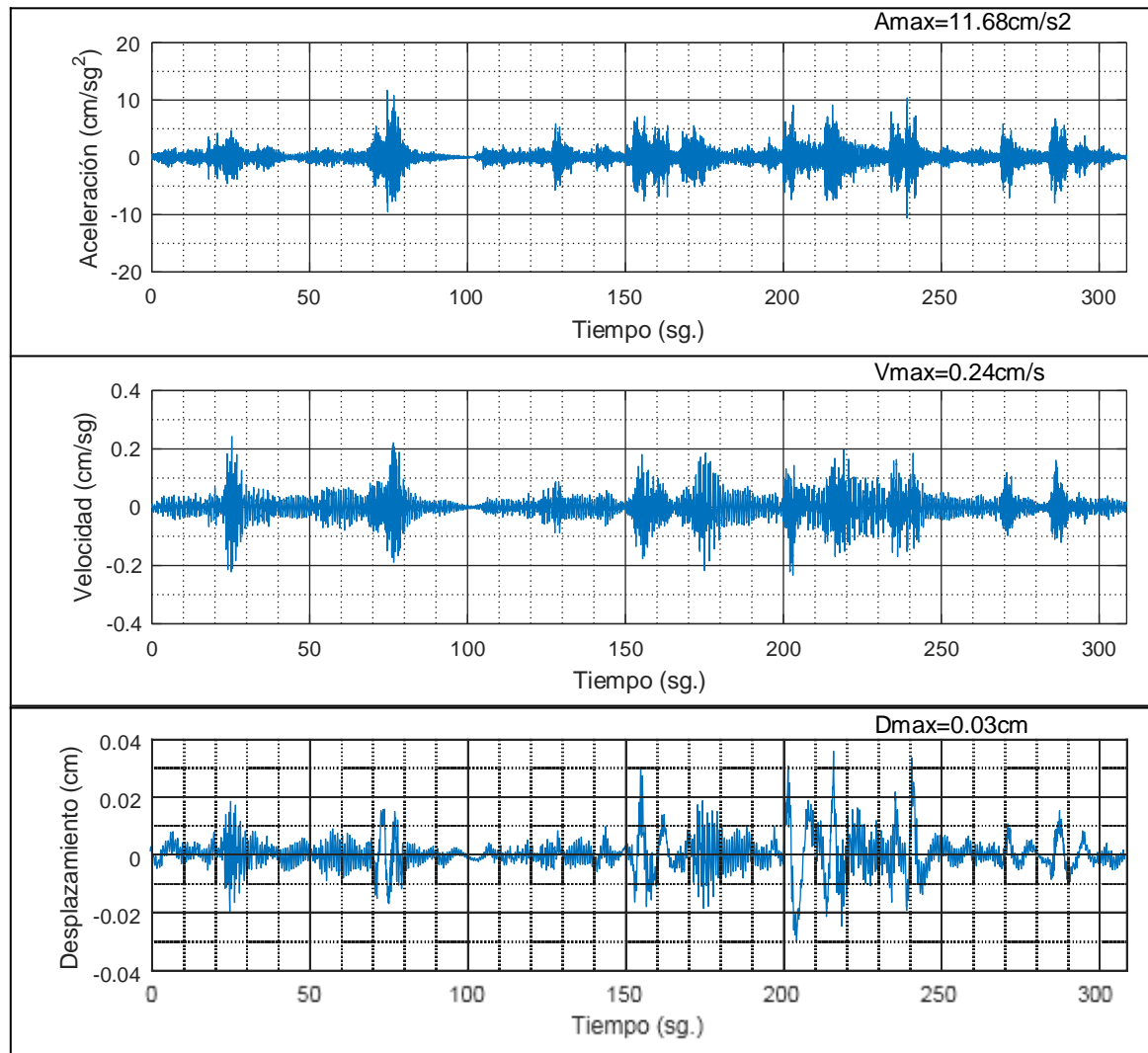


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Z

ARCHIVO: 4\_Sur\_CA\_Apoyol.3mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 35.00



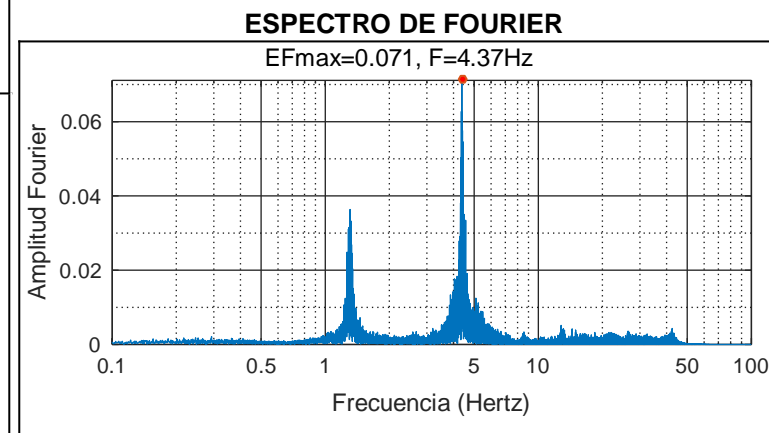
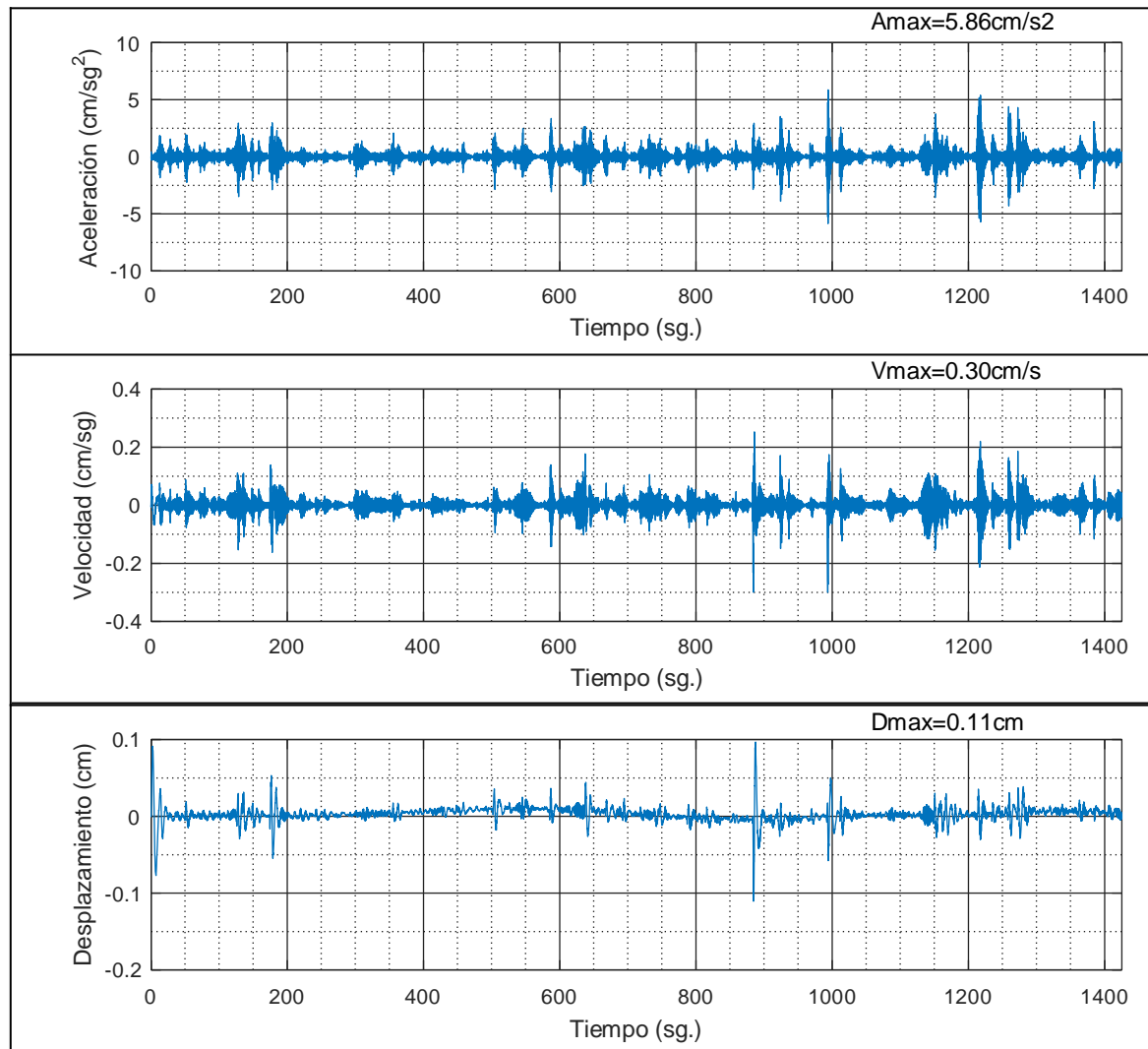


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: X

ARCHIVO: 5\_Sur\_CA\_Centro.1mg

FILTRO: Tipo:Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



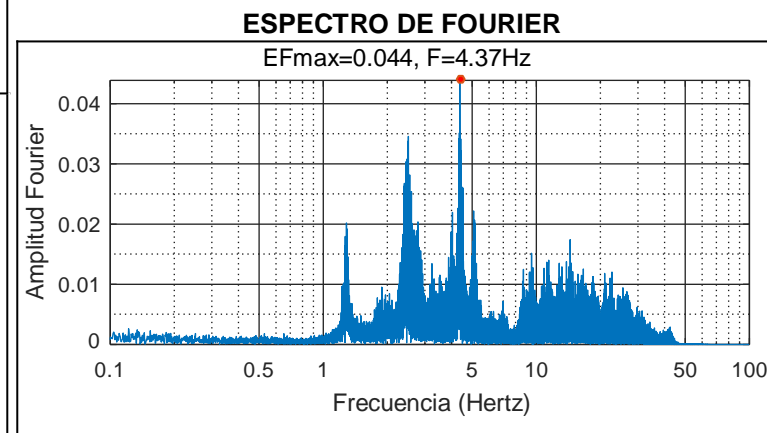
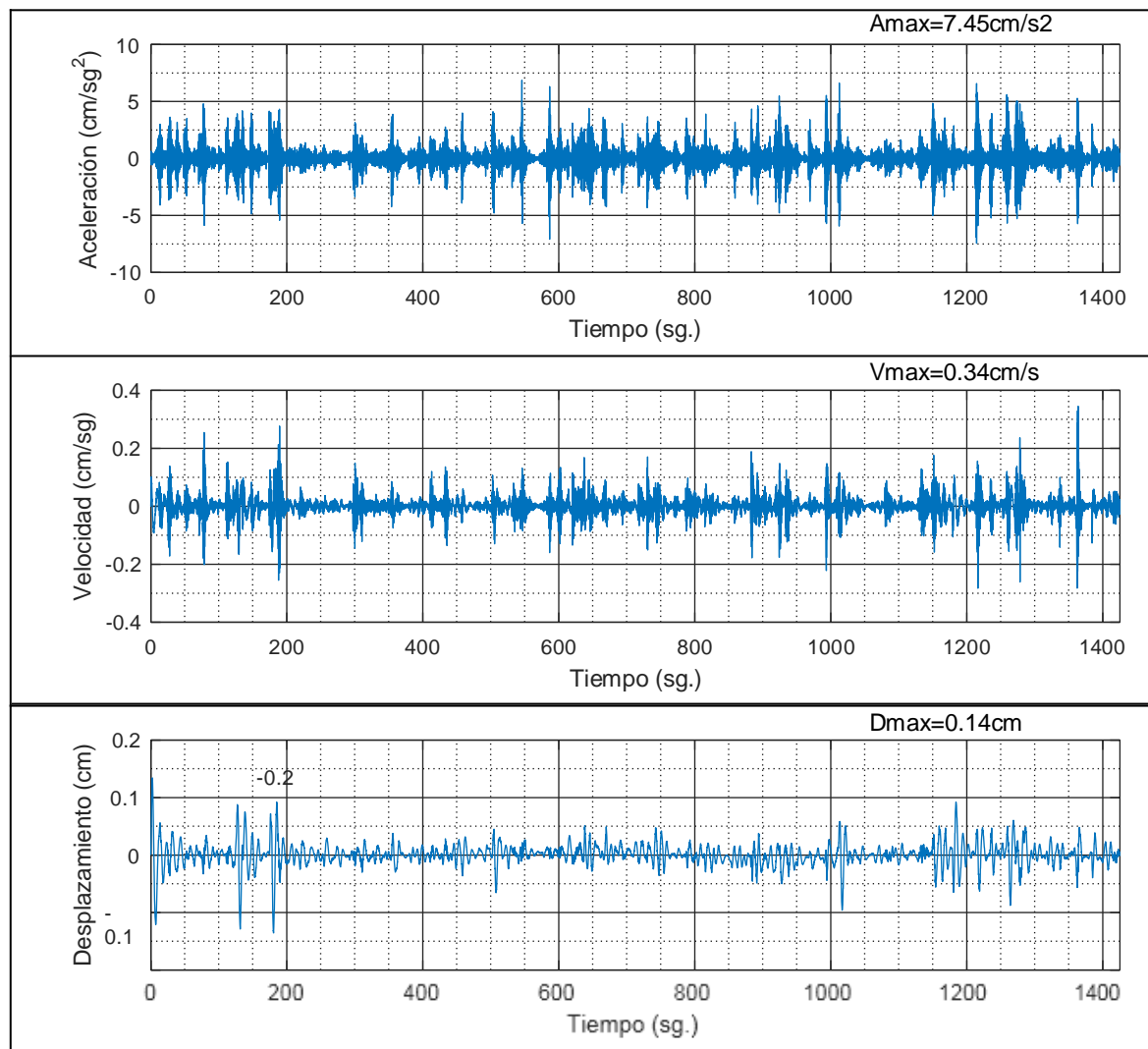


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Y

ARCHIVO: 5\_Sur\_CA\_Centro.2mg

FILTRO: Tipo:Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



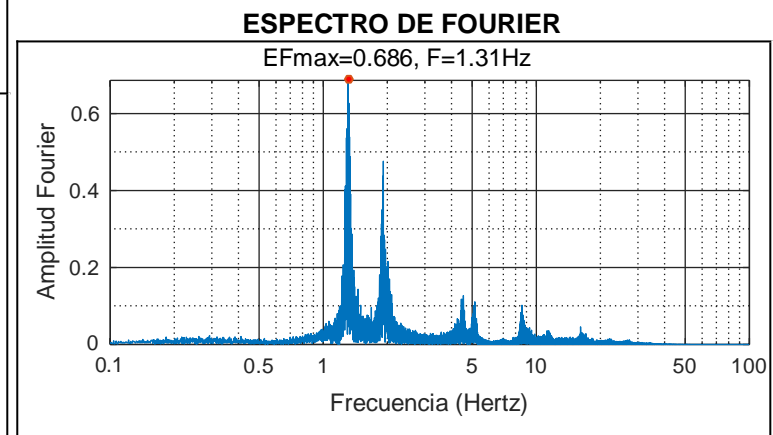
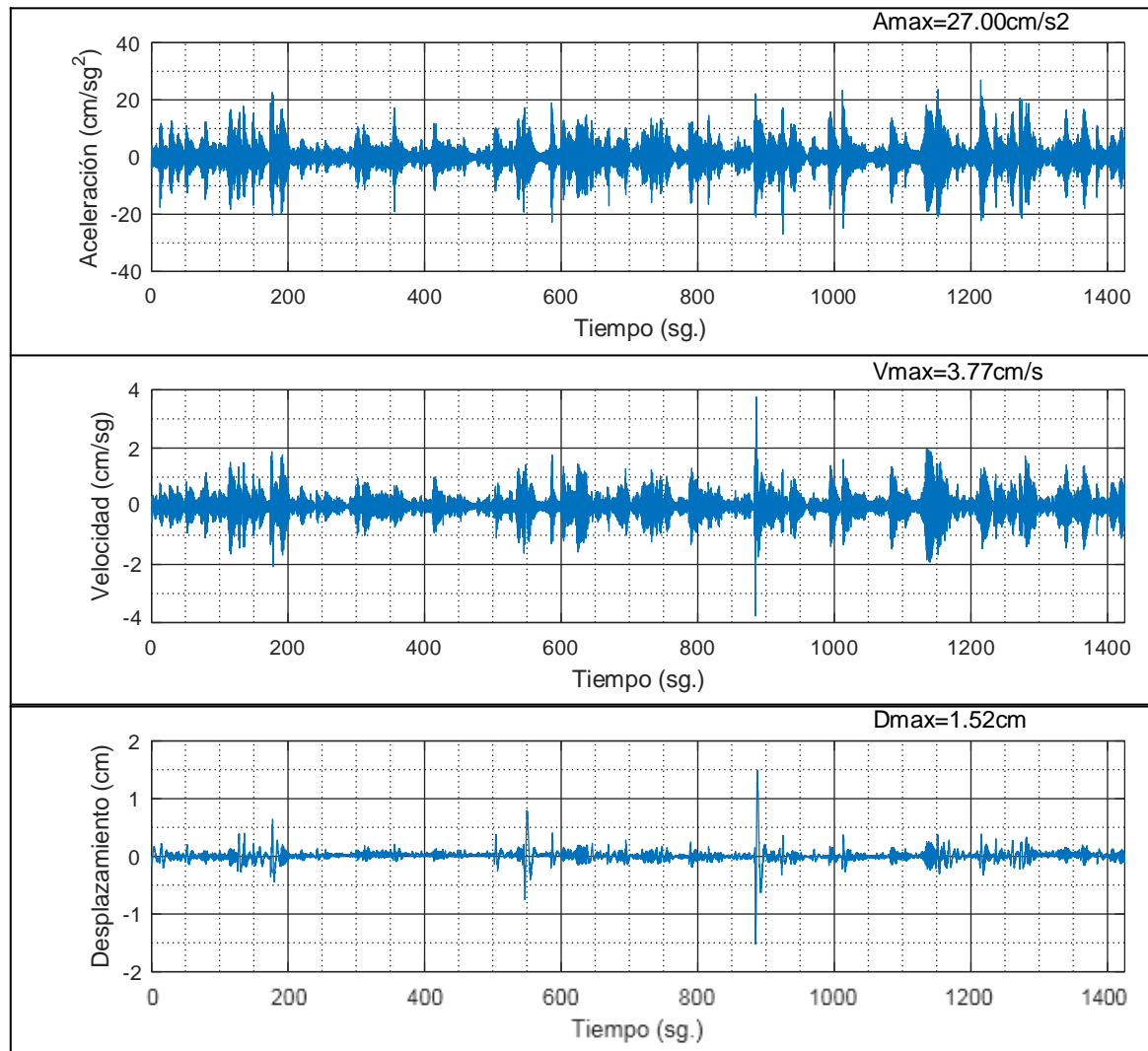


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Z

ARCHIVO: 5\_Sur\_CA\_Centro.3mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



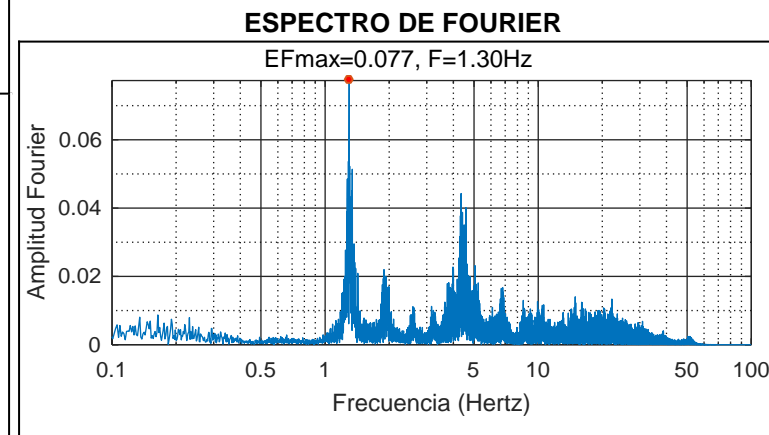
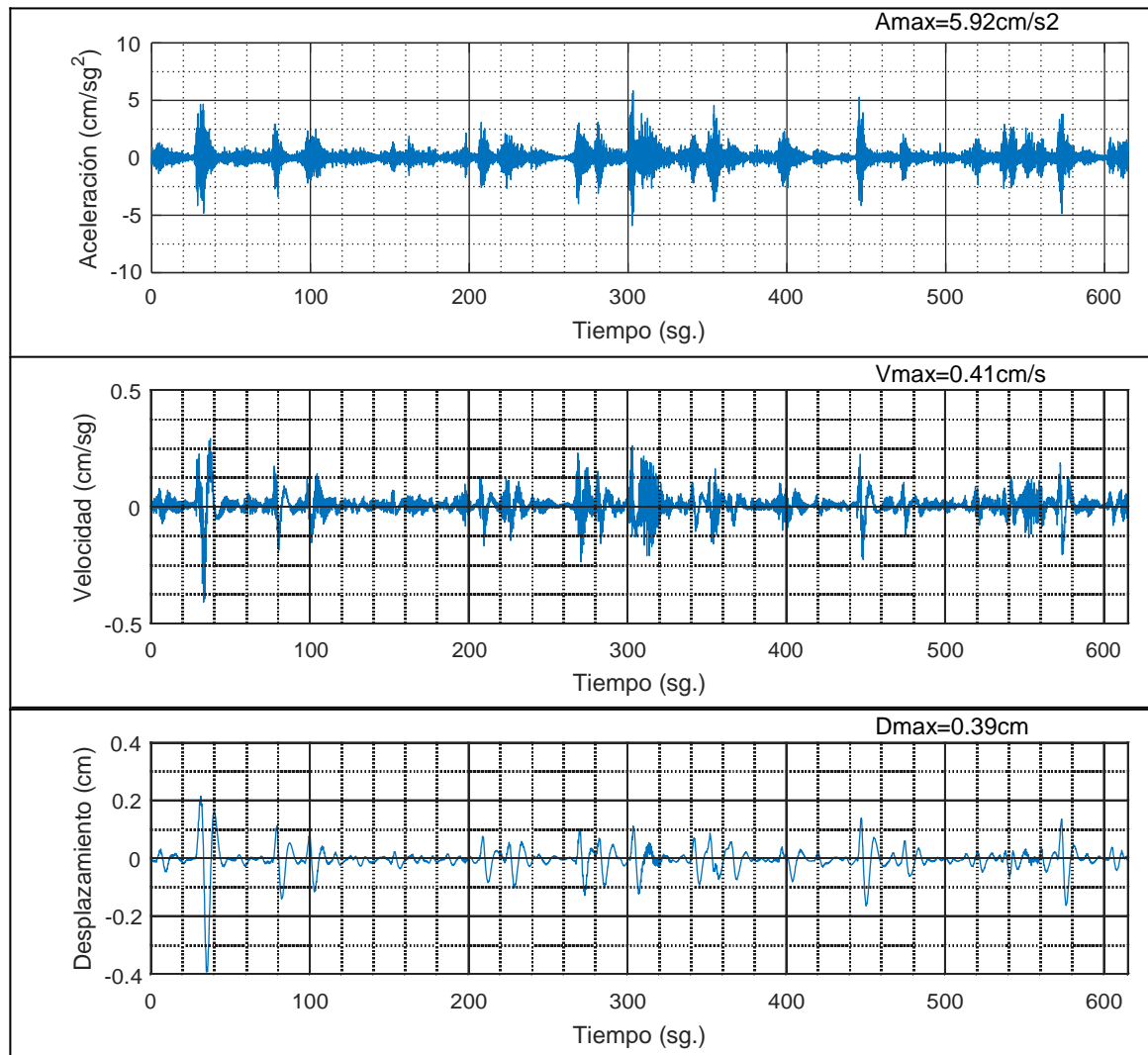


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: X

ARCHIVO: 6\_Sur\_CA\_ApoyoD.1mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00





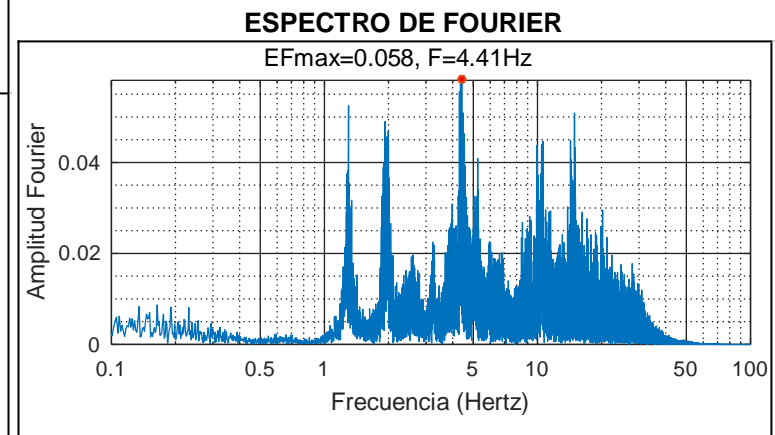
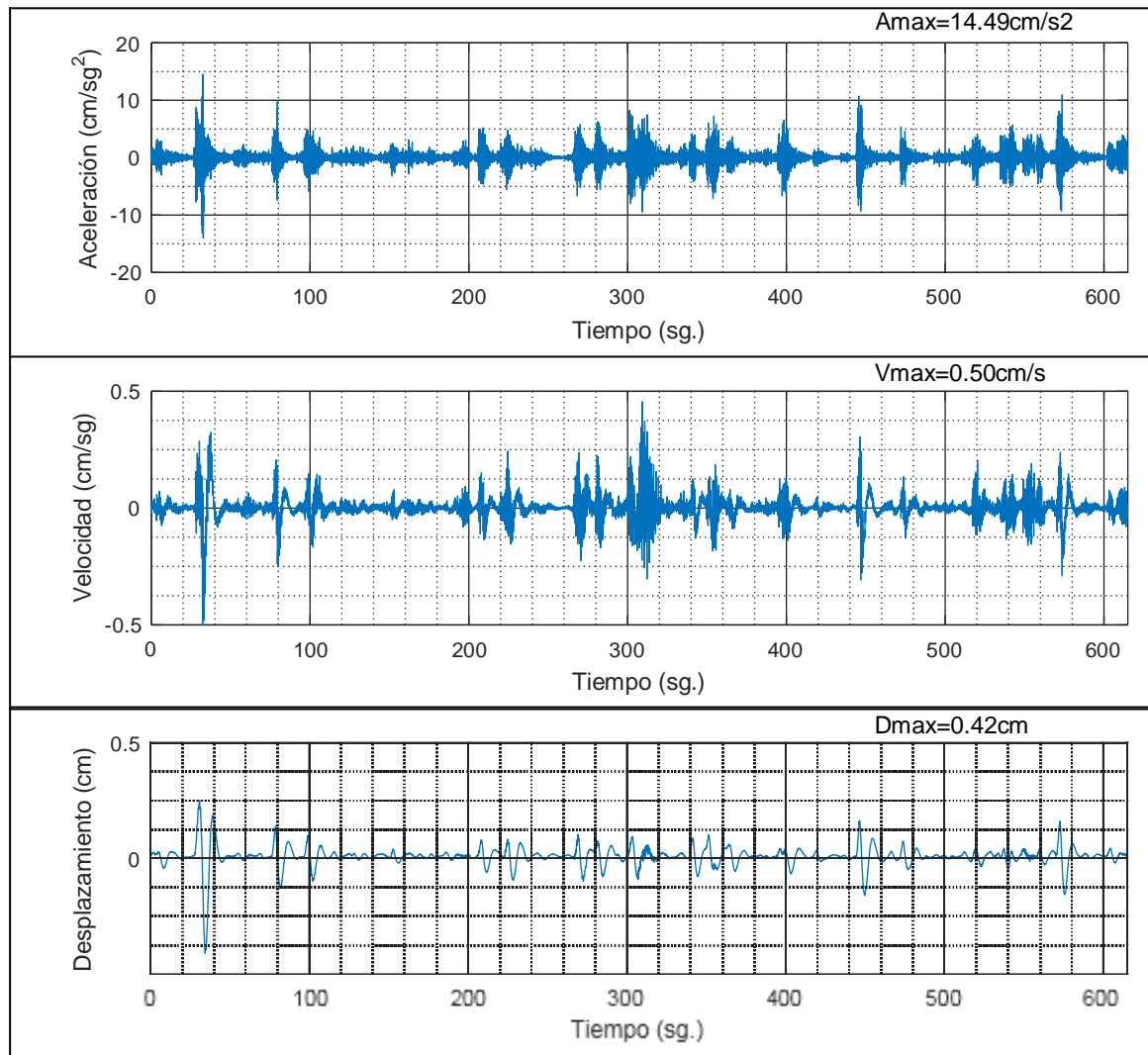


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Y

ARCHIVO: 6\_Sur\_CA\_ApoyoD.2mg

FILTRO: Tipo:Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



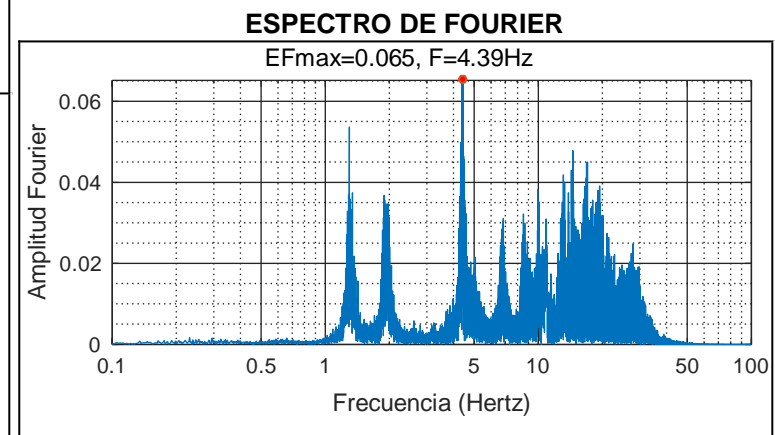
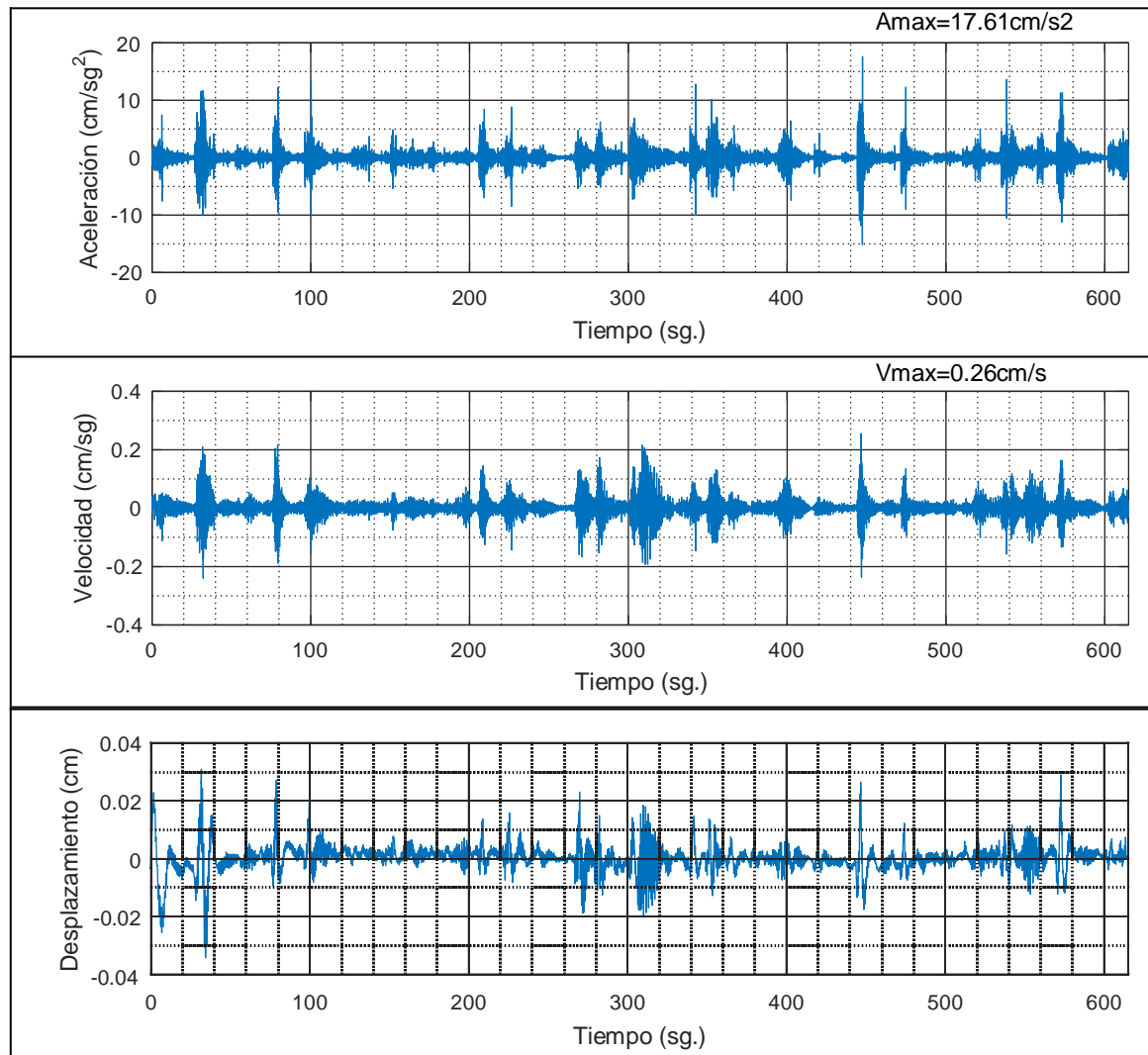


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Z

ARCHIVO: 6\_Sur\_CA\_ApoyoD.3mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



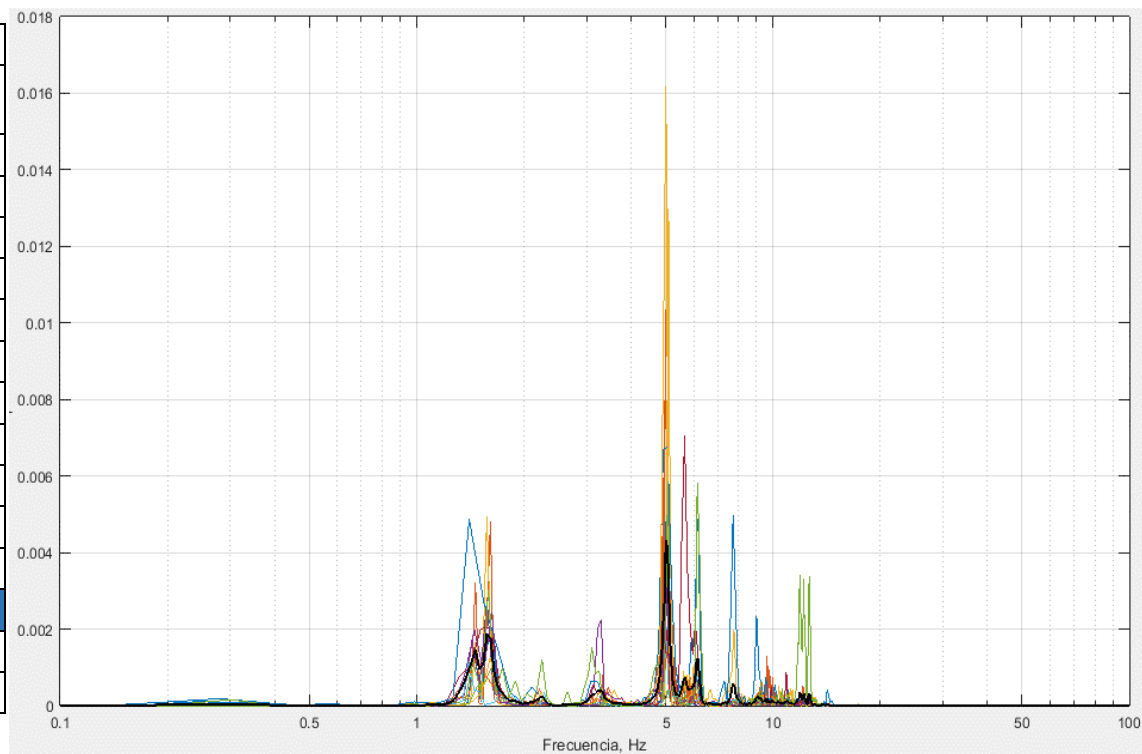


## ***6.3. Espectros de Fourier y Parámetros Dinámicos Puentes Nulti Norte***



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

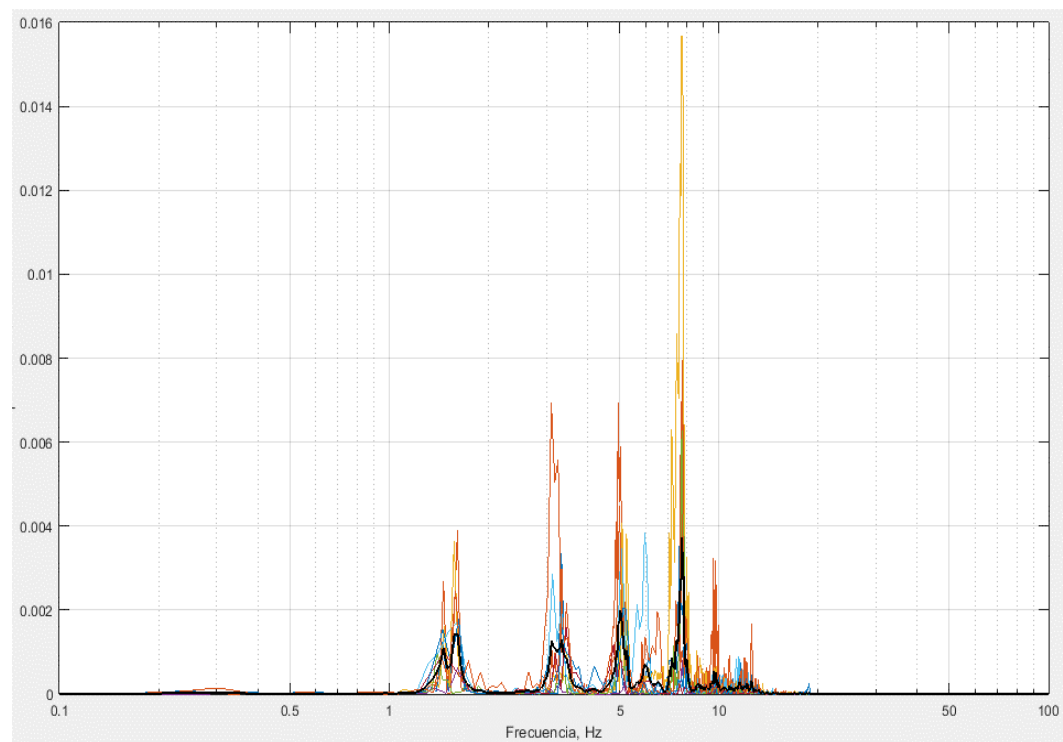
1_Norte_AC_Apoyol_x							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort.
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	16.51	1.9	18.41	0.01	5.03	0.20	1.34
2	26.66	39.22	65.88	0.01	4.99	0.20	0.86
3	19.04	82.89	101.9	0.01	5.09	0.20	0.88
4	13.96	101.9	115.9	0.00	5.01	0.20	1.21
6	19.29	168.7	188	0.00	5.03	0.20	0.96
7	9.90	217.7	227.6	0.01	5.65	0.18	2.05
9	8.13	233.2	241.3	0.00	5.04	0.20	2.39
10	11.17	240	251.2	0.02	5.01	0.20	1.53
11	11.68	265.7	277.4	0.00	5.05	0.20	1.7
12	13.20	294.6	307.8	0.01	5.07	0.20	1.12
<b>Promedio</b>					<b>5.10</b>	<b>0.20</b>	<b>1.40</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.20	0.01	0.51
<b>Coef. Variación</b>					3.9%	3.2%	36.7%





**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO**

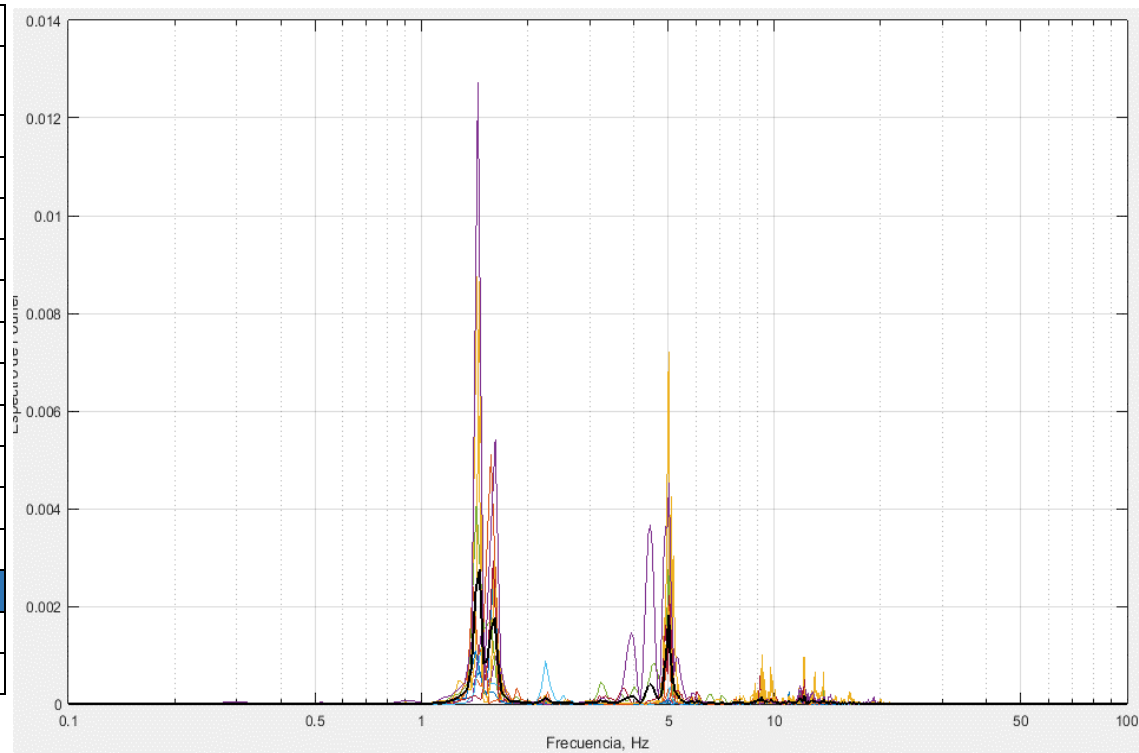
1_Norte_AC_Apoyol_y							
	<i>Duración</i>	<i>Ti</i>	<i>Tf</i>	<i>Amplitud Espectro</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Período</i>	<i>Coef. Amort.</i>
	<i>(seg)</i>	<i>(seg)</i>	<i>(seg)</i>		<i>(seg)</i>	<i>(seg)</i>	<i>(%)</i>
1	16.51	1.9	18.41	0.00	7.63	0.13	1.17
2	26.66	39.22	65.88	0.01	7.73	0.13	1.39
3	19.04	82.89	101.9	0.02	7.72	0.13	1.69
4	15.49	111.3	126.8	0.00	7.74	0.13	1.59
5	19.29	168.7	188	0.01	7.72	0.13	1.17
6	9.90	217.7	227.6	0.00	5.96	0.17	2.13
8	11.68	265.7	277.4	0.00	5.13	0.19	3.36
<i>Promedio</i>					<b>7.09</b>	<b>0.14</b>	<b>1.79</b>
<i>Desviación Est.</i>					1.08	0.03	0.77
<i>Coef. Variación</i>					15.3%	17.4%	43.1%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

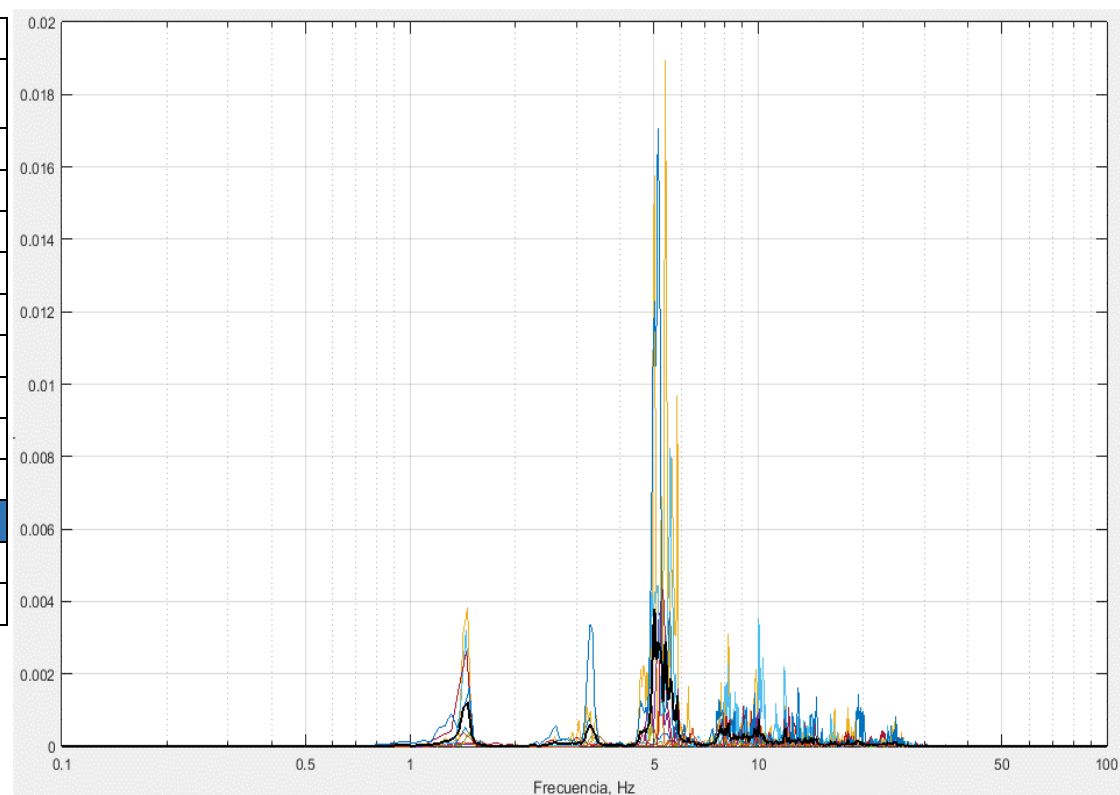
1_Norte_AC_Apoyol_z							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort.
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	13.70	18.41	32.11	0.00	1.61	0.62	2.34
2	10.15	29.58	39.73	0.01	1.58	0.63	3.27
3	26.66	39.22	65.88	0.01	1.46	0.68	1.37
4	12.19	70.7	82.89	0.00	1.48	0.68	3.33
5	13.96	101.9	115.9	0.00	1.43	0.7	3.42
7	14.22	128.3	142.6	0.00	1.48	0.68	3.30
8	16.25	142.6	158.8	0.00	1.6	0.63	2.28
10	19.29	168.7	188	0.00	1.4	0.71	2.62
12	18.79	249.9	268.7	0.01	1.44	0.7	1.92
13	17.27	277.1	294.4	0.01	1.45	0.69	2.14
<b>Promedio</b>					<b>1.49</b>	<b>0.67</b>	<b>2.60</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.08	0.03	0.71
<b>Coef. Variación</b>					5.1%	4.9%	27.2%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

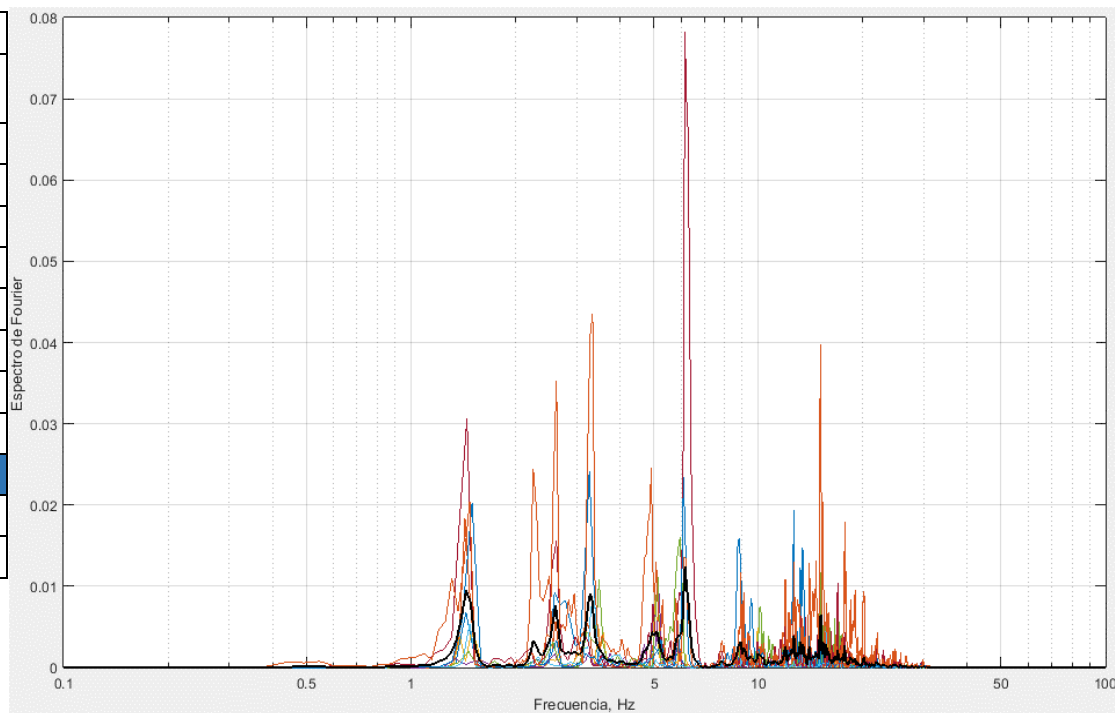
2_Norte_AC_Centro_x							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort.
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	10.41	22.72	33.13	0	3.26	0.31	3.07
2	11.93	32.88	44.81	0	5.28	0.19	1.58
4	24.63	94.82	119.45	0.02	5.4	0.19	0.92
5	10.41	136.2	146.61	0	5.18	0.19	2.29
6	14.22	201.19	215.41	0	4.92	0.2	1.31
7	20.05	225.57	245.62	0.01	5.58	0.18	1.41
8	14.47	245.62	260.09	0	5.32	0.19	2.01
9	18.28	268.98	287.26	0.02	5.14	0.19	2.75
<b>Promedio</b>					<b>5.01</b>	<b>0.21</b>	<b>1.92</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.73	0.04	0.75
<b>Coef. Variación</b>					14.6%	20.9%	38.9%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

2_Norte_AC_Centro_y							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort.
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
3	18.78	119.45	138.23	0.01	5.06	0.2	1.64
4	10.41	136.2	146.61	0.01	5.18	0.19	1.2
5	10.91	146.36	157.27	0.02	5.96	0.17	2.74
6	14.22	201.19	215.41	0.01	3.37	0.3	2.51
7	14.47	245.62	260.09	0.08	6.15	0.16	2.17
8	10.66	259.59	270.25	0.02	6.09	0.16	1.42
9	18.28	268.98	287.26	0.04	3.34	0.3	2.35
<b>Promedio</b>					<b>5.02</b>	<b>0.21</b>	<b>2.00</b>
<b>Desviación Est.</b>					<b>1.22</b>	<b>0.06</b>	<b>0.59</b>
<b>Coef. Variación</b>					<b>24.2%</b>	<b>29.5%</b>	<b>29.3%</b>

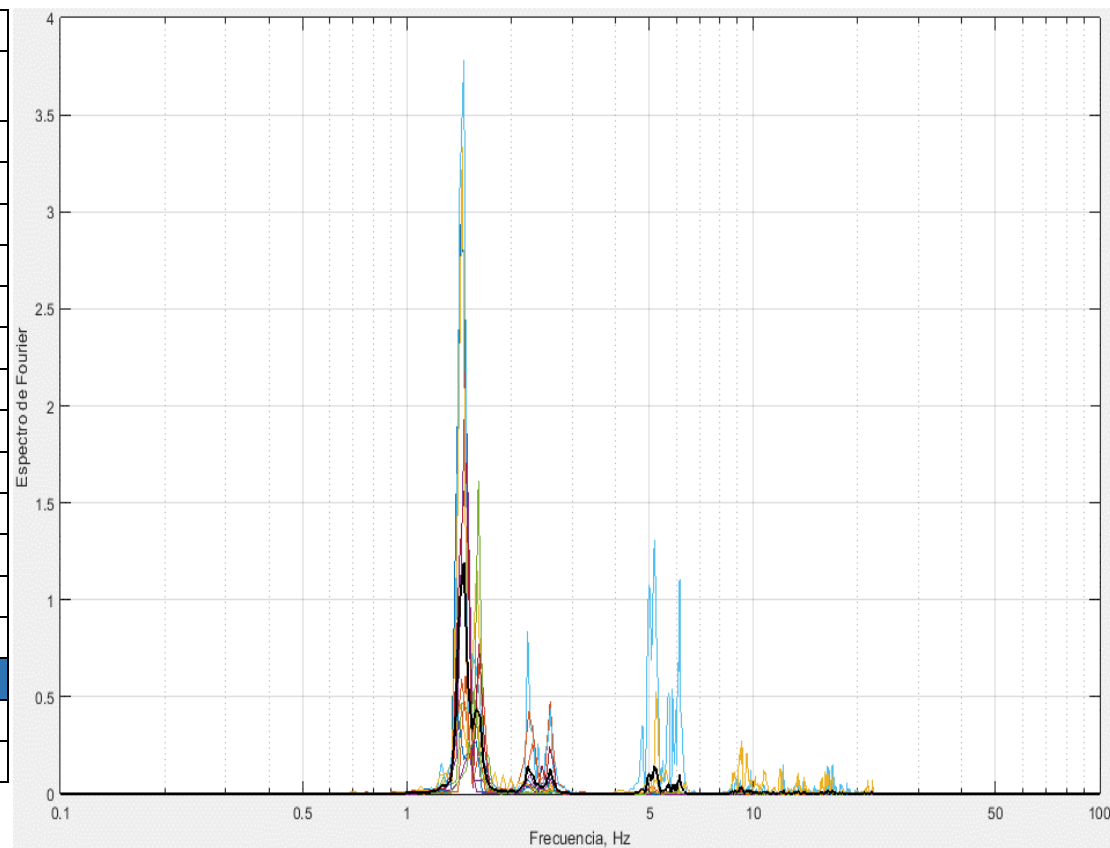






**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO**

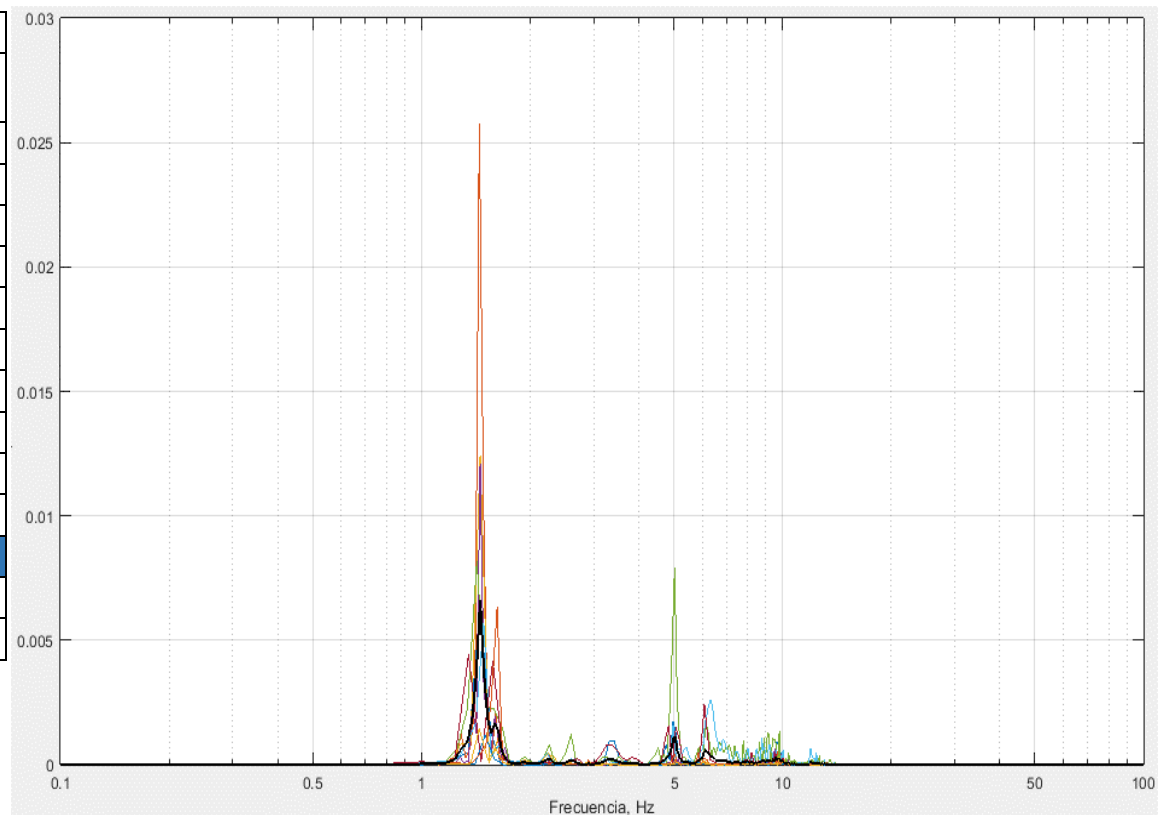
2_Norte_AC_Centro_z							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort.
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	10.41	0.38	10.79	3.19	1.44	0.69	3.72
2	10.41	22.72	33.13	0.74	1.63	0.61	3.42
3	11.93	32.88	44.81	1.19	1.59	0.63	2.89
4	12.19	45.06	57.25	2.18	1.48	0.68	2.96
5	18.02	57.25	75.27	1.61	1.61	0.62	1.85
6	24.63	94.82	119.45	3.78	1.46	0.68	2.75
7	15.49	170.73	186.22	1.7	1.48	0.67	4.02
8	15.74	186.22	201.96	0.43	1.4	0.72	3.1
9	14.22	201.19	215.41	0.61	1.48	0.68	2.51
10	20.05	225.57	245.62	3.33	1.45	0.69	2.33
11	11.94	285.73	297.67	0.22	1.51	0.66	3.56
12	13.45	296.91	310.36	0.54	1.56	0.64	3.13
<b>Promedio</b>					<b>1.51</b>	<b>0.66</b>	<b>3.02</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.07	0.03	0.61
<b>Coef. Variación</b>					4.9%	5.0%	20.4%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

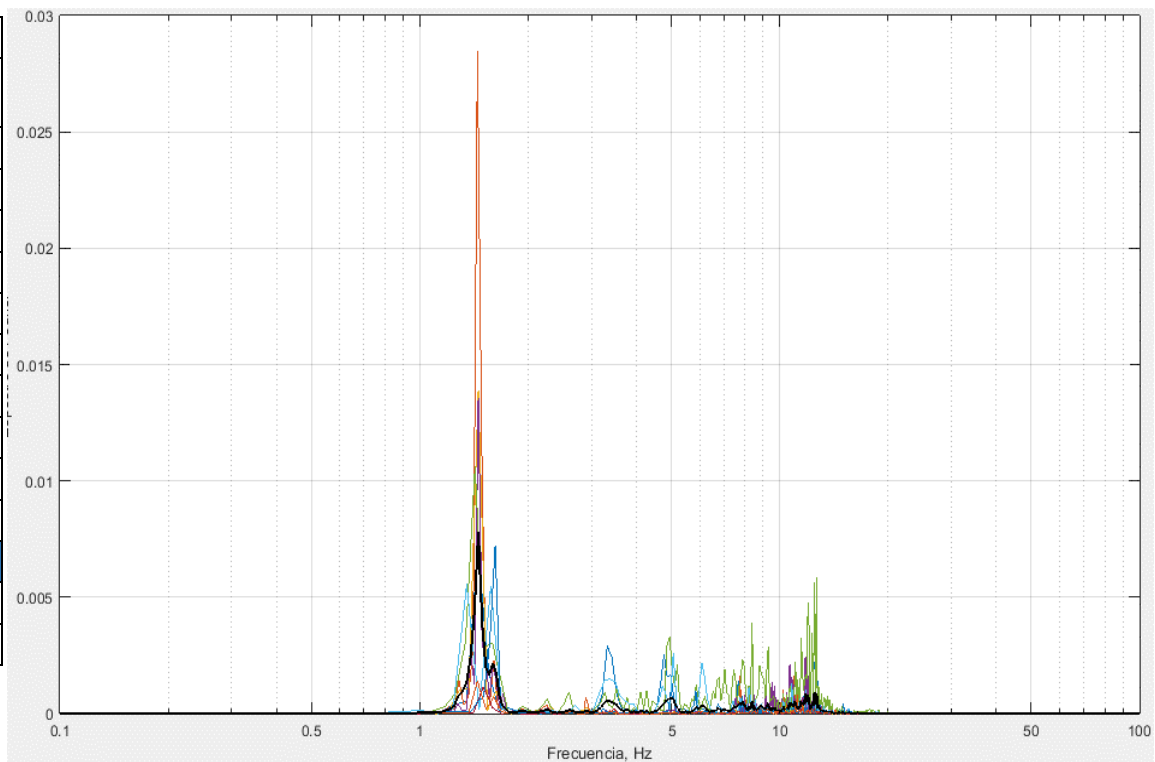
3_Norte_AC_ApoyoD_x							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort.
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	9.64	13.84	23.48	0.01	1.45	0.69	4.19
2	24.88	42.27	67.15	0.03	1.45	0.69	1.91
3	11.68	80.86	92.54	0.01	1.45	0.69	3.07
4	28.18	92.79	121	0.01	1.45	0.69	1.48
5	11.93	121	132.9	0.01	1.42	0.7	4.11
6	13.45	131.9	145.3	0.01	1.49	0.67	3.07
7	10.66	173.3	183.9	0	1.5	0.67	3.51
8	17.27	183.4	200.7	0.01	1.62	0.62	2.47
9	12.44	217.2	229.6	0	1.45	0.69	3.00
Promedio					1.48	0.68	2.98
Desviación Est.					0.06	0.02	0.91
Coef. Variación					4.0%	3.6%	30.7%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

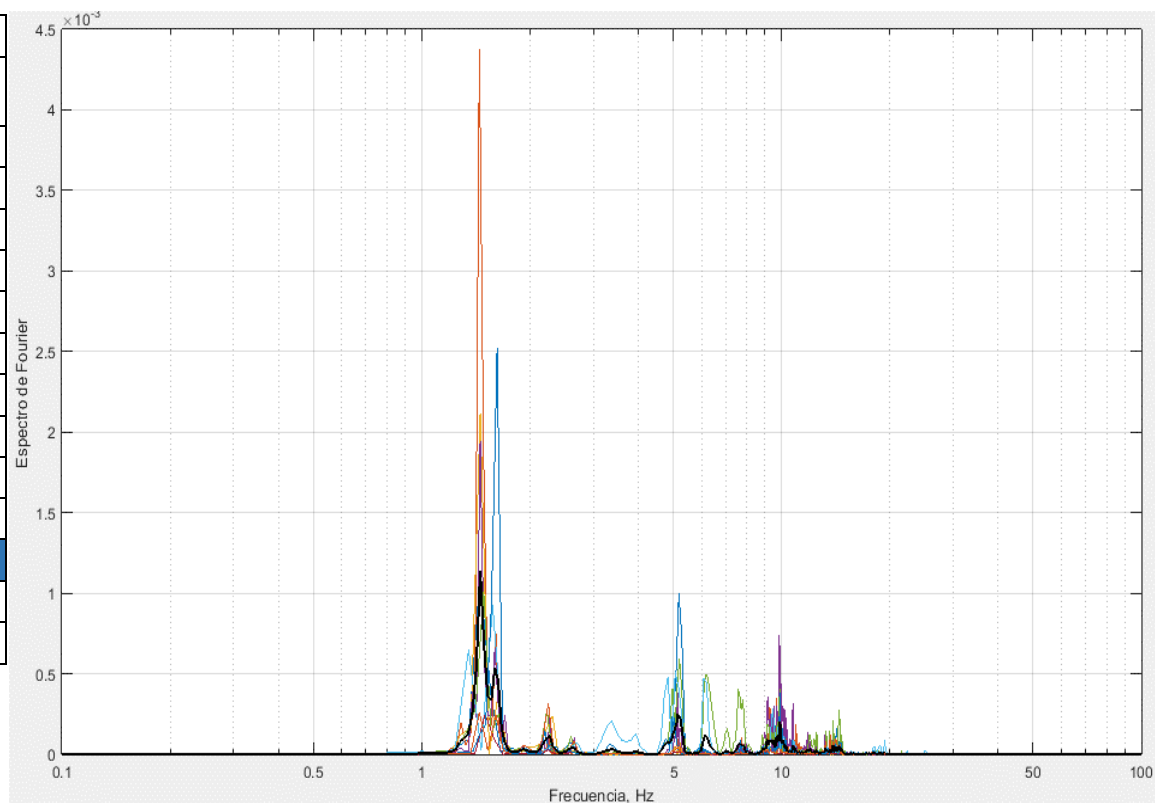
3_Norte_AC_ApoyoD_y							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud	Frecuencia	Período	Coef. Amort.
	(seg)	(seg)	(seg)	Espectro	(seg)	(seg)	(%)
1	9.64	13.84	23.48	0.01	1.45	0.69	4.31
2	24.88	42.27	67.15	0.03	1.45	0.69	1.93
3	11.68	80.86	92.54	0.01	1.45	0.69	3.08
4	28.18	92.79	121	0.01	1.45	0.69	1.46
5	11.93	121	132.9	0.01	1.42	0.7	4.1
6	8.88	145.1	154	0.01	1.35	0.74	4.32
7	10.66	173.3	183.9	0	1.5	0.67	3.58
8	17.27	183.4	200.7	0.01	1.62	0.62	2.42
9	12.44	217.2	229.6	0	1.45	0.69	3.02
<b>Promedio</b>					<b>1.46</b>	<b>0.69</b>	<b>3.14</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.07	0.03	1.04
<b>Coef. Variación</b>					4.9%	4.5%	33.3%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

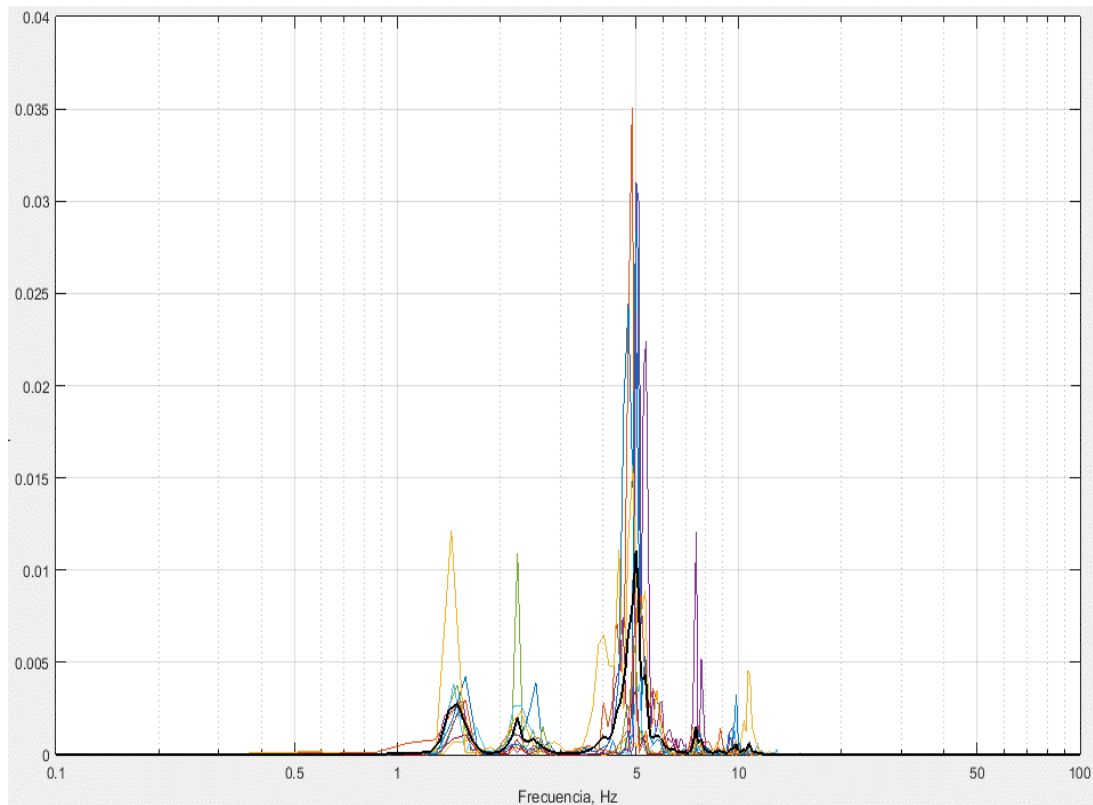
3_Norte_AC_ApoyoD_z							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort.
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	9.64	13.84	23.48	0	1.45	0.69	3.68
2	24.88	42.27	67.15	0	1.45	0.69	1.96
3	11.68	80.86	92.54	0	1.45	0.69	3.07
4	28.18	92.79	121	0	1.45	0.69	1.58
5	13.45	131.9	145.3	0	1.49	0.67	3.17
6	8.88	145.1	154	0	1.58	0.63	3.68
7	10.66	173.3	183.9	0	1.5	0.67	3.03
8	17.27	183.4	200.7	0	1.62	0.62	2.32
9	12.44	217.2	229.6	0	1.82	0.44	2.27
<b>Promedio</b>					<b>1.53</b>	<b>0.64</b>	<b>2.75</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.12	0.08	0.75
<b>Coef. Variación</b>					8.1%	12.6%	27.2%





**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO**

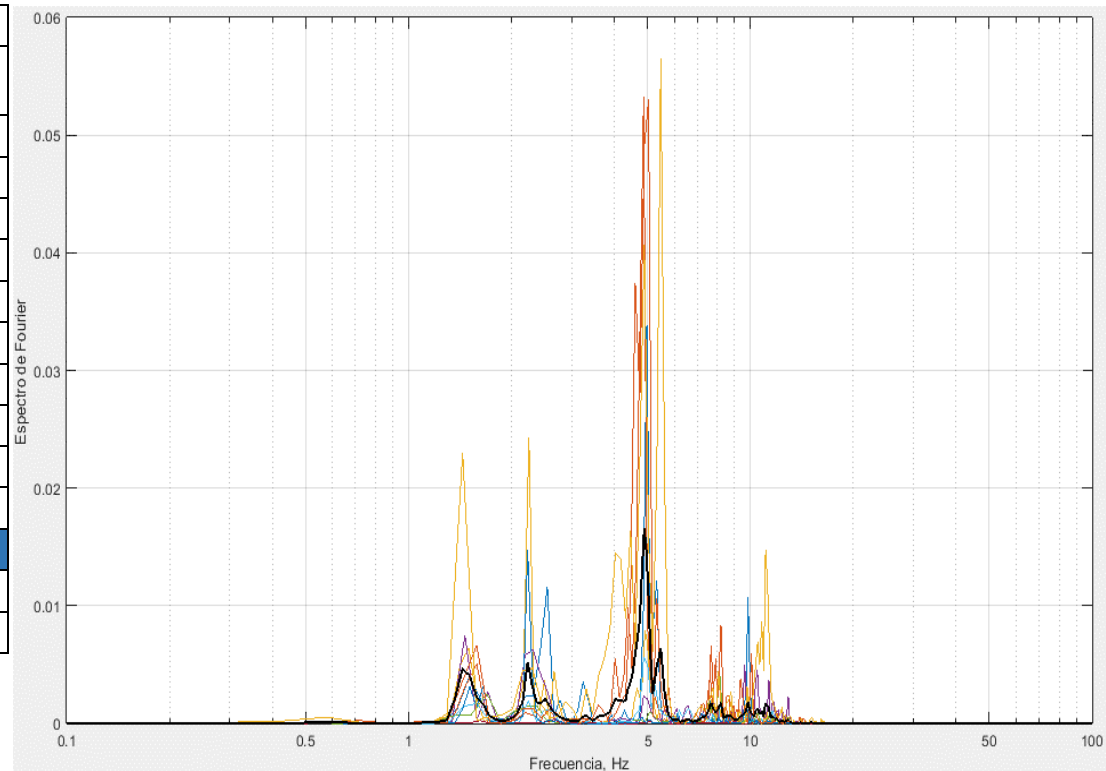
4_Norte_CA_Apoyol_x							
#	<i>Duración</i>	<i>Ti</i>	<i>Tf</i>	<i>Amplitud Espectro</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Período</i>	<i>Coef. Amort.</i>
	<i>(seg)</i>	<i>(seg)</i>	<i>(seg)</i>		<i>(seg)</i>	<i>(seg)</i>	
1	8.63	17.35	25.98	0.03	4.98	0.2	1.6
2	8.20	25.98	34.18	0.04	4.88	0.21	2.38
3	10.31	107.81	118.12	0.00	5.14	0.19	3.06
4	11.57	117.7	129.27	0.03	5.01	0.2	1.85
5	8.20	147.15	155.35	0.00	5.12	0.2	2.59
6	7.58	161.03	168.61	0.00	5.01	0.2	2.66
7	6.94	211.1	218.04	0.03	5.04	0.2	2.13
8	6.94	234.24	241.18	0.02	4.9	0.2	3.41
<b>Promedio</b>					<b>5.01</b>	<b>0.20</b>	<b>2.46</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.09	0.01	0.60
<b>Coef. Variación</b>					1.8%	2.7%	24.5%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

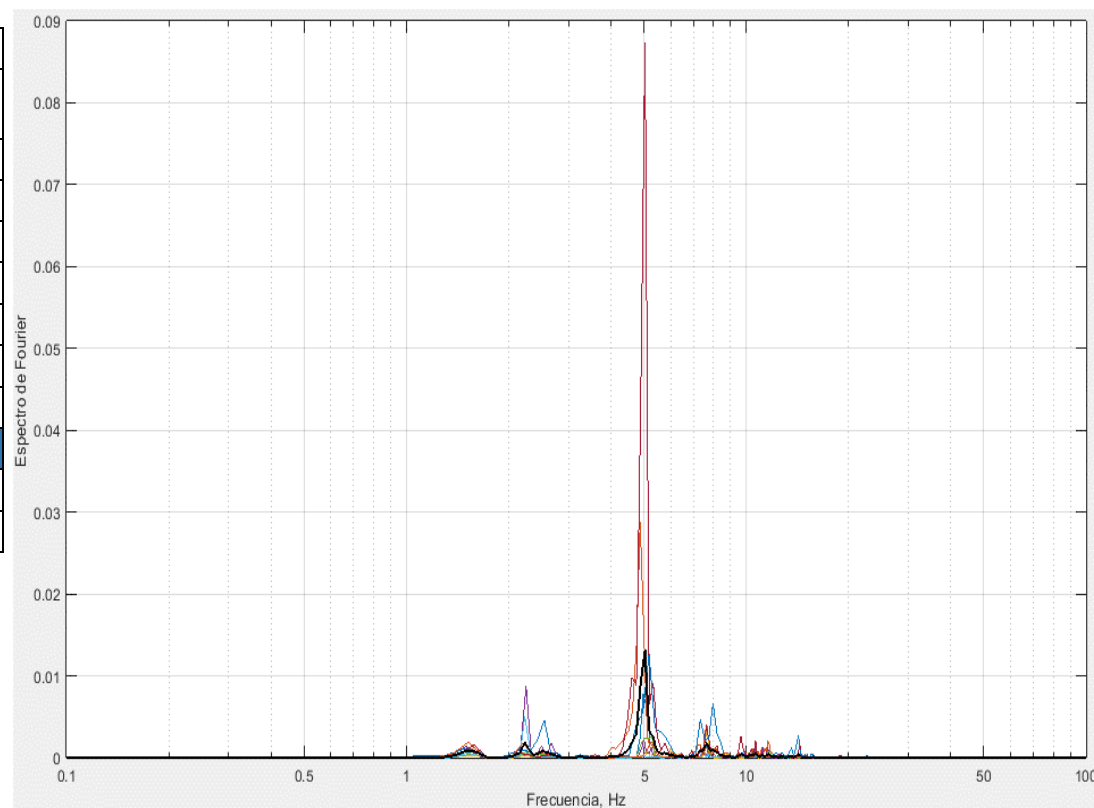
4_Norte_CA_Apoyol_y							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud	Frecuencia	Período	Coef. Amort.
	(seg)	(seg)	(seg)	Espectro	(seg)	(seg)	(%)
1	8.63	17.35	25.98	0.03	4.98	0.2	1.52
2	8.20	25.98	34.18	0.05	4.88	0.21	2.41
3	11.99	136.63	148.62	0.02	2.25	0.44	2.03
4	8.20	147.15	155.35	0.01	1.46	0.68	4.33
5	7.58	161.03	168.61	0.01	4.88	0.21	3.00
6	8.62	168.61	177.23	0.00	2.67	0.38	3.14
7	13.89	177.23	191.12	0.01	2.23	0.45	1.97
8	6.94	211.1	218.04	0.05	5.04	0.2	3.6
9	6.94	234.24	241.18	0.06	5.47	0.18	2.1
<b>Promedio</b>					<b>3.76</b>	<b>0.33</b>	<b>2.68</b>
<b>Desviación Est.</b>					1.57	0.17	0.91
<b>Coef. Variación</b>					41.7%	52.5%	33.8%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

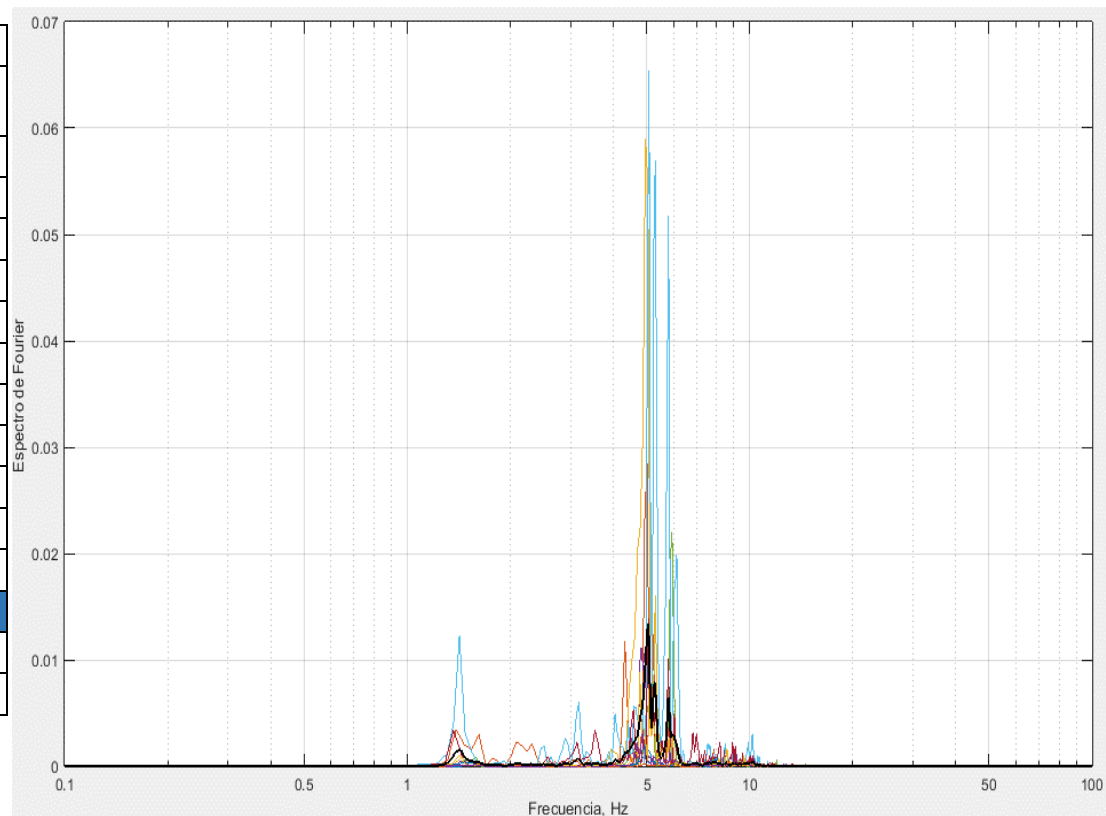
4_Norte_CA_Apoyol_z							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort.
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	8.63	17.35	25.98	0.01	4.98	0.2	2.58
2	8.20	25.98	34.18	0.03	4.88	0.21	2.55
3	7.58	161.03	168.61	0.00	5.27	0.19	2.47
4	6.94	211.1	218.04	0.09	5.04	0.2	2.23
5	4.63	218.04	222.67	0.01	5.18	0.19	3.3
6	5.89	228.35	234.24	0.00	5.26	0.19	3.05
<b>Promedio</b>					<b>5.10</b>	<b>0.20</b>	<b>2.70</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.16	0.01	0.40
<b>Coef. Variación</b>					3.1%	4.2%	14.8%





**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO**

5_Norte_CA_Centro_x							
#	<i>Duración</i>	<i>Ti</i>	<i>Tf</i>	<i>Amplitud Espectro</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Período</i>	<i>Coef. Amort.</i>
	<i>(seg)</i>	<i>(seg)</i>	<i>(seg)</i>		<i>(seg)</i>	<i>(seg)</i>	<i>(%)</i>
1	6.09	4.95	11.04	0	5.09	0.2	2.3
2	12.95	31.86	44.81	0.03	5.02	0.2	1.6
3	11.68	43.03	54.71	0.06	4.96	0.2	2.32
4	24.37	53.95	78.32	0.01	4.84	0.21	2.44
5	17.01	96.09	113.1	0.02	5.94	0.17	1.55
6	18.28	174.03	192.31	0.07	5.09	0.2	1.07
7	12.44	203.48	215.92	0.01	5.06	0.2	1.03
8	11.68	256.03	267.71	0	5.91	0.17	1.35
9	15.48	275.33	290.81	0.01	4.78	0.21	0.87
10	10.66	289.8	300.46	0	4.88	0.21	1.26
<b>Promedio</b>					<b>5.16</b>	<b>0.20</b>	<b>1.58</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.42	0.01	0.58
<b>Coef. Variación</b>					8.1%	7.6%	36.7%

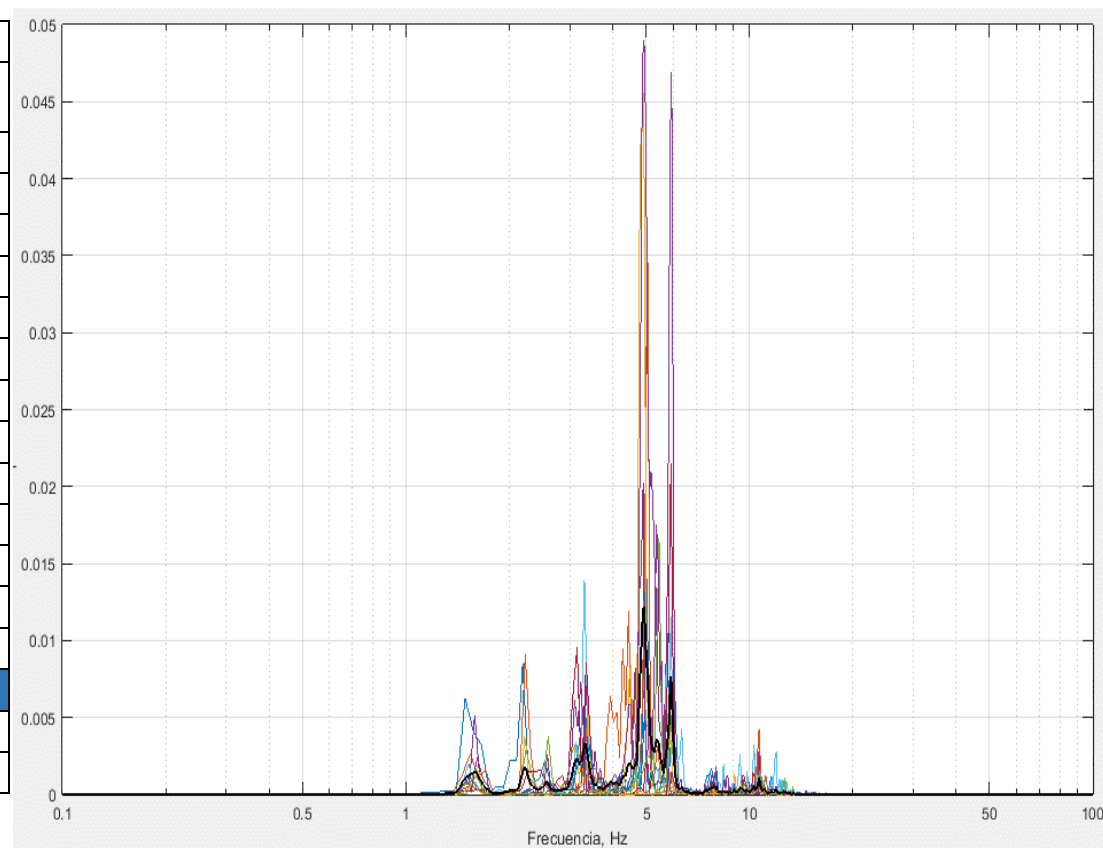






UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

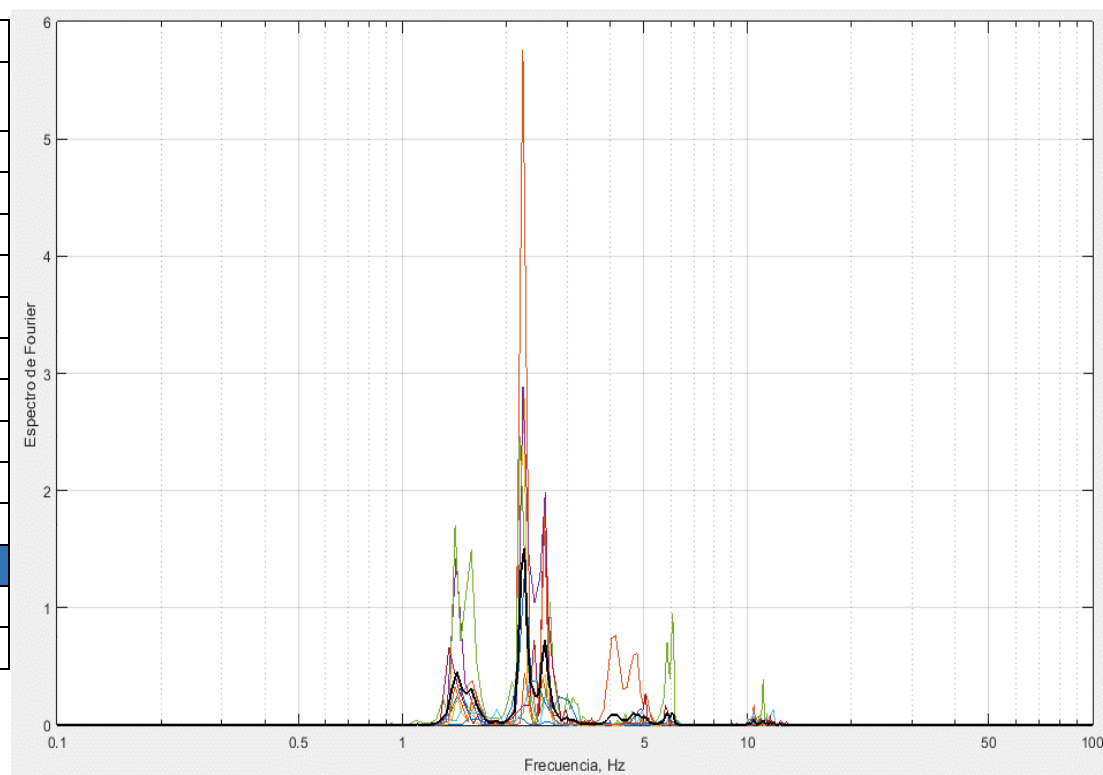
5_Norte_CA_Centro_y							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort.
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	11.42	21.96	33.38	0.02	4.99	0.2	1.49
2	11.68	43.03	54.71	0.04	5.05	0.2	1.29
3	24.37	53.95	78.32	0.05	4.92	0.2	2.34
4	17.01	96.09	113.1	0.05	4.94	0.2	2.72
5	11.17	111.58	122.75	0.02	5.46	0.18	1.55
6	11.17	192.31	203.48	0.01	3.31	0.3	1.59
7	10.15	215.92	226.07	0.02	5.91	0.17	1.36
8	7.87	225.31	233.18	0.01	4.95	0.2	1.45
9	12.69	232.42	245.11	0.00	3.39	0.30	2.64
10	11.68	256.03	267.71	0.00	5.91	0.17	1.20
11	15.48	275.33	290.81	0.02	4.91	0.2	1.98
12	10.66	289.8	300.46	0.01	5.91	0.17	1.59
<b>Promedio</b>					<b>4.97</b>	<b>0.21</b>	<b>1.77</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.86	0.05	0.53
<b>Coef. Variación</b>					17.3%	21.8%	29.8%





**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO**

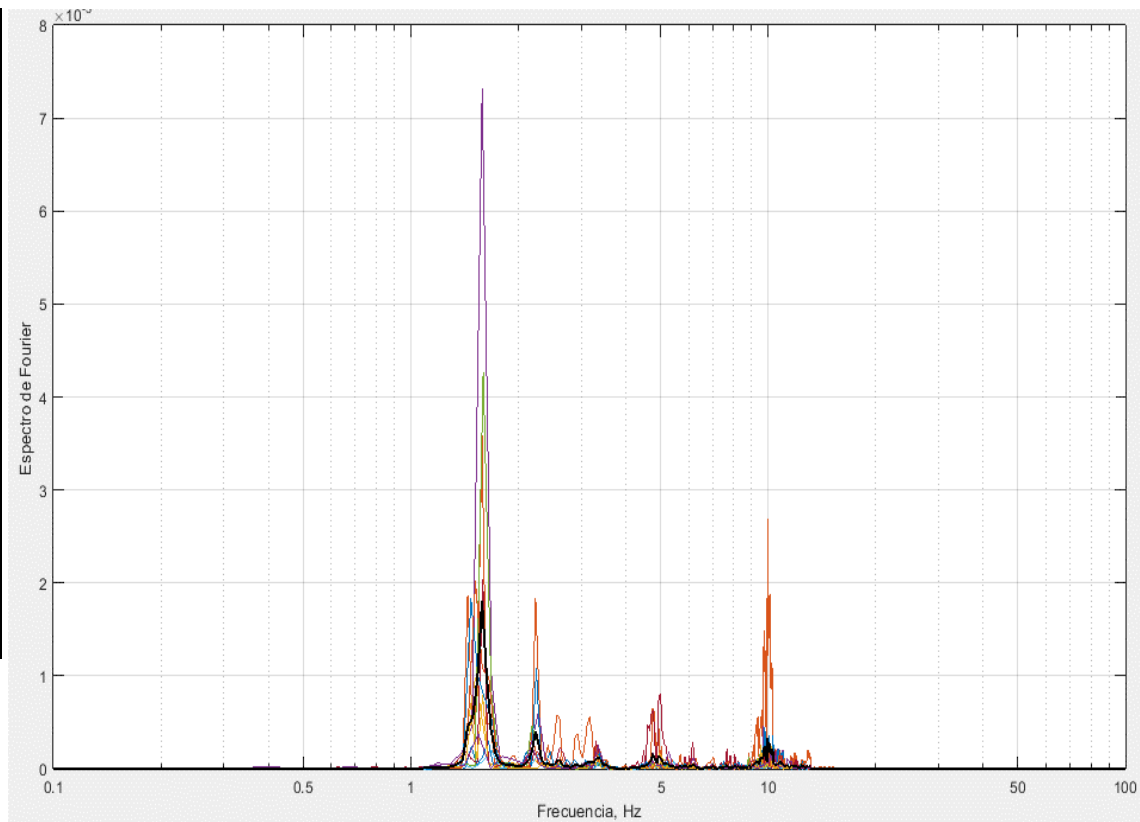
5_Norte_CA_Centro_z							
#	<i>Duración</i>	<i>Ti</i>	<i>Tf</i>	<i>Amplitud Espectro</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Período</i>	<i>Coef. Amort.</i>
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	13.45	11.3	24.75	0.18	1.64	0.61	3.16
2	9.39	44.81	54.2	5.77	2.24	0.45	2.5
3	20.82	54.2	75.02	2.79	2.26	0.44	2.05
4	11.17	111.58	122.75	2.89	2.24	0.45	3.05
5	18.28	122.49	140.77	2.46	2.19	0.46	2.6
6	11.17	192.31	203.48	0.34	2.33	0.43	2.74
8	12.44	203.48	215.92	1.75	2.57	0.39	2.48
9	10.15	215.92	226.07	1.34	2.26	0.44	3.12
10	15.48	275.33	290.81	1.78	2.58	0.39	1.81
<b>Promedio</b>					<b>2.26</b>	<b>0.45</b>	<b>2.61</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.27	0.06	0.47
<b>Coef. Variación</b>					12.1%	14.3%	17.9%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

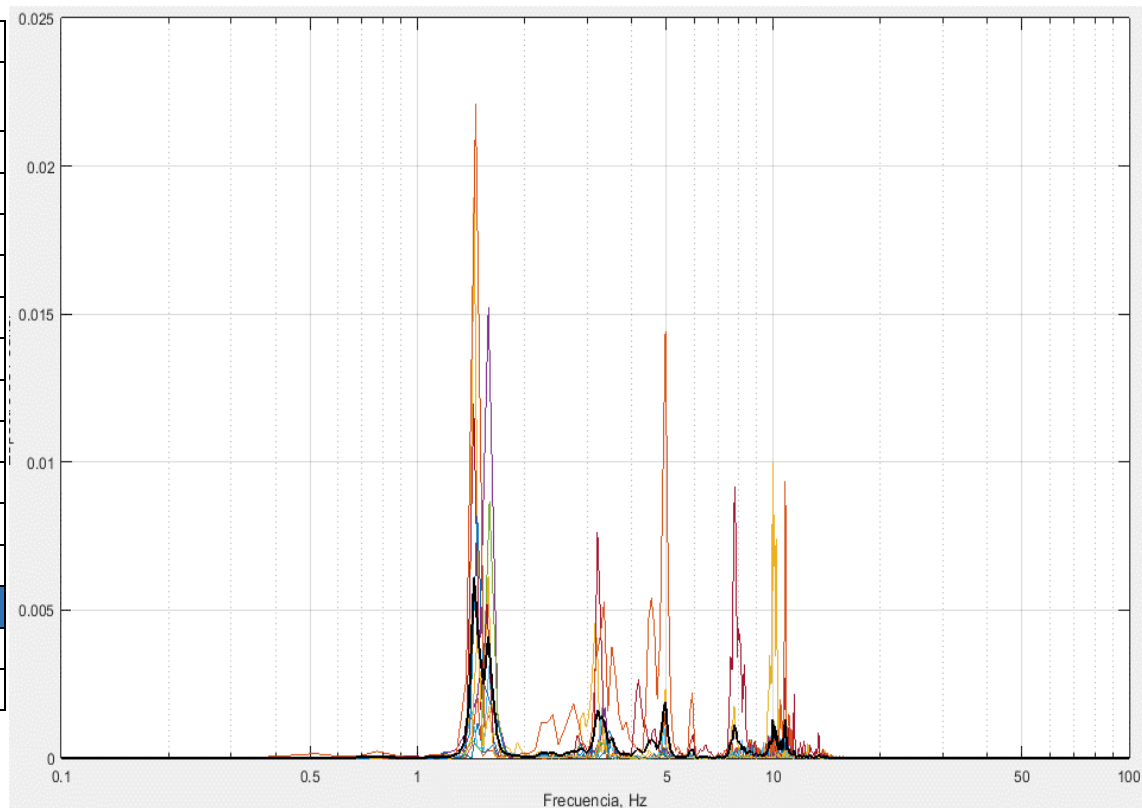
6_Sur_CA_ApoyoD_x							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort.
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	17.59	0.91	18.5	0.00	1.65	0.61	2.52
2	21.47	45.16	66.63	0.00	1.58	0.63	1.82
3	10.09	91.48	101.6	0.01	1.58	0.63	3.46
4	11.90	101.1	113	0.00	1.6	0.63	2.96
5	10.09	130.6	140.6	0.00	1.68	0.59	3.76
6	17.59	165.2	182.8	0.00	1.59	0.63	1.84
7	14.24	222.4	236.7	0.00	1.47	0.68	3.38
8	17.60	277.3	294.9	0.00	1.59	0.63	2.00
9	7.76	308.1	315.8	0.00	1.55	0.65	3.45
Promedio					1.59	0.63	2.80
Desviación Est.					0.06	0.02	0.77
Coef. Variación					3.7%	3.9%	27.5%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

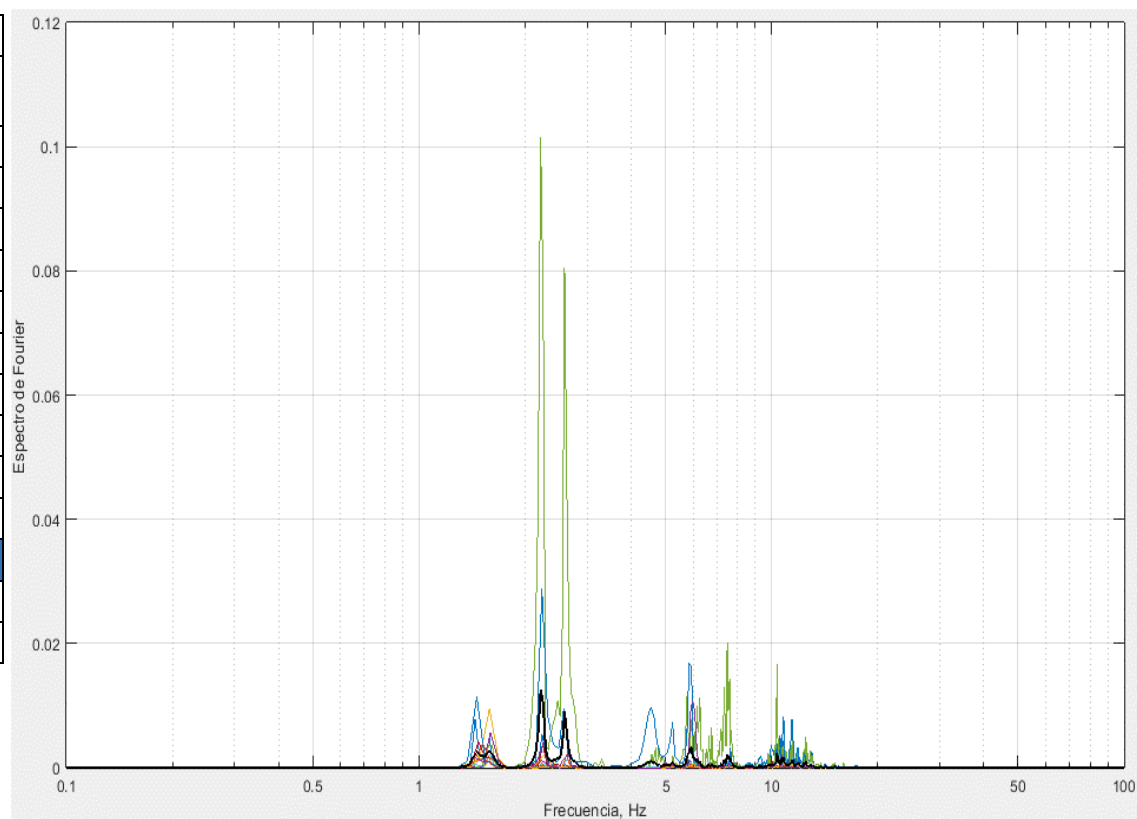
6_Sur_CA_ApoyoD_y							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort.
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	17.59	0.91	18.5	0	1.48	0.68	2.12
2	19.67	22.64	42.31	0	1.47	0.68	1.97
3	21.47	45.16	66.63	0.02	1.44	0.69	1.83
4	10.09	91.48	101.6	0.02	1.58	0.63	3.54
5	11.90	101.1	113	0.01	1.6	0.63	2.96
6	17.59	165.2	182.8	0	1.59	0.63	1.95
7	15.27	182.8	198.1	0.01	1.44	0.69	2.48
8	14.24	222.4	236.7	0.01	1.47	0.68	3.03
9	11.64	236.7	248.3	0.02	1.46	0.68	3.22
10	17.60	277.3	294.9	0	1.48	0.68	2.2
<b>Promedio</b>					<b>1.50</b>	<b>0.67</b>	<b>2.53</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.06	0.03	0.61
<b>Coef. Variación</b>					4.2%	3.9%	24.1%





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

6_Sur_CA_ApoyoD_z							
#	Duración	Ti	Tf	Amplitud Espectro	Frecuencia	Período	Coef. Amort.
	(seg)	(seg)	(seg)		(seg)	(seg)	(%)
1	21.47	45.16	66.63	0.01	1.44	0.69	1.79
3	10.09	91.48	101.6	0.01	1.58	0.63	3.69
4	11.90	101.1	113	0.01	1.6	0.63	3.00
5	26.65	139.9	166.5	0.1	2.21	0.45	1.85
6	17.59	165.2	182.8	0	1.59	0.63	1.90
7	14.24	222.4	236.7	0	1.47	0.68	3.35
8	11.64	236.7	248.3	0.03	2.23	0.45	2.37
9	14.49	262.8	277.3	0	1.52	0.66	3.80
10	17.60	277.3	294.9	0	1.48	0.68	2.24
<b>Promedio</b>					<b>1.68</b>	<b>0.61</b>	<b>2.67</b>
<b>Desviación Est.</b>					0.31	0.09	0.81
<b>Coef. Variación</b>					18.5%	15.4%	30.3%





## ***6.4. Acelerogramas Puentes Nulti Norte***

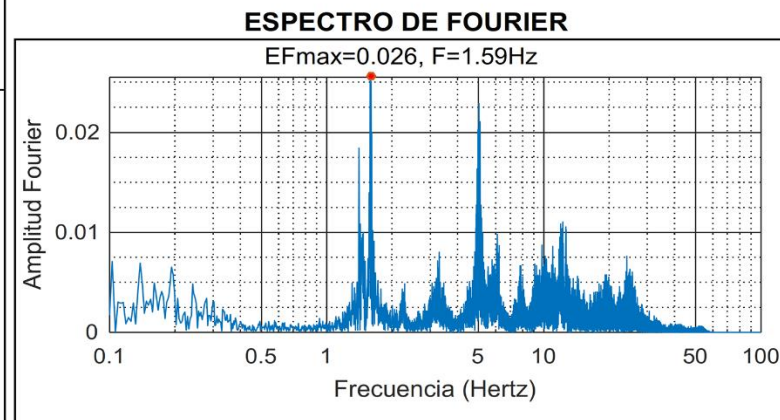
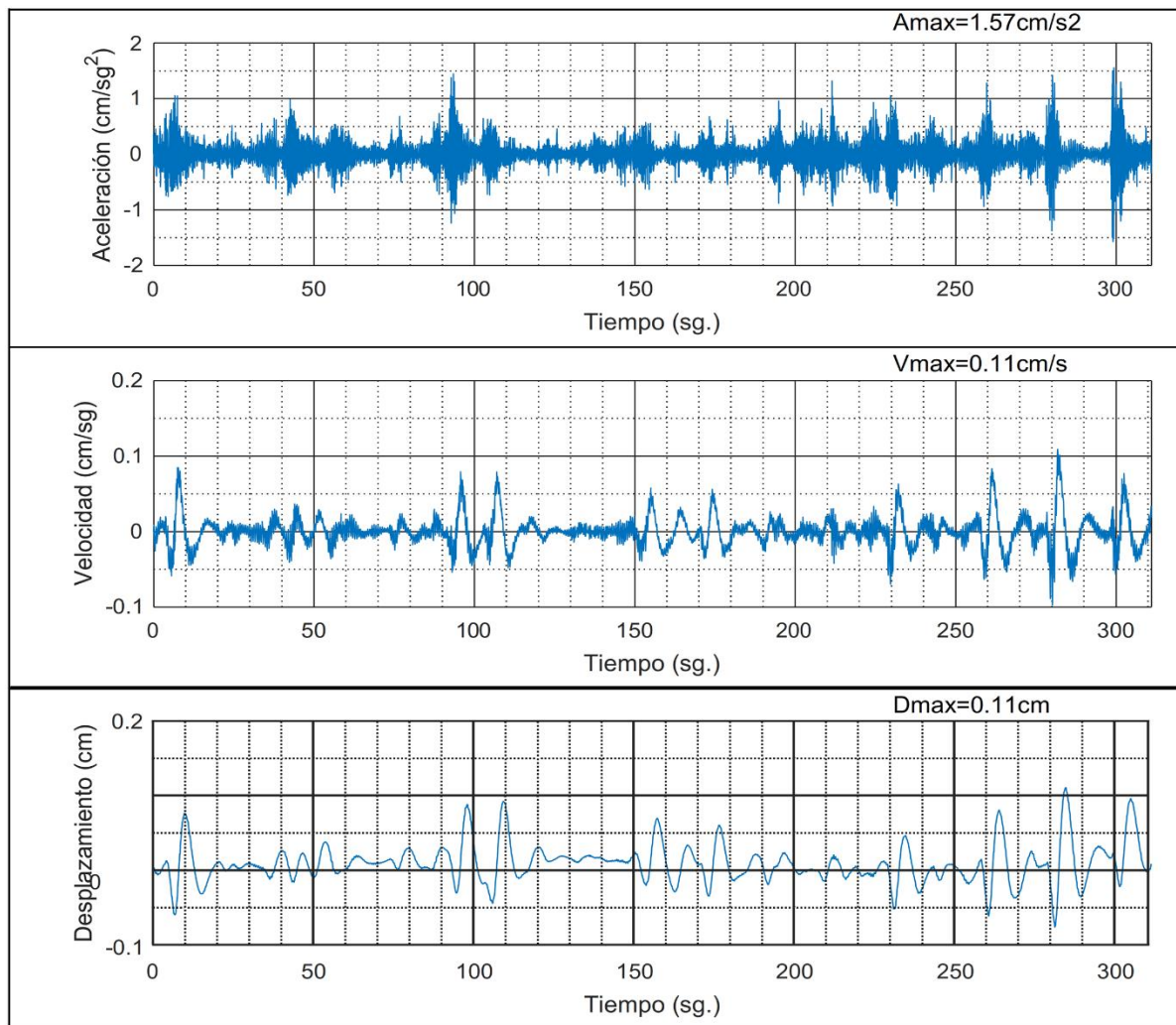


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: X

ARCHIVO: 1\_Norte\_AC\_Apoyol.1mg

FILTRO: Tipo:Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



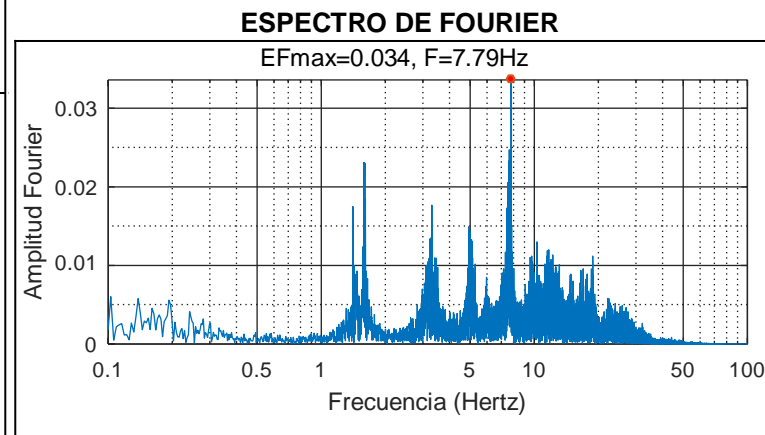
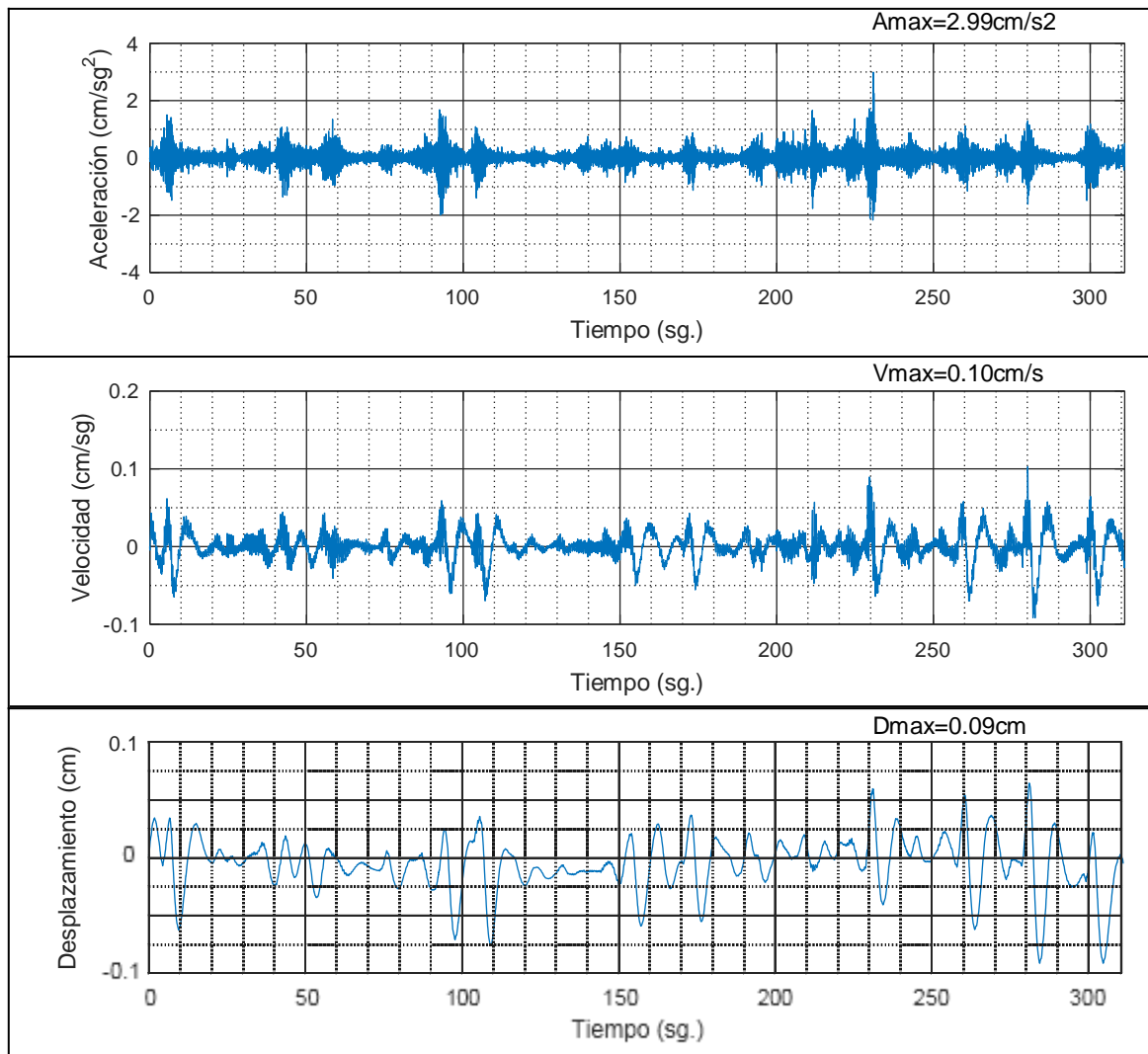


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Y

ARCHIVO: 1\_Norte\_AC\_Apoyol.2mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00





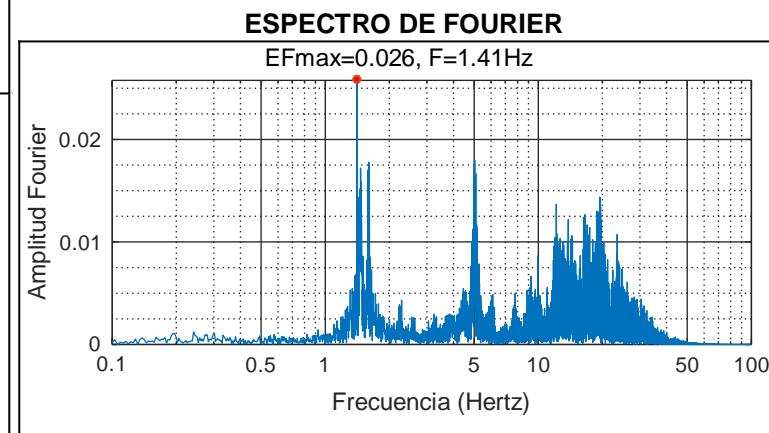
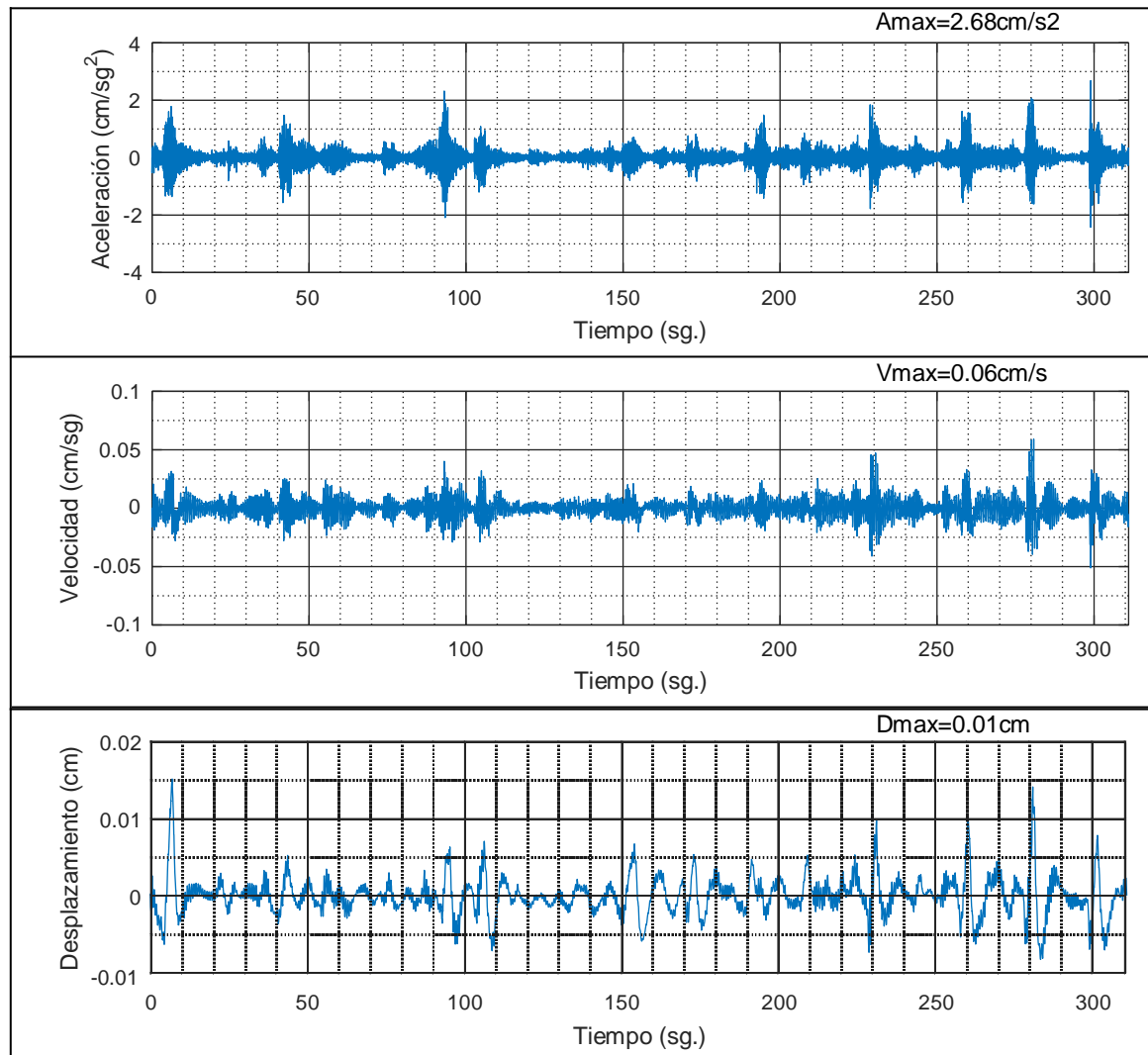


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Z

ARCHIVO: 1\_Norte\_AC\_Apoyol.3mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



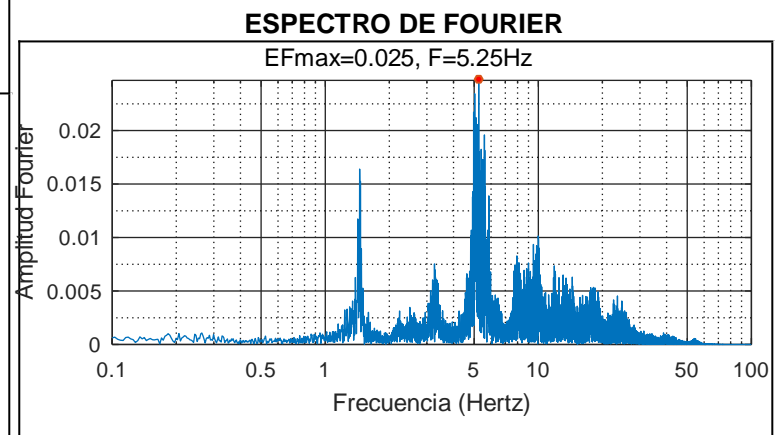
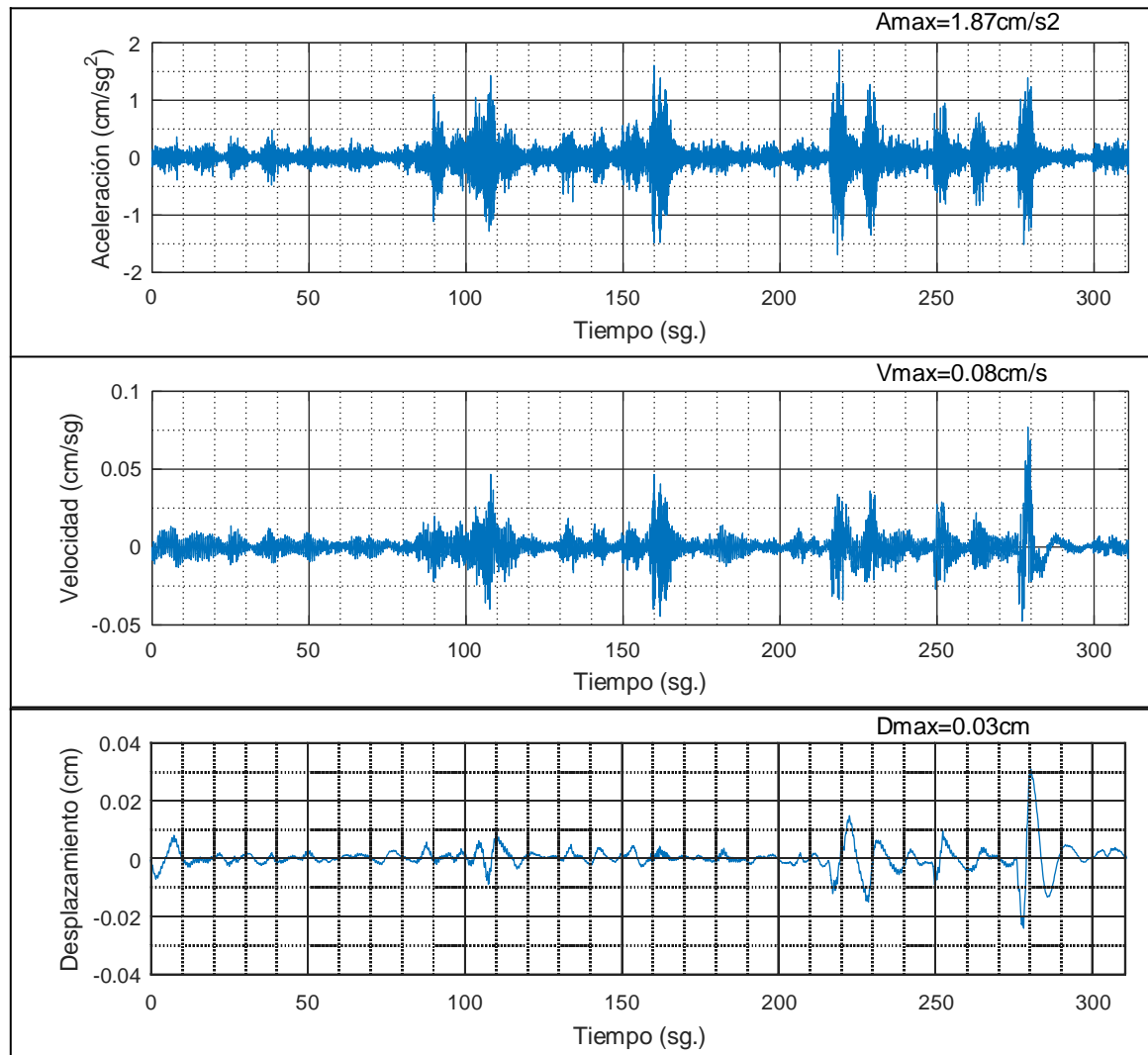


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: X

ARCHIVO: 2\_Norte\_AC\_Centro.1mg

FILTRO: Tipo:Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



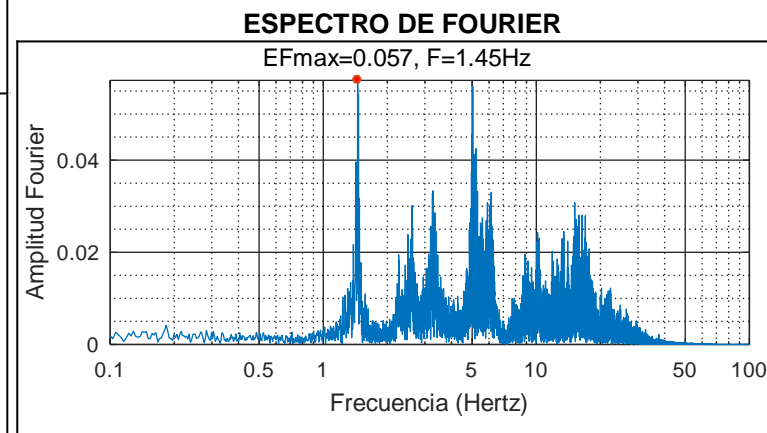
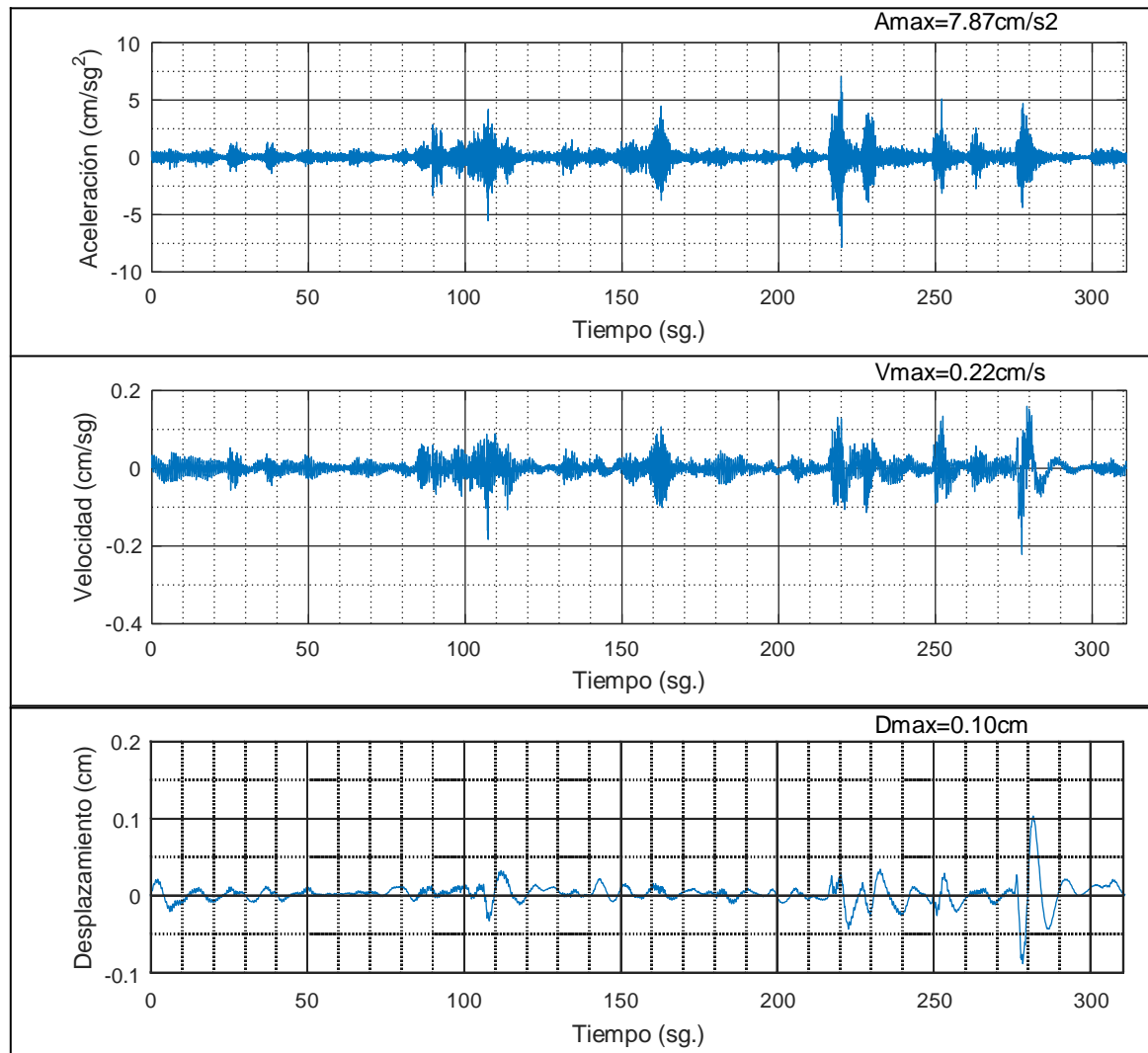


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Y

ARCHIVO: 2\_Norte\_AC\_Centro.2mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



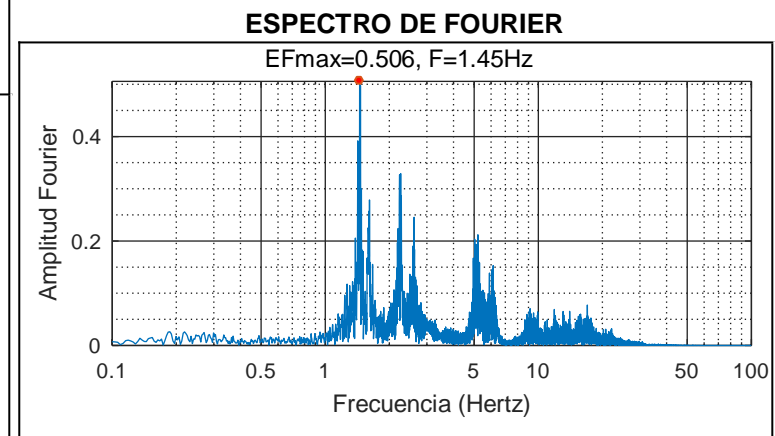
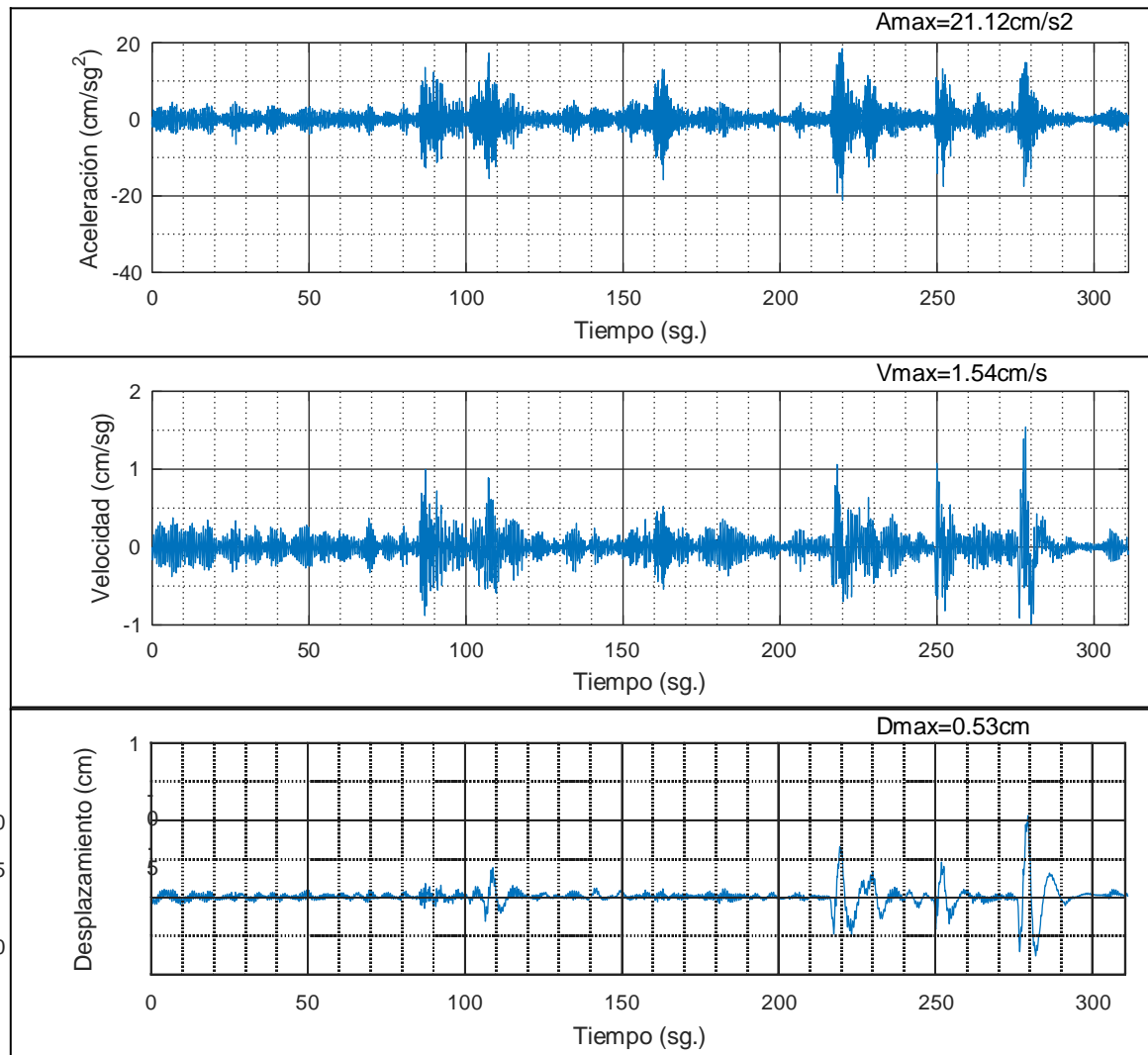


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Z

ARCHIVO: 2\_Norte\_AC\_Centro.3mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



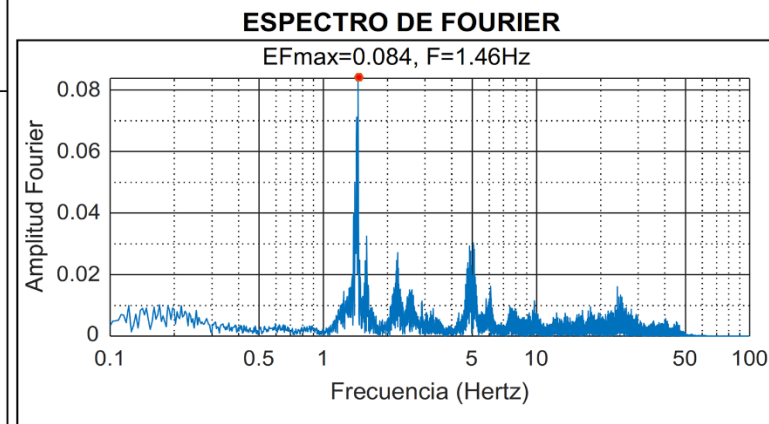
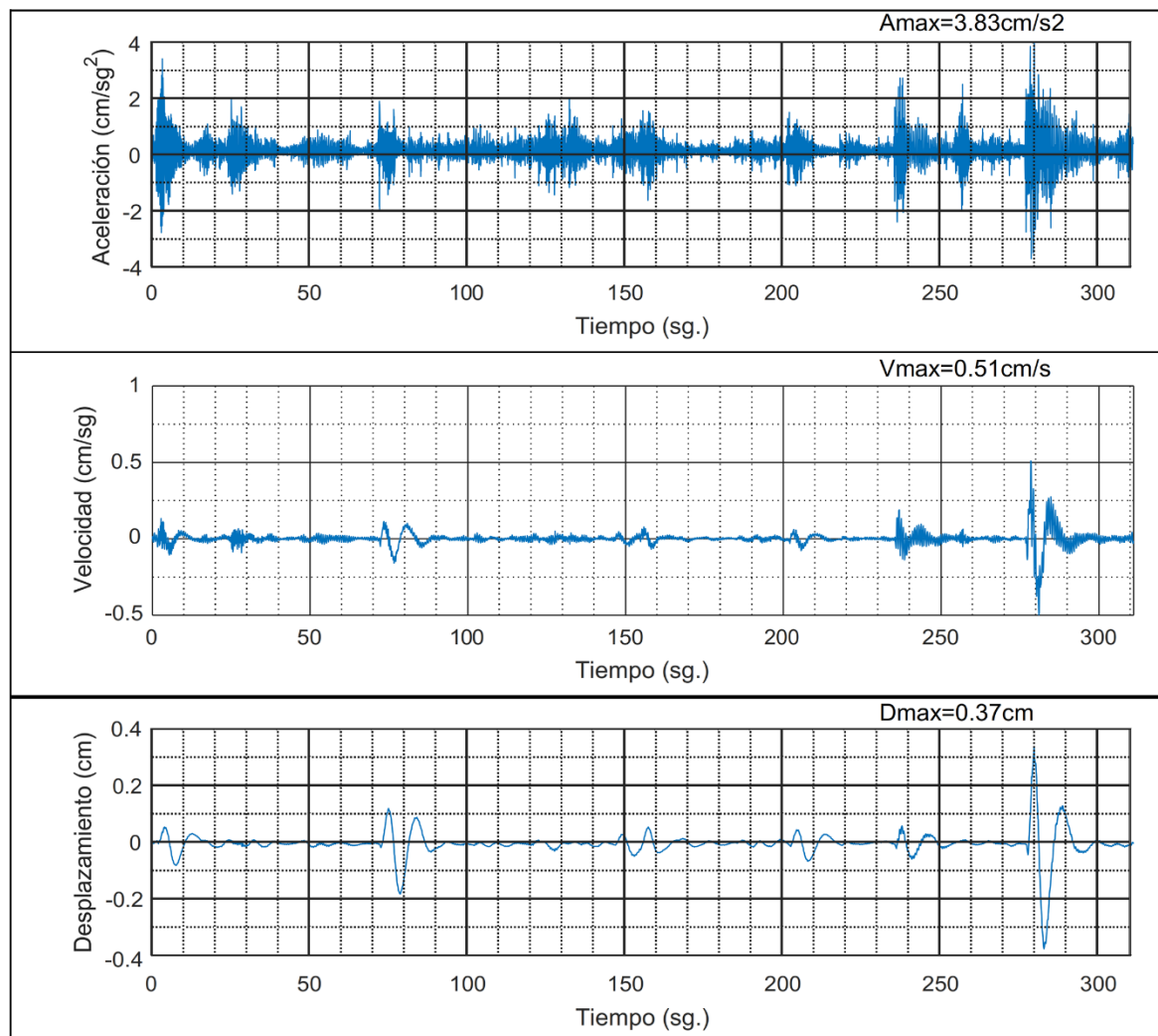


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: X

ARCHIVO: 3\_Norte\_AC\_ApoyoD.1mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



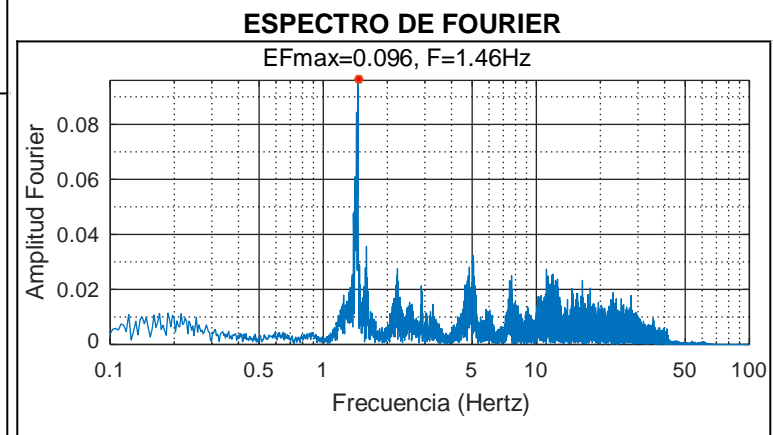
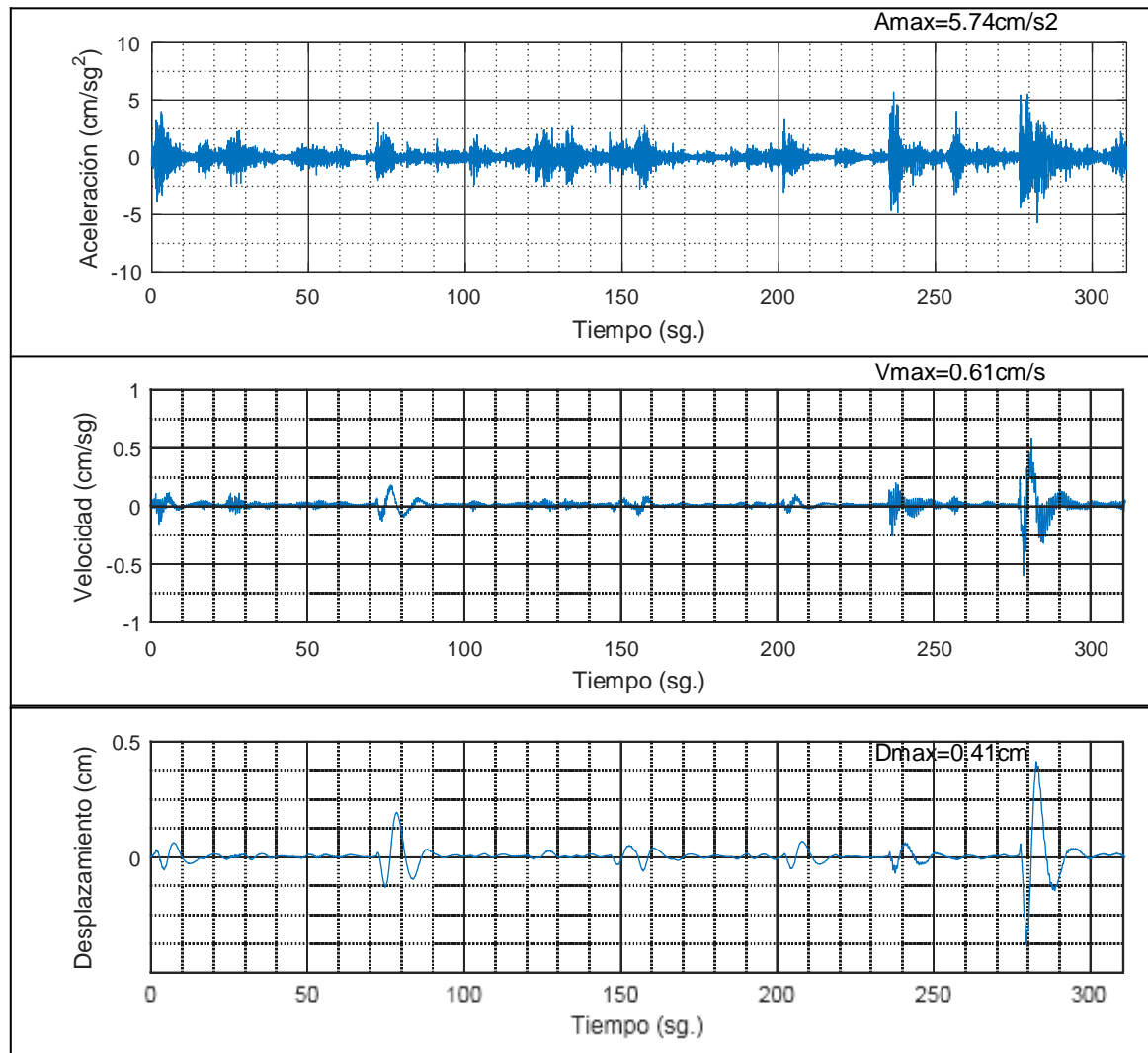


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Y

ARCHIVO: 3\_Norte\_AC\_ApoyoD.2mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



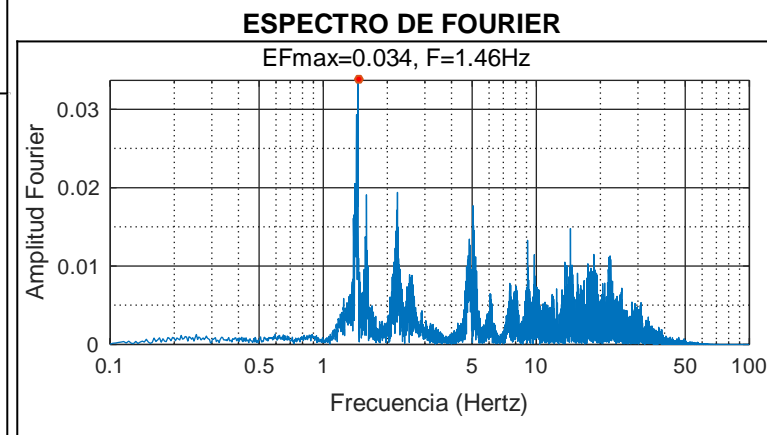
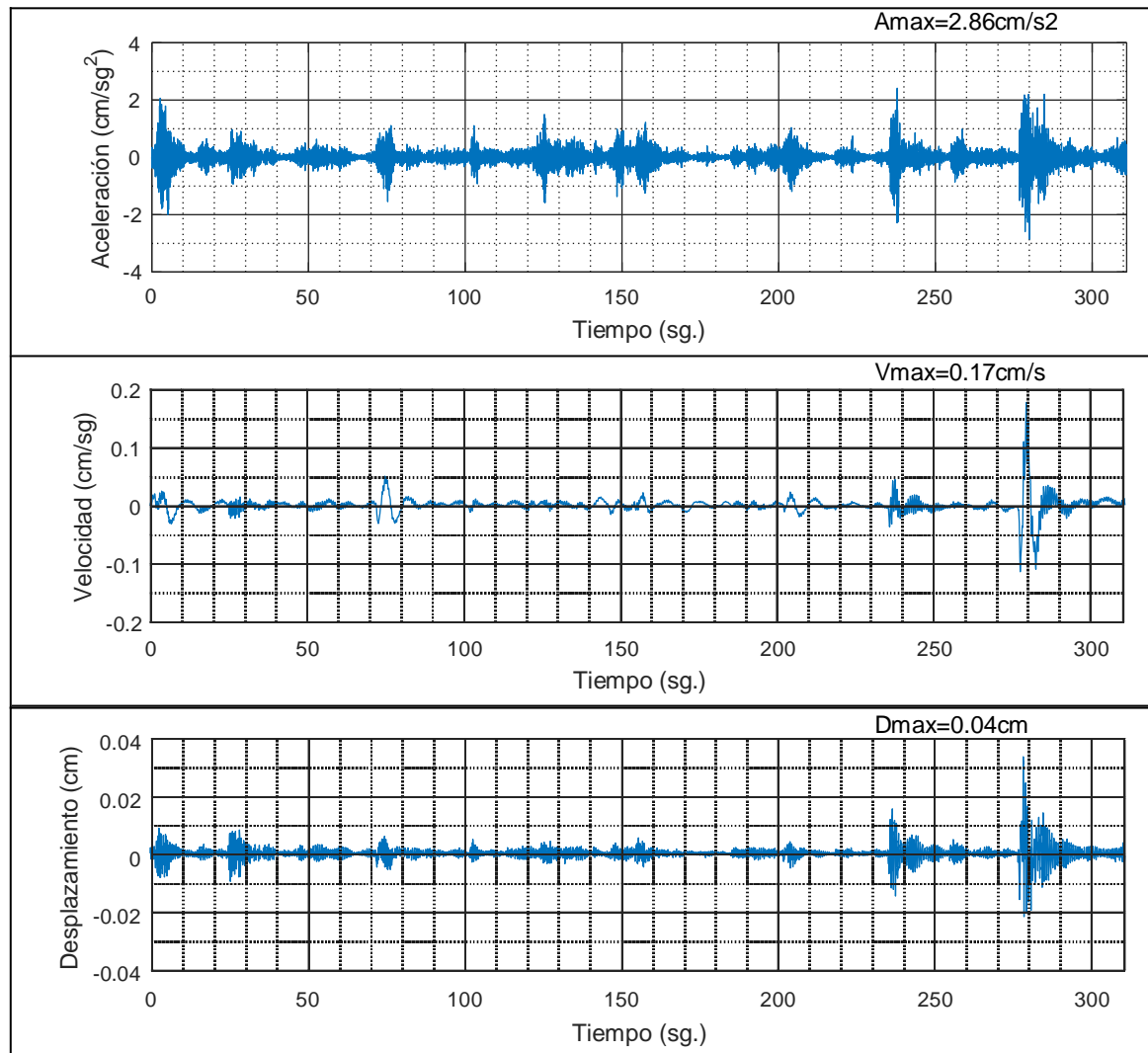


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Z

ARCHIVO: 3\_Norte\_AC\_ApoyoD.3mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



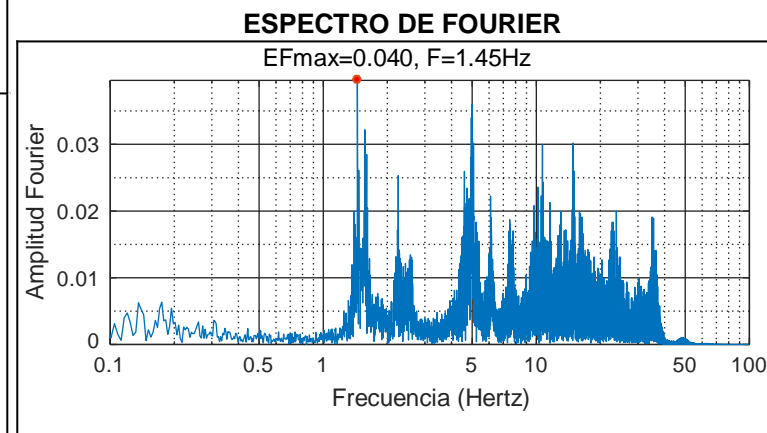
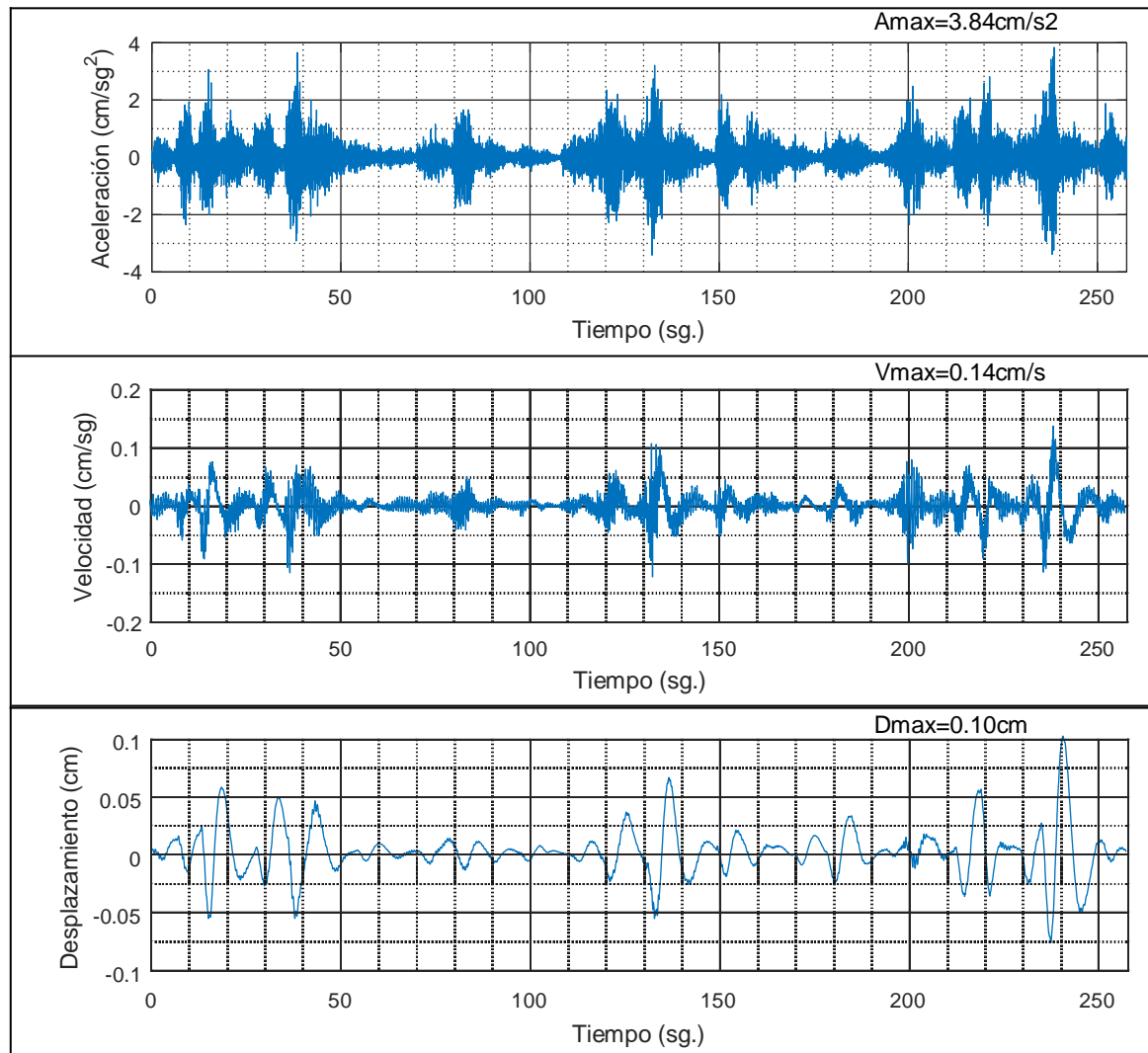


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: X

ARCHIVO: 4\_Norte\_CA\_Apoyol.1mg

FILTRO: Tipo:Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00





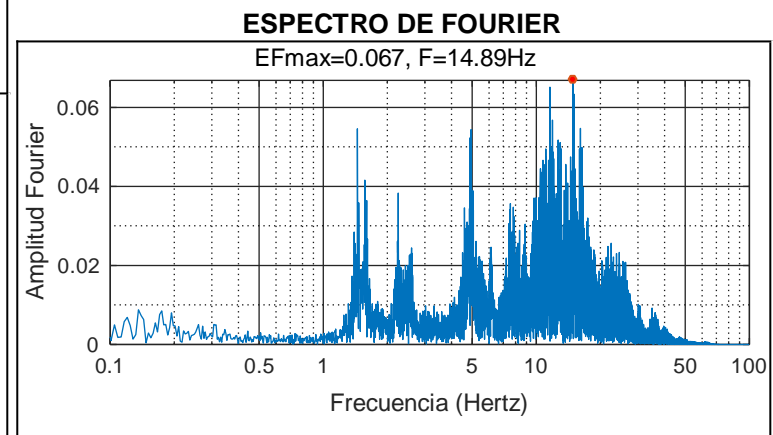
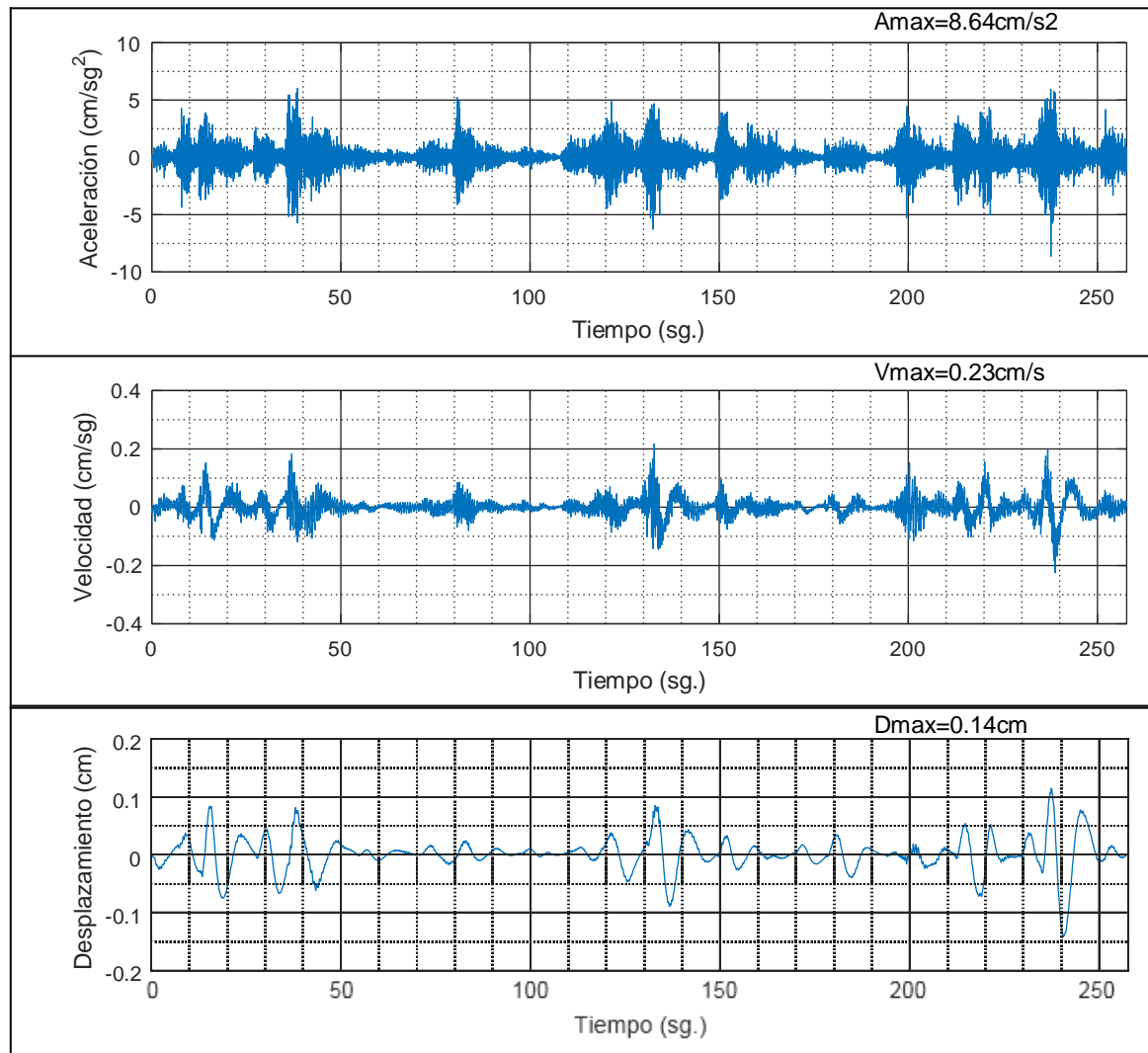


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Y

ARCHIVO: 4\_Norte\_CA\_Apoyol.2mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



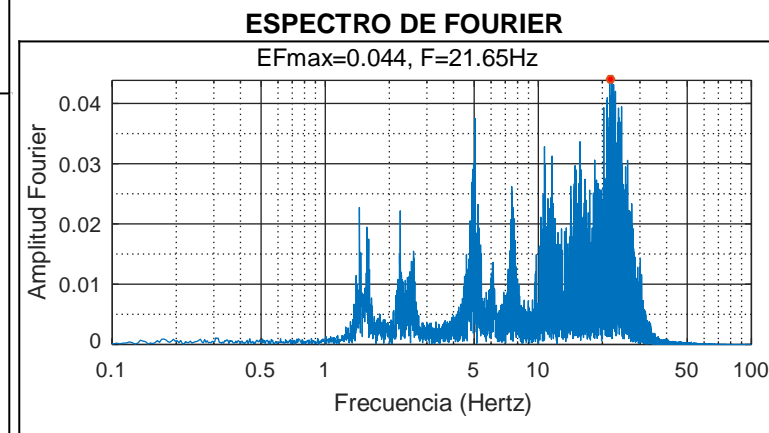
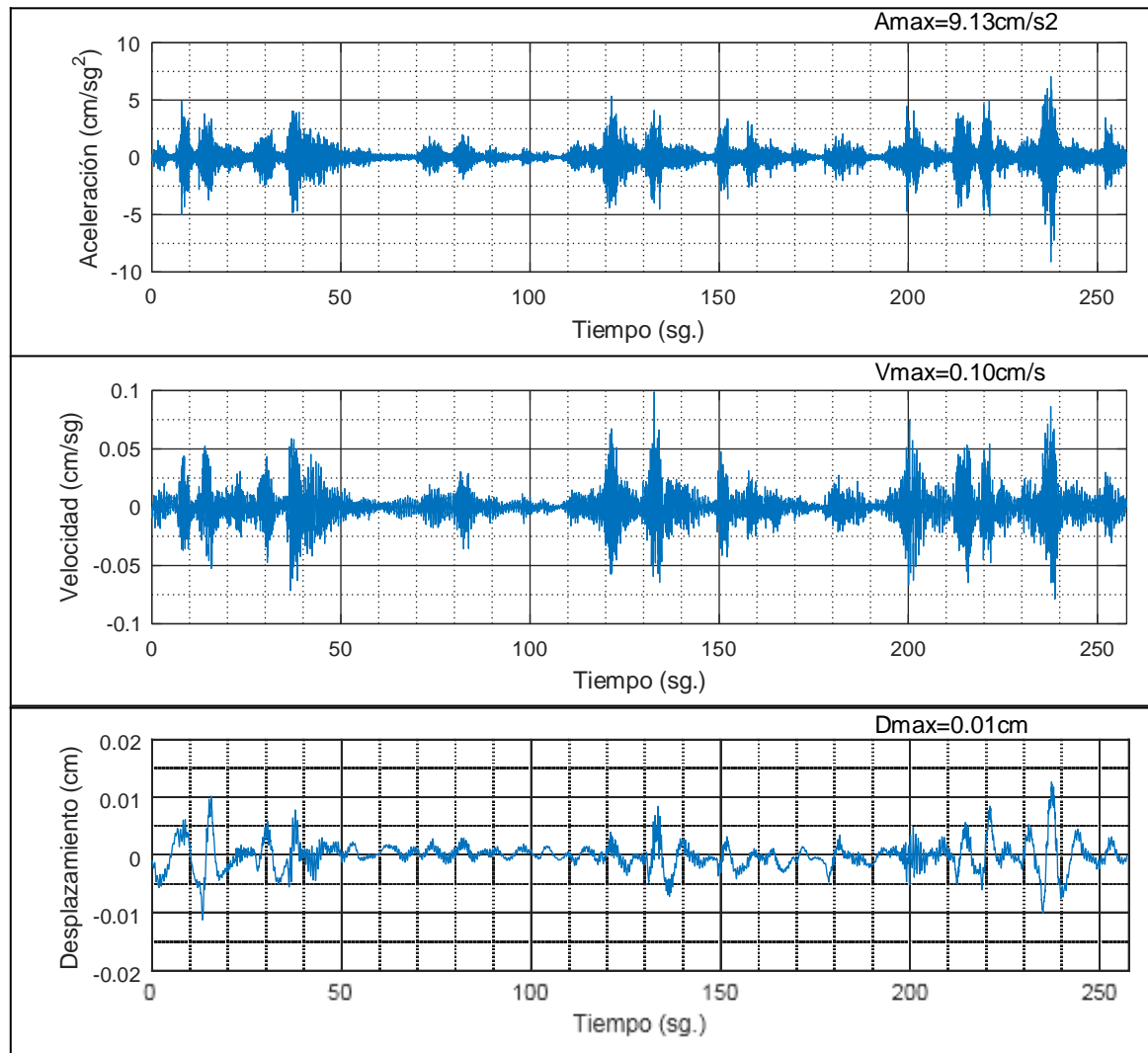


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Z

ARCHIVO: 4\_Norte\_CA\_Apoyol.3mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



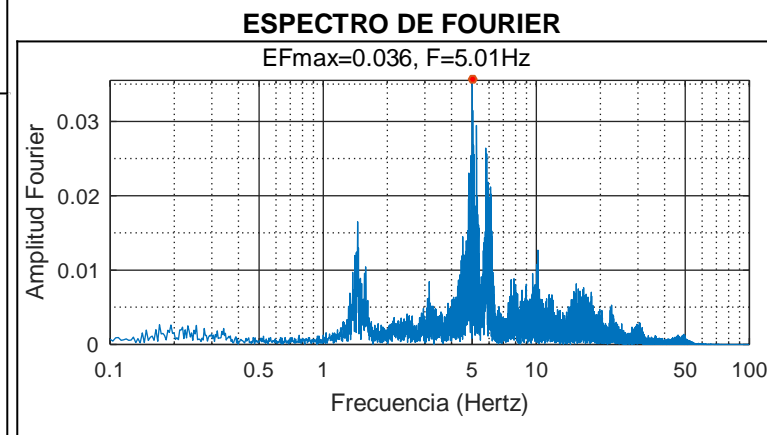
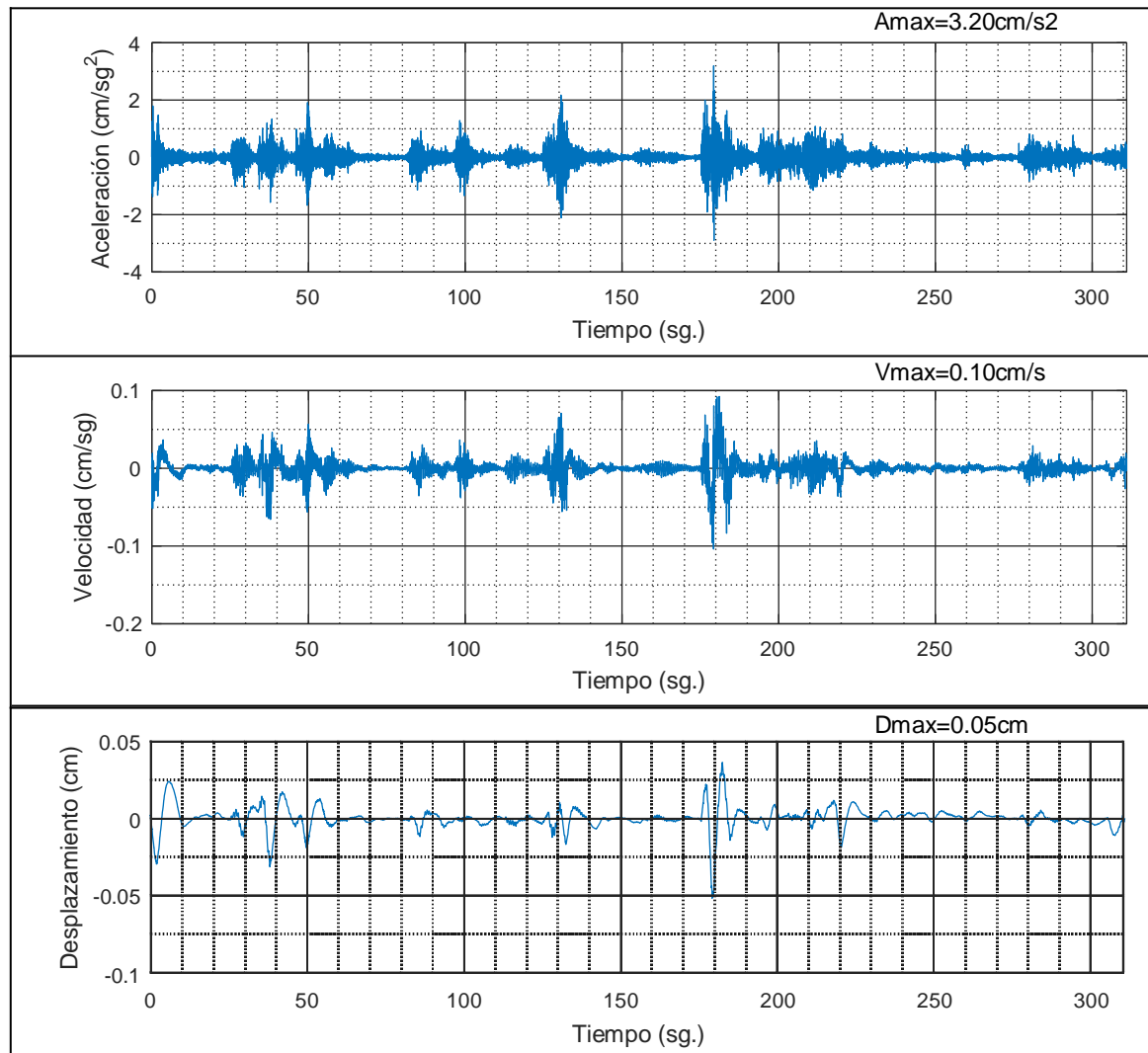


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: X

ARCHIVO: 5\_Norte\_CA\_Centro.1mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



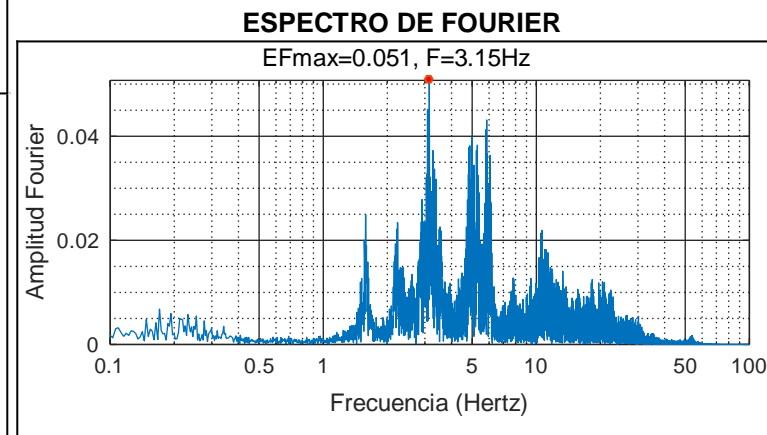
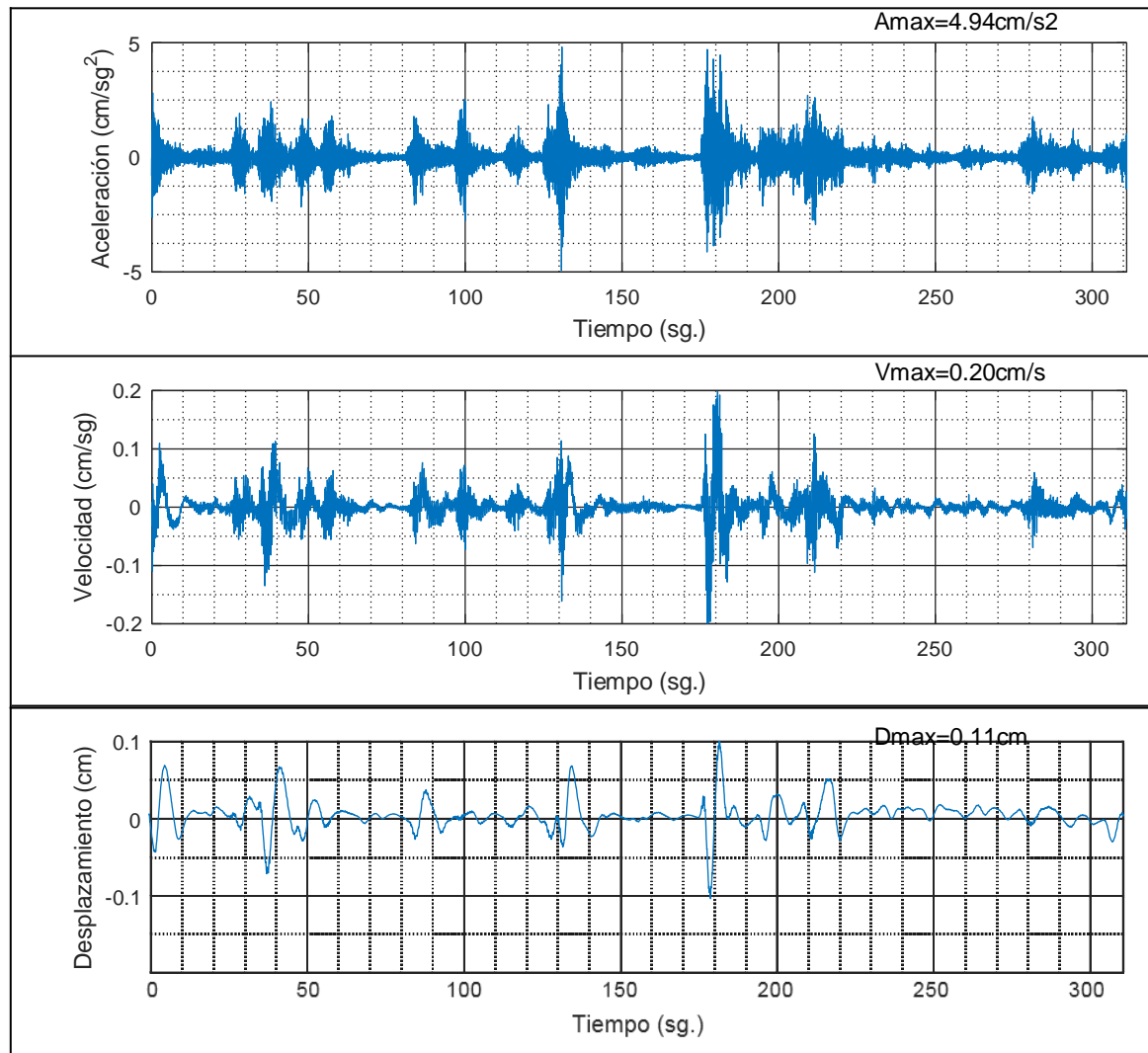


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Y

ARCHIVO: 5\_Norte\_CA\_Centro.2mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



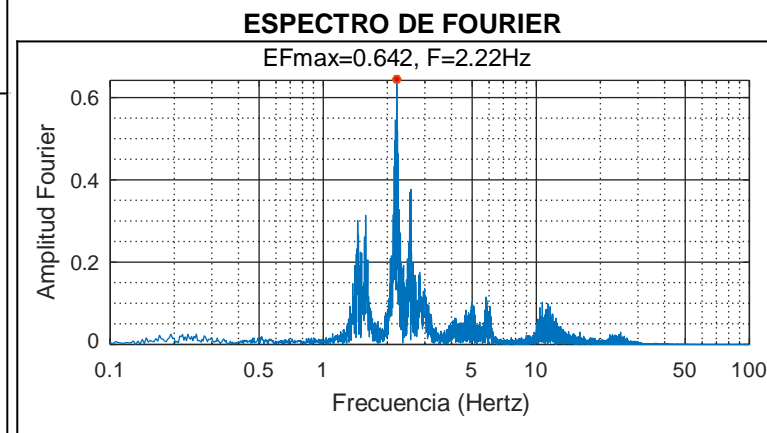
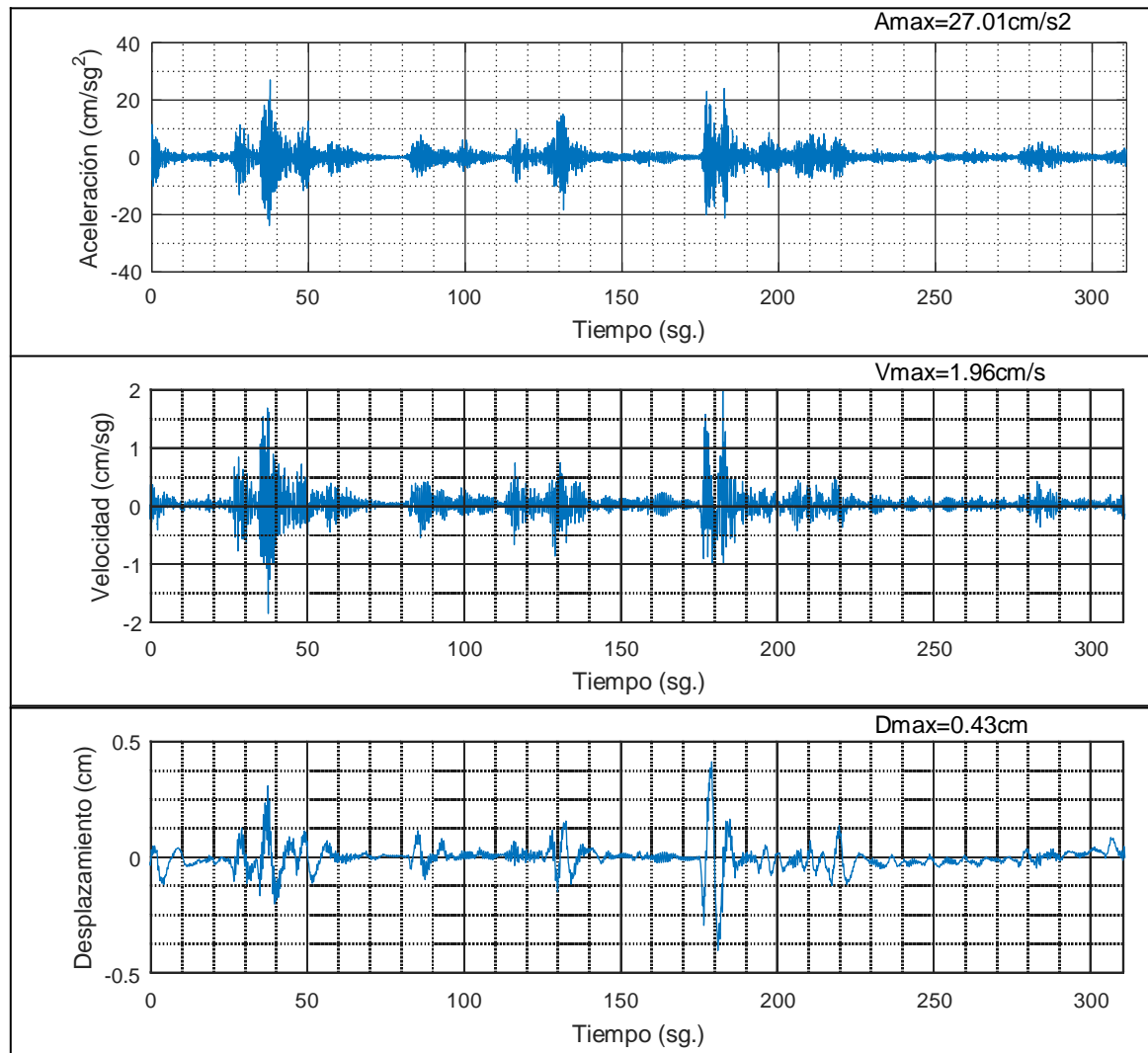


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Z

ARCHIVO: 5\_Norte\_CA\_Centro.3mg

FILTRO: Tipo: Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



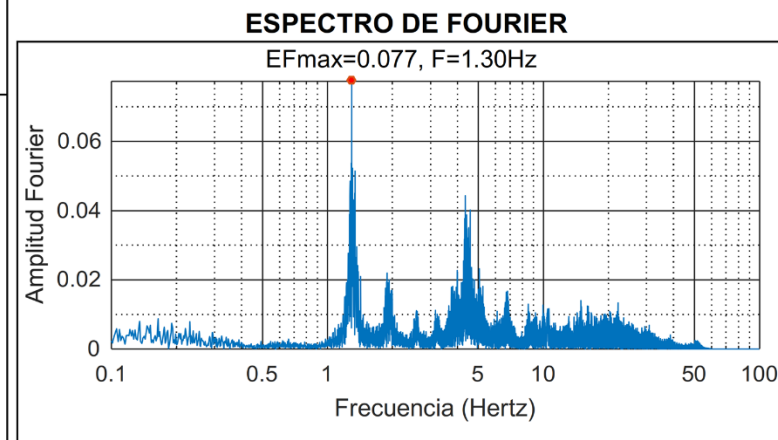
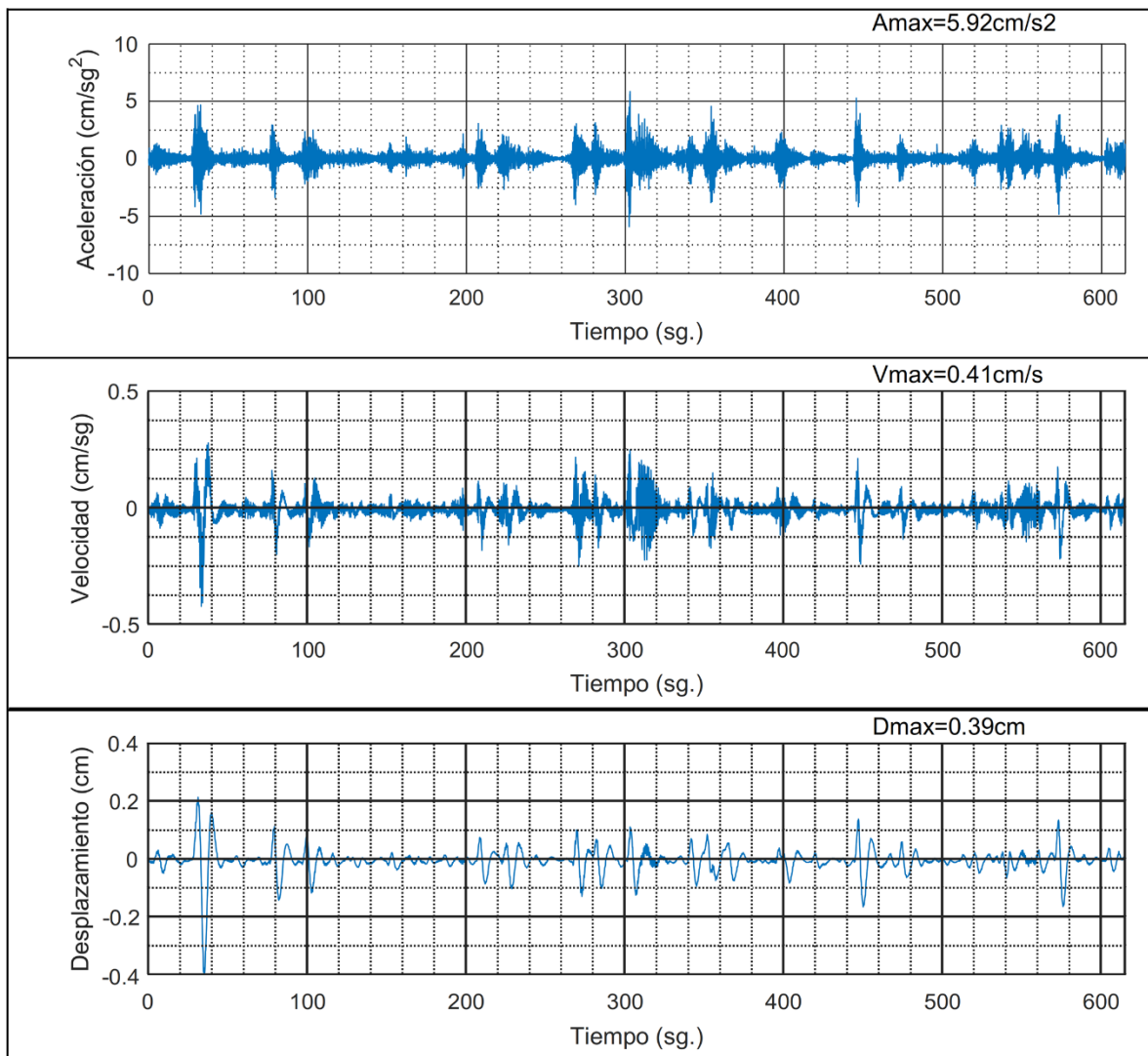


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: X

ARCHIVO: 6\_Sur\_CA\_ApoyoD.1mg

FILTRO: Tipo:Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00



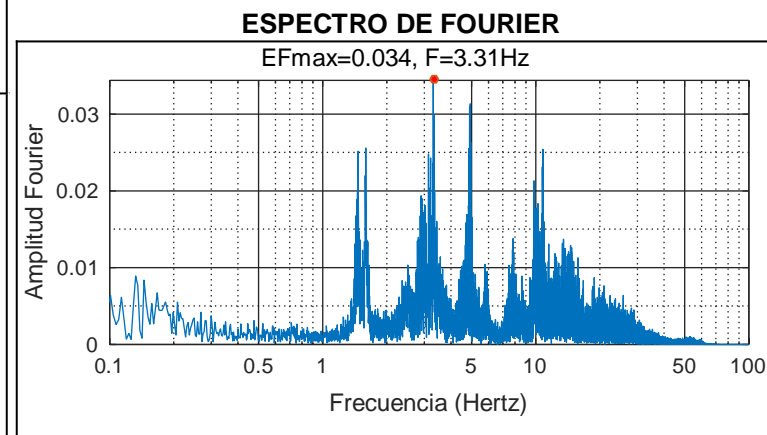
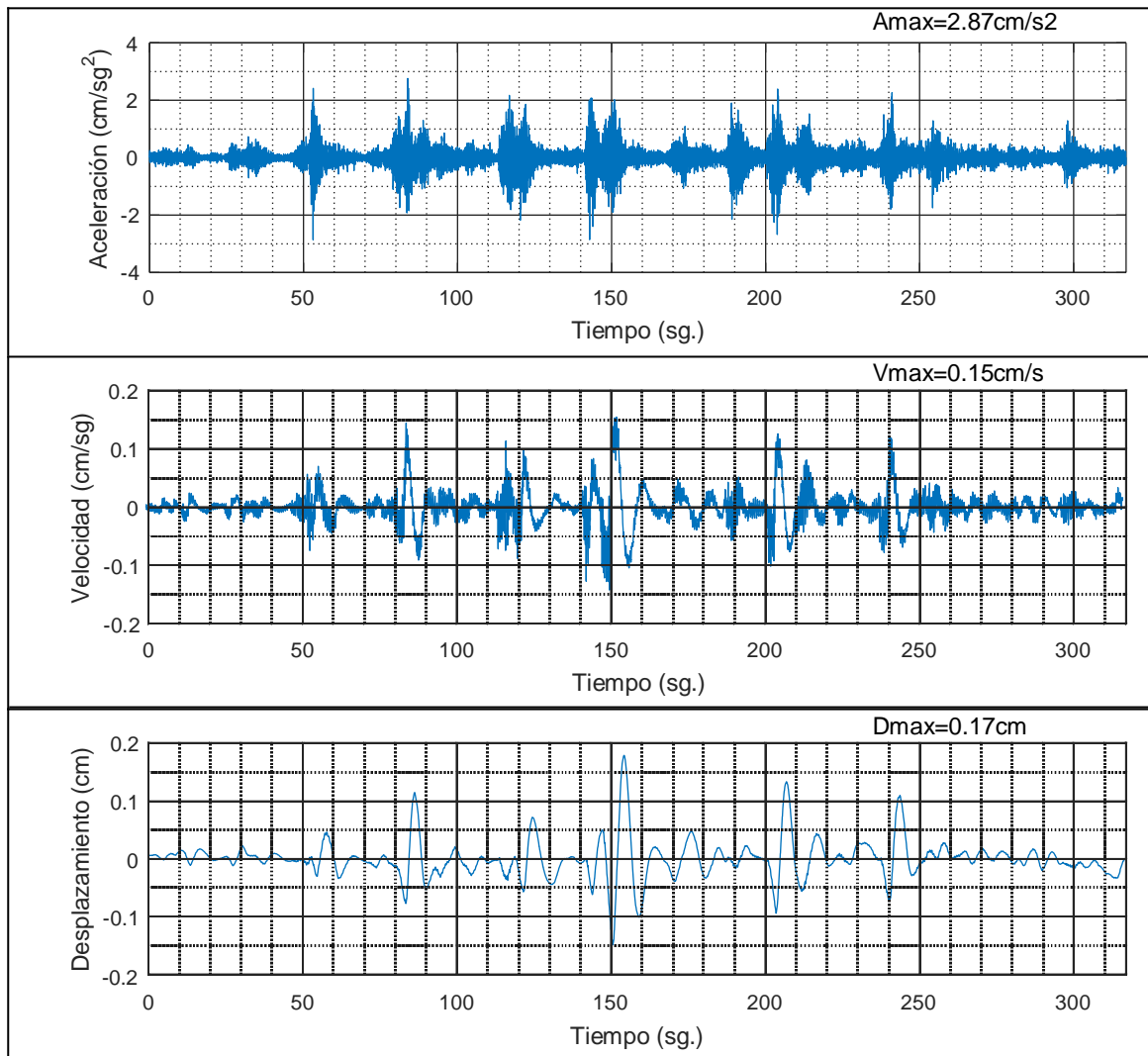


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Y

ARCHIVO: 6\_Norte\_CA\_ApoyoD.2mg

FILTRO: Tipo:Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
REPORTE DE REGISTRO ACELEROGRÁFICO

COMPONENTE: Z

ARCHIVO: 6\_Norte\_CA\_ApoyoD.3mg

FILTRO: Tipo:Butterworth Band Pass Orden: 4 Fq1: 0.10 Fq2: 25.00

