

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA INGENIERIA CIVIL

TEMA:

**Combinación de componentes horizontales de registros
sísmicos considerando la dirección y tiempo donde se
producen las aceleraciones máximas. Comparación con el
método de combinación espectral SRSS (ASCE 7)**

AUTOR:

Lascano Iñiguez, Gustavo Alejandro

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO CIVIL

TUTOR:

Hernández Barredo, Jaime Francisco

Guayaquil, Ecuador

02 de Marzo del 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Lascano Iñiguez, Gustavo Alejandro**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____
Hernández Barredo, Jaime Francisco

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____
Alcívar Bastidas, Stefany Esther

Guayaquil, a los 02 del mes de Marzo del año 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Lascano Iñiguez, Gustavo Alejandro**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Combinación de componentes horizontales de registros sísmicos considerando la dirección y tiempo donde se producen las aceleraciones máximas. Comparación con el método de combinación espectral SRSS (ASCE 7)** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 02 del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

f. _____
Lascano Iñiguez, Gustavo Alejandro



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Lascano Iñiguez, Gustavo Alejandro**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Combinación de componentes horizontales de registros sísmicos considerando la dirección y tiempo donde se producen las aceleraciones máximas. Comparación con el método de combinación espectral SRSS (ASCE 7)**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 02 del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR:

f. _____
Lascano Iñiguez, Gustavo Alejandro

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Trabajo Titulacion GUSTAVO LASCANO.pdf (D35970863)
Submitted: 2/27/2018 5:16:00 PM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 1 %

Sources included in the report:

1474121905_EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA "EL AZÚCAR"
MEDIANTE EL MÉTODO PSEUDOESTÁTICO Y NEWMARK DE DESPLAZAMIENTOS EN CONDICIÓN
SÍSMICA.docx (D21816719)
<https://vdocuments.site/amplificacion-sismica-566db17db73da.html>

Instances where selected sources appear:

4

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi tutor por la paciencia que me tuvo en la realización de este trabajo de titulación y por el gran apoyo brindado para la realización de este trabajo de grado.

Quiero agradecer especialmente a mi compañero David Ávila, él fue una pieza clave en el desarrollo de este trabajo de titulación, con su ayuda se pudo lograr los resultados obtenidos en esta investigación.

También agradezco de igual forma al Ing. Ítalo Cuntó y a mi compañero Adrián Pinos por el apoyo dado alrededor del desarrollo de este trabajo de titulación.

DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA CIVIL**

f. _____

JAIME FRANCISCO HERNÁNDEZ BARREDO

TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

XAVIER FEDERICO CASAL RODRIGUEZ

OPONENTE

f. _____

STEFANY ESTHER ALCÍVAR BASTIDAS

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

CARLOS YLDEFONSO CHON DÍAZ

COORDINADOR DEL ÁREA

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	2
1 INTRODUCCIÓN	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivo Específico.....	4
1.3 Alcance.....	4
CAPÍTULO 2.....	5
2 MARCO TEÓRICO	5
2.1 Registros Sísmicos y Análisis Historia de la Respuesta (Time History Analysis).....	5
2.2 Cálculo de la Respuesta Dinámica de Estructuras	6
2.2.1 Método de Newmark.....	6
2.2.2 Sistemas Lineales	7
2.3 Espectros de Respuesta Elásticos.....	8
2.4 Combinación Espectral SRSS del ASCE 7.....	9
CAPÍTULO 3.....	11
3 PROBLEMAS ENCONTRADOS EN LA COMBINACIÓN ESPECTRAL SRSS DEL ASCE7.....	11
CAPÍTULO 4.....	13
4 MÉTODO DE COMBINACIÓN ESPECTRAL PROPUESTO	13
4.1 Registro de Aceleración del Terreno.....	13
4.2 Respuesta de Aceleración.....	14
4.3 Combinación Espectral Propuesta.....	16
4.4 Espectro de Respuesta.....	17
CAPÍTULO 5.....	18
5 PROGRAMA EN MATLAB - COMBINACIÓN ESPECTROS DE RESPUESTAS - NEWMARK LINEAL.....	18

5.1 Entradas	19
5.2 Salidas	19
5.3 Ejemplo de cómo utilizar el programa.....	20
 CAPÍTULO 6	 25
6 RESULTADOS	25
6.1 Valores de F para el PGA	28
6.2 Máximos valores de F para la respuesta de desplazamientos	33
6.3 Valores de F promedio de la respuesta de aceleración absoluta para periodos entre 0 y 5.0 seg.....	38
6.4 Casos donde ocurren las mayores diferencias entre el método propuesto y el método SRSS (ASCE7)	43
6.5 Casos con respuestas similares para ambos métodos de combinación de componentes horizontales.....	45
6.6 Casos donde existen similitud entre espectro obtenido por el método propuesto y el espectro de una de las componentes del registro sísmico	49
 CAPÍTULO 7	 53
7 Conclusiones y Recomendaciones	53
7.1 Conclusiones	53
7.2 Recomendaciones	54
 REFERENCIAS	 55
 ANEXOS.....	 56

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Mapa del Ecuador con las ubicaciones de los registros del sismo del 16 de Abril del 2016	6
Ilustración 2 Espectro de Respuesta.....	8
Ilustración 3 Ventana principal de Matlab	21
Ilustración 4 Asistente para importar datos a Matlab	21
Ilustración 5 Ventana de Matlab.....	22
Ilustración 6 Datos necesarios para correr el programa	22
Ilustración 7 Resultados de Matlab	23
Ilustración 8 Registro de ambas componentes del sismo	23
Ilustración 9 Espectros combinados	24

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Registros categorizados según el PGA.....	26
Tabla 2 Registros categorizados según la distancia a la falla.....	27
Tabla 3 Valores de F correspondientes al PGA de los registros.....	28
Tabla 4 Valores de F correspondientes al PGA de los registros (Categorías según el PGA).....	31
Tabla 5 Valores de F correspondientes al PGA de los registros (Categorías según la distancia a la falla).....	32
Tabla 6 Valores de F máximo correspondiente a la respuesta de desplazamientos.....	33
Tabla 7 Valores de F máximo correspondiente a la respuesta de desplazamientos (Categorías según el PGA)	36
Tabla 8. Valores de F máximo correspondiente a la respuesta de desplazamientos (Categorías según la distancia a la falla)	37
Tabla 9 Valores de F promedios de la respuesta de aceleración absoluta .	39
Tabla 10 Valores de F promedios de la respuesta de aceleración absoluta (Categorías según el PGA).....	41
Tabla 11 Valores de F promedio de la respuesta de aceleración absoluta (Categorías según la distancia a la falla)	42

ÍNDICE DE GRÁFICA

Gráfica 1 Combinación de espectros (SRSS).....	10
Gráfica 2 Respuesta de aceleración E-O y N-S.....	11
Gráfica 3 Desplazamiento en planta de una estructura	12
Gráfica 4 Registro de aceleraciones del terreno en la dirección Este-Oeste de la ciudad de Chone	14
Gráfica 5 Registro de aceleraciones del terreno en la dirección Norte-Sur de la ciudad de Chone.....	14
Gráfica 6 Respuesta de aceleración componente E-O. T=1.0 segundo	15
Gráfica 7 Respuesta de aceleración componente N-S. T=1.0 segundo	15
Gráfica 8 Respuesta de aceleración combinada mediante SRSS. T=1.0 segundo.....	16
Gráfica 9 Respuesta de aceleración combinada mediante SRSS. T=1.5 segundos	17
Gráfica 10 Espectro de aceleración.....	17
Gráfica 11 Espectro de Aceleraciones Absolutas ALOR	29
Gráfica 12 Espectro de Aceleraciones Absolutas AMA1	30
Gráfica 13 Espectros de Desplazamientos AIB1 según el método SRSS (ASCE) y el propuesto en este trabajo de titulación.....	35
Gráfica 14 Espectros de Desplazamientos APED según el método SRSS (ASCE) y el propuesto en este trabajo de titulación.....	36
Gráfica 15 Valores de F de la respuesta de aceleración absoluta para el registro AOTA para periodos entre 0 y 5 segs.....	40
Gráfica 16 Espectros de Aceleración AMNT.....	40

Gráfica 17 Valores de F de la respuesta de aceleración absoluta para el registro AMNT para periodos entre 0 y 5 segs.....	41
Gráfica 18 Valores de F de la respuesta de desplazamiento correspondiente al registro AIB1 según el periodo de vibración de la estructura	44
Gráfica 19 Respuesta de desplazamiento T=2.10 segundos.....	45
Gráfica 20 Valores de F de la respuesta de desplazamiento para el registro AMNT para periodos entre 0 y 5 segs.	46
Gráfica 21 Valores de F de la respuesta de desplazamiento para el registro AAM2 para periodos entre 0 y 5 segs.....	47
Gráfica 22 Respuesta de desplazamiento T=1.00 segundo	48
Gráfica 23 Respuesta de desplazamiento T=2.25 segundos.....	49
Gráfica 24 Comparación de los espectros de cada componente con el de la combinación propuesta.....	51
Gráfica 25 Respuesta de aceleración del suelo (PGA) de AMA1	52

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se desarrolla una nueva metodología de combinación de componentes horizontales de registros sísmicos en donde se considera el tiempo y la dirección donde ocurren los máximos valores de respuesta.

Para el cálculo de la combinación de componentes horizontales de registros sísmicos, se desarrolló un programa en Matlab. El programa calcula la respuesta dinámica (aceleración, velocidad y desplazamiento) por medio del método de aceleración lineal de Newmark para cada dirección y las combina en el tiempo. Para la elaboración del espectro, el programa determina el máximo valor de respuesta ya combinada para cada periodo de vibración.

Se compararon los resultados del método propuesto con el especificado en la norma ASCE 7 (SRSS) por medio del factor F. El factor F se definió como la relación de la respuesta obtenida por el SRSS con el propuesto.

La evaluación de los resultados se centró en los factores F para los siguientes casos:

- PGA de la combinación de registros.
- Máxima diferencia de la respuesta de desplazamiento entre ambos métodos.
- El promedio de los factores F del espectro de aceleración absoluta entre los periodos 0 a 5.0 seg, a intervalos de 0.05 seg.

Los registros fueron clasificados según su PGA y la distancia de la estación sismográfica a la falla para determinar si estos parámetros influyen en las diferencias encontradas entre ambos métodos.

Finalmente se estudiaron casos donde se encontraron las mayores diferencias entre los métodos y los casos donde ambos métodos dan respuestas similares.

Palabras Claves: *Espectro de respuesta, aceleración, velocidad, desplazamiento, registro, componente y combinación.*

ABSTRACT

This work presents a new methodology to combine the horizontal components of seismic records. The new methodology takes into consideration the time and the direction where the maximum values of the response occur.

As part of this thesis, an algorithm was developed in Matlab and it was utilized to calculate the combination of the horizontal components of records. The algorithm calculates the dynamic response (acceleration, velocity and displacement) based on the Newmark linear acceleration method (Chopra 2014) for each direction and combines them in time. In order to construct the spectrum, the algorithm determines the maximum value of the response that is already combined for each natural period of vibration.

The results of the proposed method were compared against the results obtained from the SRSS method, which is specified in the ASCE 7, by means of the factor F . The factor F is defined as the ratio of the response obtained by the SRSS method and the response based on the proposed methodology in this study.

The results were evaluated based on the F factors for the following cases:

- PGA of the combination of records.
- Maximum difference of the response of displacement between both methods.
- The average of the F factors of the absolute acceleration response spectrum between periods 0 to 5.0 sec, at intervals of 0.05 sec.

The records were classified according to their PGA and the distance from the seismographic station to the fault to determine if these parameters influence the differences found between the combination methods of records.

Finally, we studied cases where the greatest differences were found between the methods and the cases where both methods give similar answers.

Keywords: *Spectrum of response, acceleration, speed, displacement, register, component and combination.*

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se estudia un método alternativo para la combinación de componentes horizontales de registros sísmicos en el cual se toma en cuenta el tiempo donde se producen las respuestas máximas de las estructuras.

En la actualidad, el método de combinación de registros sísmicos especificado en la ASCE7-10 considera únicamente las máximas respuestas generadas por cada componente horizontal por separado, para luego combinarlas. Este método no toma en cuenta que las máximas respuestas de cada componente horizontal se producen en tiempos distintos, por lo que, al combinarlos, se está distorsionando la respuesta bidireccional final.

Este estudio tiene como objetivo calcular espectros elásticos de componentes horizontales combinadas tomando en cuenta el tiempo en el que se producen y compararlas con los espectros de la combinación de las componentes especificadas en la ASCE7-10. Luego de comparar los resultados se determinará en qué casos se presentaron mayores diferencias entre los métodos. Entre los parámetros considerados para la comparación de resultados están: ubicación del registro, tipo de suelo de la estación sísmica, amortiguamiento considerado, etc.

1.1 Antecedentes

En la actualidad, es cada vez más común realizar análisis de historia en el tiempo de estructuras, gracias a los avances tecnológicos (programas de computación) que se encuentran a disposición de las universidades y oficinas de cálculo.

Los análisis de historia en el tiempo requieren del uso de registros sísmicos, los cuales están definidos por una componente de aceleraciones verticales y 2 componentes (perpendiculares) de aceleraciones horizontales.

La amenaza sísmica de un sitio está representada por el espectro de respuesta, el cual indica las máximas aceleraciones horizontales esperadas para cierto periodo de retorno.

Dado que los espectros indican la máxima respuesta esperada para cualquier dirección, las componentes horizontales de los registros deben ser combinados para determinar la máxima respuesta generada por ambas componentes.

El método de combinación de registros sísmicos especificado en la norma ASCE7-10 calcula primero las máximas respuestas generadas por cada componente horizontal por separado, por medio del espectro de respuesta de cada registro. Luego, combina los espectros mediante la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS).

El método SRSS no toma en cuenta que las máximas respuestas de cada componente horizontal se producen, generalmente, en tiempos distintos, y por ende no representa adecuadamente las máximas aceleraciones ocurridas en los sismos.

En este trabajo se propone una metodología para calcular la máxima respuesta real de las estructuras (espectro de respuesta) tomando en cuenta que las componentes horizontales de los registros actúan de manera simultánea.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar una nueva metodología para la combinación de las componentes horizontales de un registro y compararlas con la metodología actual (combinación SRSS).

1.2.2 Objetivo Específico

- Comparar las diferencias que existe entre ambos métodos de combinación de espectros.
- Analizar las máximas y mínimas diferencias encontradas con el desarrollo de los dos métodos.

1.3 Alcance

Se propondrá un método de combinación espectral de componentes horizontales de registros que considere la dirección y el tiempo en que se producen las máximas aceleraciones.

Se calcularán los espectros de la combinación de las componentes horizontales de los registros obtenidos el 16 de Abril del 2016 (sismo de Pedernales) mediante el método propuesto en este trabajo.

Se calcularán los espectros de la combinación de las componentes horizontales de los registros obtenidos el 16 de Abril del 2016 (sismo de Pedernales) mediante el método SRSS propuesto en el código.

Se evaluarán las diferencias en los resultados de estos 2 métodos y se obtendrán conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Registros Sísmicos y Análisis Historia de la Respuesta (Time History Analysis)

Los registros sísmicos son una representación de las aceleraciones que ocurren en el suelo en determinado punto (estación acelerográfica) durante un sismo. Estos se obtienen mediante dispositivos llamados acelerógrafos los cuales registran las aceleraciones horizontales y verticales del suelo sobre el cual se instalan. En Ecuador existe una Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC) del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN), la cual capturó varios registros sísmicos en el sismo del 16 de Abril del 2016, cerca de las ciudades de Muisne y Pedernales.

Se considera que las características de los registros sísmicos ocurridos en un sitio tiene relación con la sismicidad de la zona, el tipo de falla tectónica que la origina, de la distancia a la falla, tipo de suelo, etc., y es por ello que el estudio de los registros sísmicos se considera vital para pronosticar futuros eventos sísmicos.

Los registros sísmicos permiten realizar análisis en el tiempo de estructuras ya sea que estas permanezcan en el rango elástico (análisis lineal) o incurran en el rango inelástico (análisis no lineal).

Además, los registros sísmicos son empleados para el cálculo de espectros de respuesta los cuales permiten conocer las respuestas máximas (desplazamientos, velocidades y aceleraciones) para varias estructuras de 1 grado de libertad con diferentes periodos de vibración.

Los registros sísmicos estudiados en este trabajo fueron proporcionados por la IG-EPN y corresponden al sismo ocurrido el 16 de Abril del 2017 cerca de las ciudades de Muisne y Pedernales en la costa norte del Ecuador.

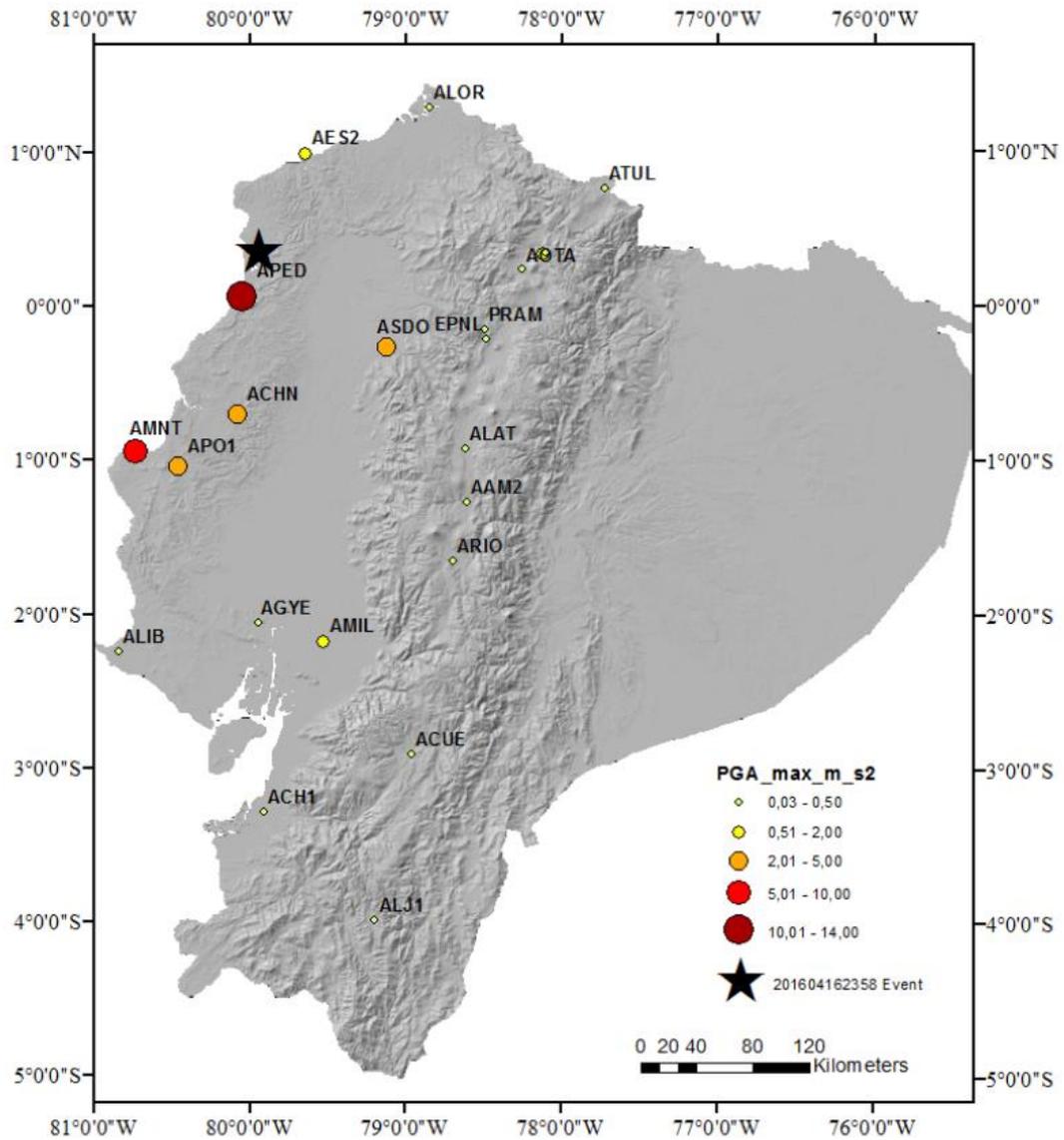


Ilustración 1 Mapa del Ecuador con las ubicaciones de los registros del sismo del 16 de Abril del 2016

(Fuente: INSTITUTO GEOFÍSICO ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL)

2.2 Cálculo de la Respuesta Dinámica de Estructuras

2.2.1 Método de Newmark

En 1959, N. M. Newmark desarrolló una familia de métodos paso a paso en el tiempo basándose en las siguientes ecuaciones: (Chopra, 2014)

$$u'_{i+1} = u'_i + [(1 - \gamma)\Delta t]u''_i + (\gamma\Delta t)u''_{i+1}$$

$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t)u'_i + [(0.5 - \beta)(\Delta t)^2]u''_i + [\beta(\Delta t)^2]u''_{i+1}$$

Los parámetros β y γ definen la variación de la aceleración durante un paso de tiempo y determinan las características de estabilidad y precisión del método. La selección típica de γ es de $1/2$, y $1/6 \leq \beta \leq 1/4$ es satisfactoria desde todos los puntos de vista, incluido el de la precisión. (Chopra, 2014)

2.2.2 Sistemas Lineales

Para los sistemas lineales es posible modificar la formulación original de Newmark a fin de permitir la resolución de las ecuaciones sin iteración. (Chopra, 2014)

Para los sistemas lineales se puede dejar expresado el valor de la masa como la unidad para así poder calcular el espectro de respuesta, la ecuación de movimiento especificada para los sistemas lineales se convierte en: (Chopra, 2014)

$$u''_{i+1} + (2 \omega n \xi)u'_{i+1} + (\omega n^2)u_{i+1} = -u_{g i+1}$$

De las ecuaciones planteadas por el método de Newmark se puede expresar la aceleración y la velocidad en términos del desplazamiento: (Chopra, 2014)

$$u''_{i+1} = \frac{1}{\beta(\Delta t^2)}(u_{i+1} - u_i) - \frac{1}{\beta \Delta t}u'_i - \left(\frac{1}{2\beta} - 1\right)u''_i$$

$$u'_{i+1} = \frac{\gamma}{\beta \Delta t}(u_{i+1} - u_i) + \left(1 - \frac{\gamma}{\beta}\right)u'_i + \Delta t \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta}\right)u''_i$$

Sustituyendo en la ecuación que controla el movimiento en el instante $i+1$. Esta sustitución da (Chopra, 2014)

$$u_{i+1} = \frac{p_{i+1}}{k}$$

Donde:

$$k = \omega n^2 + \frac{\gamma}{\beta \Delta t}(2\omega n \xi) + \frac{1}{\beta \Delta t^2}$$

$$p_{i+1} = -u_{i+1} + \left[\frac{1}{\beta \Delta t^2} + \frac{2\omega_n \xi \gamma}{\beta \Delta t} \right] u_i + \left[\frac{1}{\beta \Delta t} + \left(\frac{\gamma}{\beta} - 1 \right) (2\omega_n \xi) \right] u'_i + \left[\left(\frac{1}{2\beta} - 1 \right) + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) (2\omega_n \xi) \right] u''_i$$

Una vez que se conoce el desplazamiento en el paso $i+1$ (u_{i+1}), la velocidad y la aceleración pueden calcularse a partir de las ecuaciones anteriores, respectivamente. (Chopra, 2014)

2.3 Espectros de Respuesta Elásticos

Los espectros de respuesta elásticos son la representación gráfica de la respuesta máxima (desplazamiento, velocidades o aceleraciones) de estructuras de 1 grado de libertad y diferentes periodos naturales de vibración para un porcentaje de amortiguamiento crítico dado sometido a una excitación sísmica (registro).

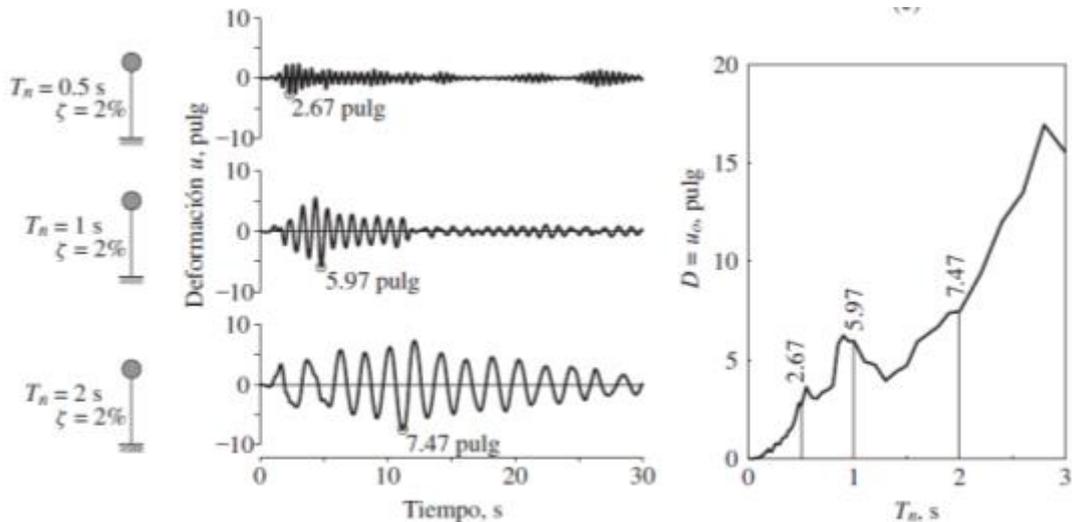


Ilustración 2 Espectro de Respuesta

Fuente: Dinámica de estructuras (Anil K Chopra)

Los espectros nos permiten identificar qué estructuras (periodo fundamental de vibración) son mayormente afectadas por un registro sísmico. Así mismo, estos espectros permiten evaluar, de manera simplificada, estructuras de

varios modos de vibración (muchos grados de libertad) ante demandas sísmicas mediante el análisis dinámico modal.

Los espectros de un registro sísmico se obtienen calculando la respuesta máxima de una estructura con periodo fundamental de vibración y porcentaje de amortiguamiento crítico específico mediante el uso de los métodos de cálculo de respuesta dinámica explicados en la sección anterior. Luego de obtenerse el máximo (absoluto) de dicha estructura, se modifica su periodo, manteniendo el amortiguamiento anterior, y se calcula nuevamente la respuesta máxima. Finalmente se grafica la respuesta máxima versus el periodo fundamental correspondiente.

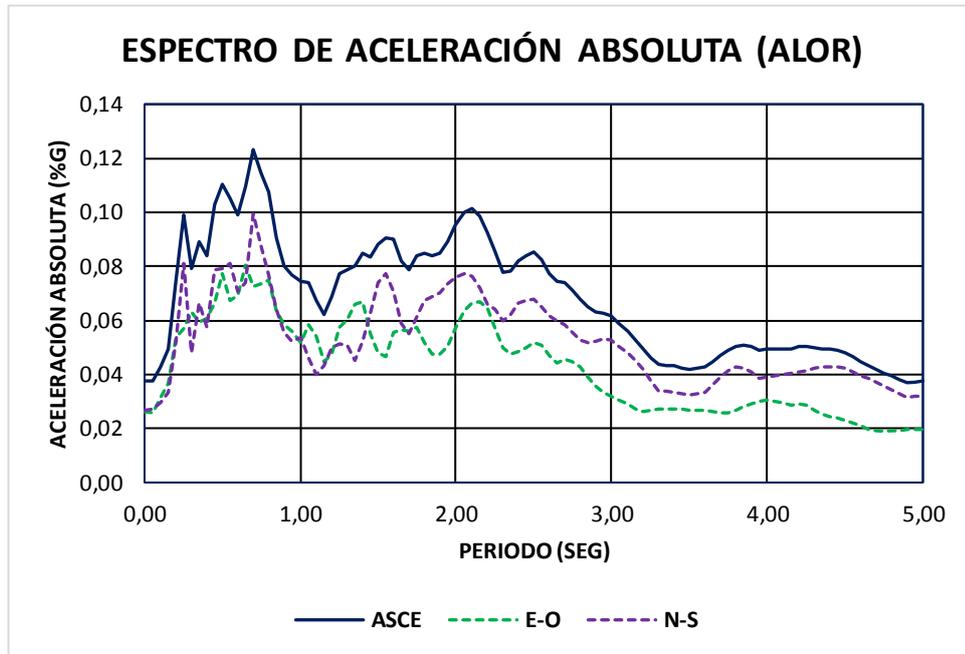
Para el cálculo de espectro de respuesta de aceleraciones se considera generalmente la aceleración absoluta (aceleración de la masa más la aceleración del suelo) ya que esta tiene relación directa con el cortante en la base y como consecuencia con las fuerzas internas en la estructura. En muchos casos este espectro se calcula en base al espectro de desplazamientos denominándose espectro de pseudo-aceleraciones.

2.4 Combinación Espectral SRSS del ASCE 7.

Para lograr una mejor representación de los efectos de los sismos sobre las estructuras, es conveniente aplicar fuerzas horizontales bidireccionales sobre las mismas. Dado que los espectros de respuesta no especifican dirección de aplicación, las normas determinan métodos que permitan considerar estos efectos bidireccionales. Por ejemplo, en el método de análisis espectral se acostumbra a considerar el 100% de las fuerzas sísmicas (calculadas por medio del espectro de respuesta) en una dirección, y el 30% en la dirección perpendicular.

En el caso del análisis historia de la respuesta (time history analysis), los efectos de los sismos se consideran por medio de la aplicación de los registros sísmicos. Como cada estación sismográfica provee 2 registros sísmicos que representan las aceleraciones horizontales, estas deben ser combinadas para así ser comparadas con el espectro de respuesta de la norma.

La norma ASCE 7-10 permite realizar la combinación espectral mediante la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los espectros elásticos de cada una de las componentes horizontales.

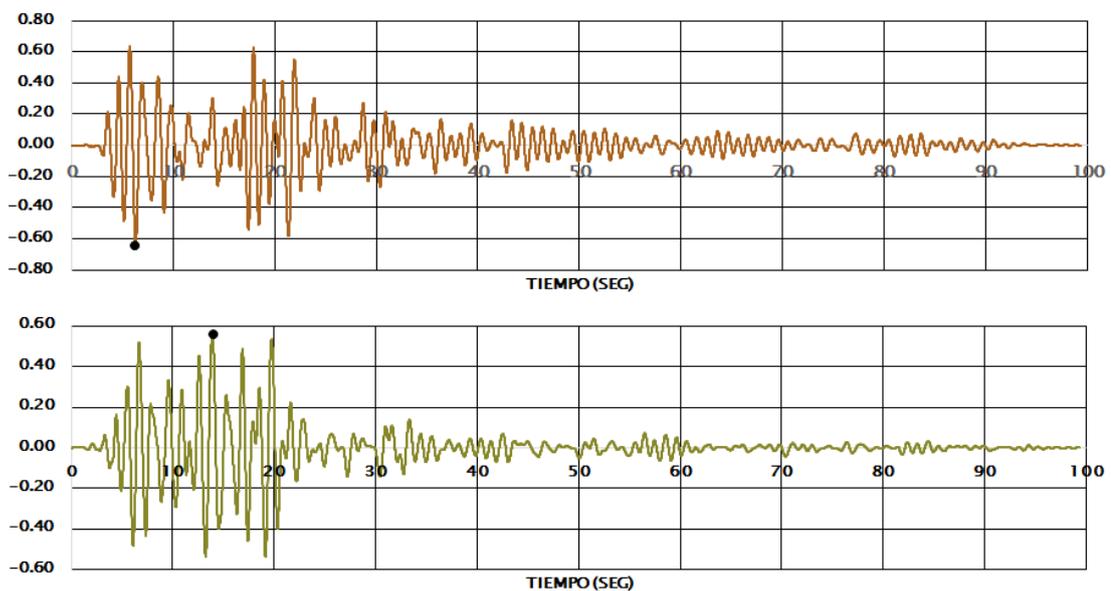


Gráfica 1 Combinación de espectros (SRSS)

CAPÍTULO 3

3 PROBLEMAS ENCONTRADOS EN LA COMBINACIÓN ESPECTRAL SRSS DEL ASCE7.

La combinación espectral SRSS especificada en el ASCE7 combina los espectros elásticos de ambas componentes horizontales de un registro. Los espectros elásticos especifican las respuestas máximas (aceleración, velocidad o desplazamiento) de la dirección estudiada sin importar en que tiempo ocurren estas. Al combinar los espectros de respuesta de ambas componentes, se están combinando valores máximos ocurridos, normalmente, en tiempos diferentes. Esto sobreestima la respuesta máxima esperada.



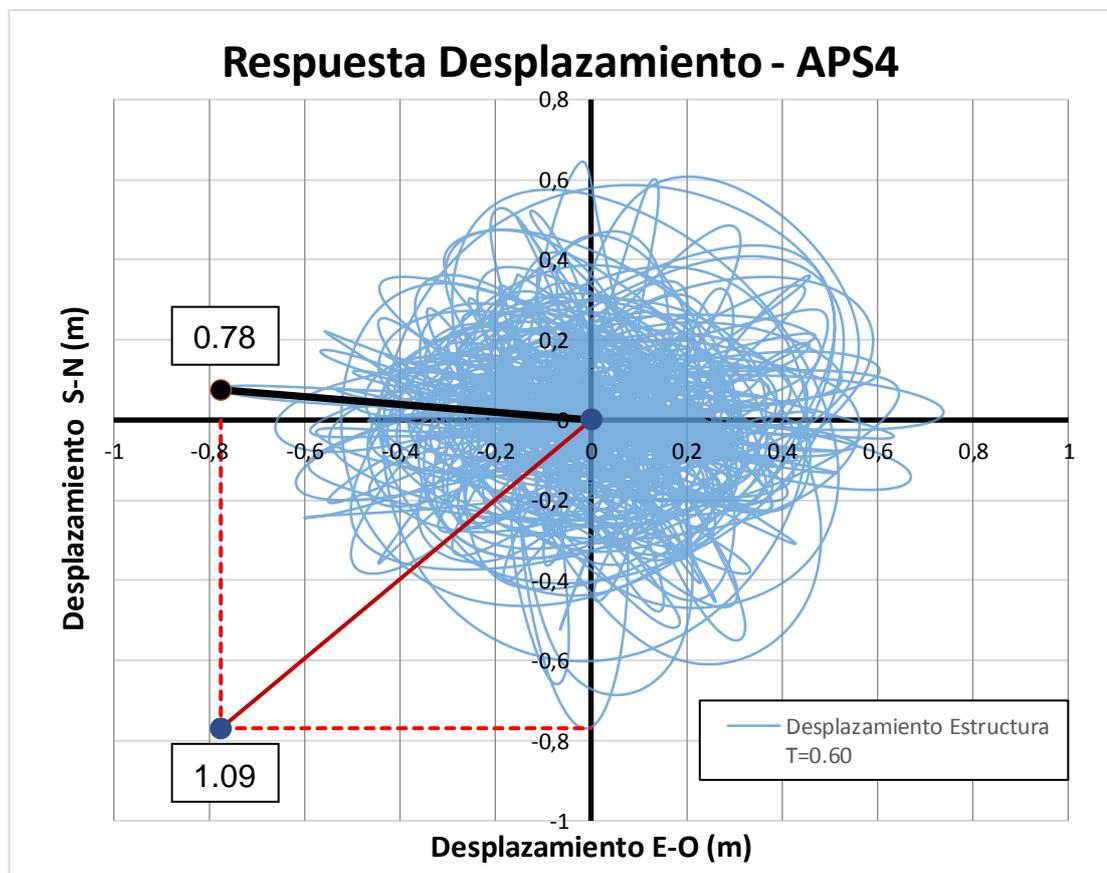
Gráfica 2 Respuesta de aceleración E-O y N-S

Por ejemplo, en la gráfica 3 se presenta la respuesta de desplazamientos de una estructura de 0.60 seg de periodo natural de vibración, 5% de

amortiguamiento crítico, y sometido a los registros NS y EO de la estación APS4 obtenidos el 16 de Abril del 2016.

La historia de la respuesta de desplazamiento se muestra con línea azul. La línea negra muestra la máxima repuesta (desplazamiento) de la estructura, la cual es igual a 0.78 mm. Por otro lado las líneas punteadas rojas muestran las máximas respuestas de la dirección NS y EO, las cuales fueron 0.77 mm y 0.78 mm respectivamente. La línea roja llena representa la combinación SRSS de las máximas respuestas de las direcciones NS y EO, dando como resultado 1.09 mm.

Como puede notarse, el resultado obtenido por la combinación SRSS es mayor al que realmente tiene la estructura, esto debido a que los máximos de cada dirección no ocurren en el mismo tiempo. De hecho, la máxima respuesta real (punto negro) ocurre en un tiempo distinto a los máximos para cada dirección por separado.



Gráfica 3 Desplazamiento en planta de una estructura

CAPÍTULO 4

4 MÉTODO DE COMBINACIÓN ESPECTRAL PROPUESTO

El propósito de este trabajo es usar una nueva metodología para la realización de la combinación de espectros considerando el tiempo y la dirección donde ocurren los máximos valores.

Para lograr esto, se obtiene primero las respuestas de una estructura de periodo de vibración T y ξ de amortiguamiento crítico para ambas componentes horizontales del registro en estudio, $R_{x(i)}$ y $R_{y(i)}$.

Las respuestas obtenidas se combinan por medio de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) para cada paso de tiempo.

$$R_{SRSS}(i) = \sqrt{[R_{x(i)}]^2 + [R_{y(i)}]^2}$$

Finalmente se determina el máximo valor de la combinación SRSS.

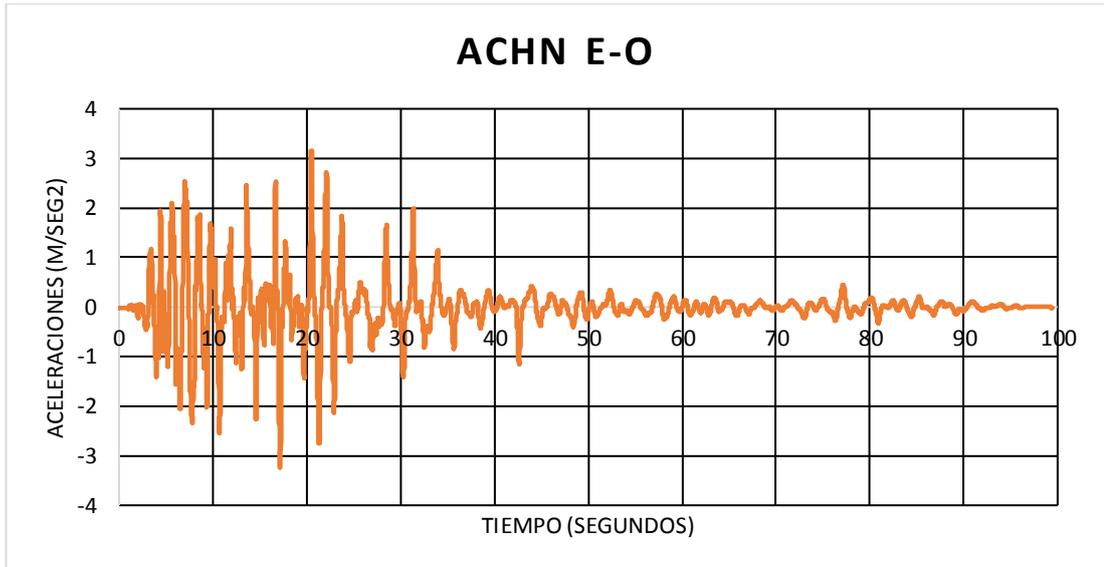
$$R_{max} = \text{MAX}(R_{SRSS}(i))$$

Este proceso se repite para varios valores de T . El espectro combinado se obtiene graficando el valor de R_{max} obtenido versus su valor de T correspondiente.

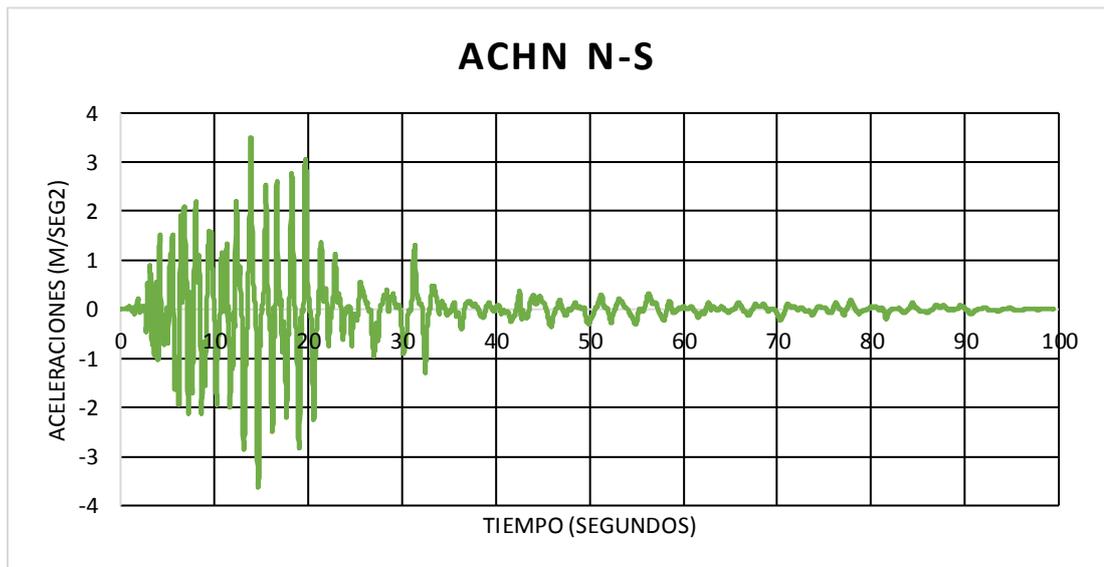
Para la demostración de la combinación propuesta se realizará un ejemplo donde se demuestra el proceso de esta investigación.

4.1 Registro de Aceleración del Terreno

A continuación se muestran los registros sísmicos horizontales del sismo del 16 de Abril, obtenidos en la estación ACHN tanto para la dirección Este – Oeste como para la dirección Norte – Sur correspondiente a la ciudad de Chone.



Gráfica 4 Registro de aceleraciones del terreno en la dirección Este-Oeste de la ciudad de Chone

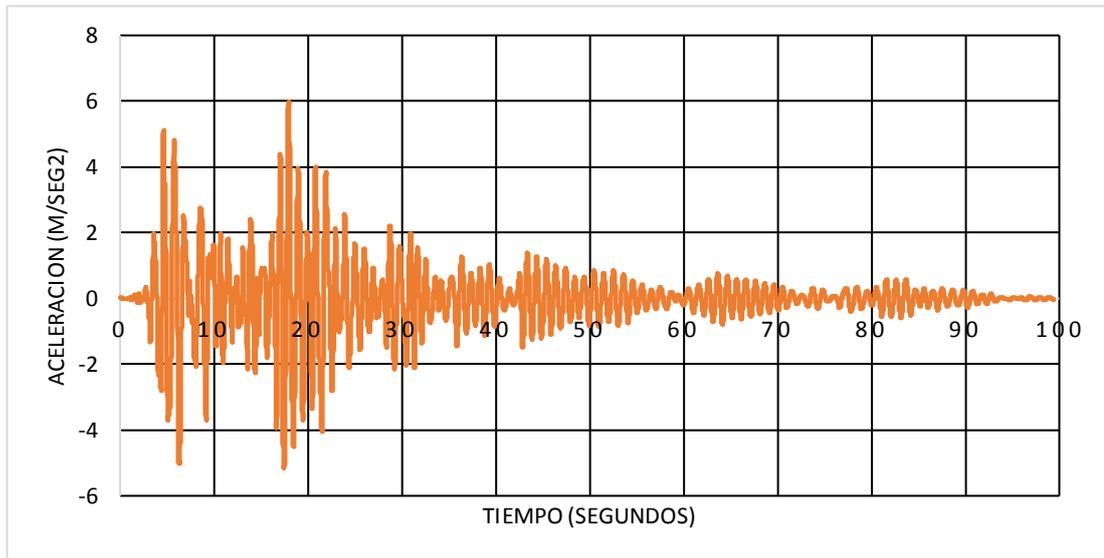


Gráfica 5 Registro de aceleraciones del terreno en la dirección Norte-Sur de la ciudad de Chone

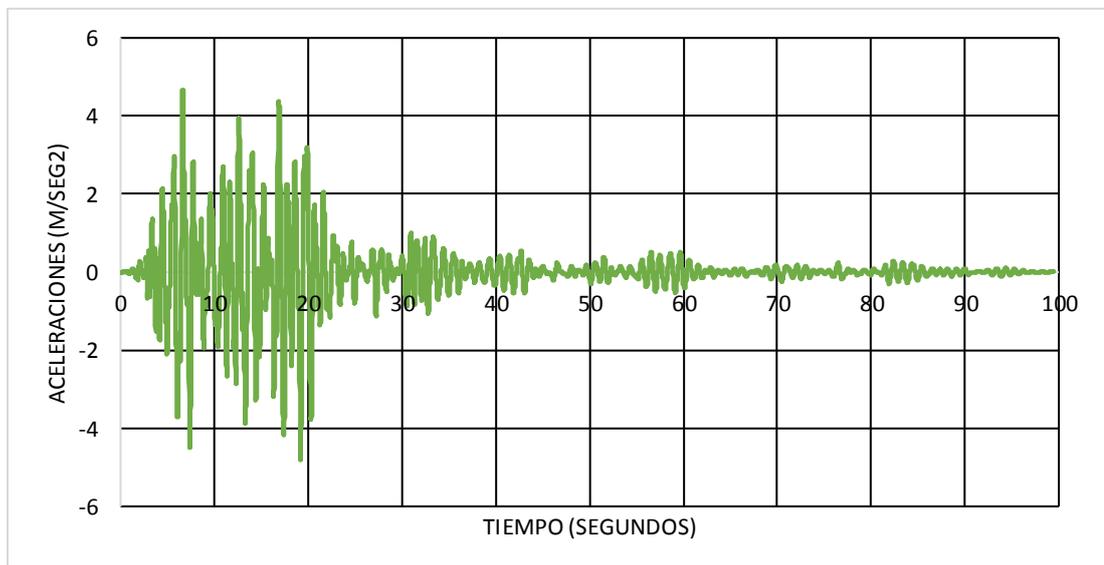
4.2 Respuesta de Aceleración

Se calcula la respuesta de desplazamiento, velocidad, aceleración y aceleración absoluta para las dos componentes horizontales usando los métodos numéricos anteriormente mencionados, considerando una estructura con 5% de amortiguamiento.

Como ejemplo, se muestra en la gráfica 5 y 6 la respuesta de aceleraciones de una estructura de 1.0 seg de periodo de vibración y 5% de amortiguamiento crítico, sometido a las componentes horizontales del registro ACHN



Gráfica 6 Respuesta de aceleración componente E-O. T=1.0 segundo

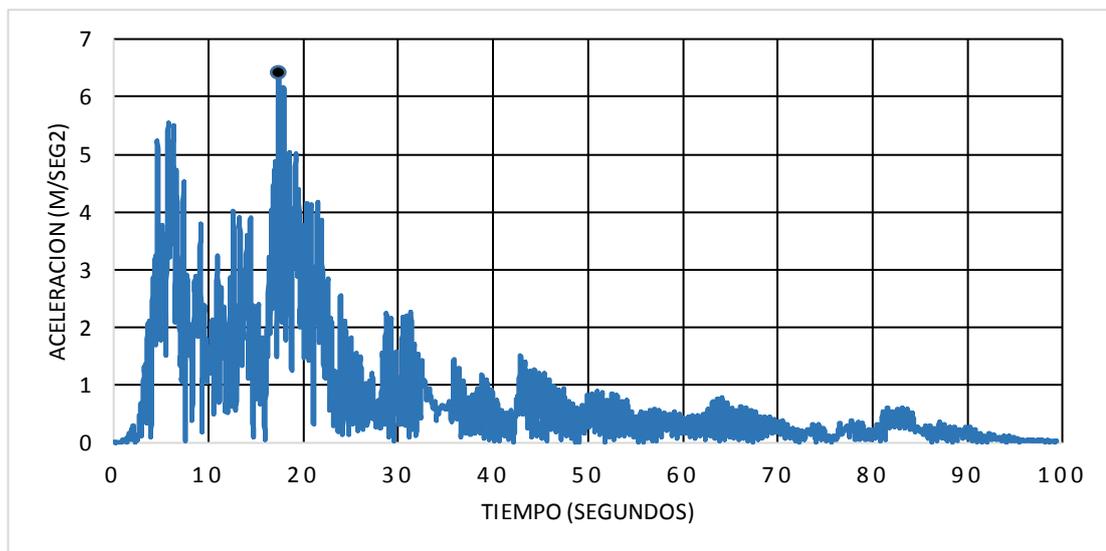


Gráfica 7 Respuesta de aceleración componente N-S. T=1.0 segundo

4.3 Combinación Espectral Propuesta

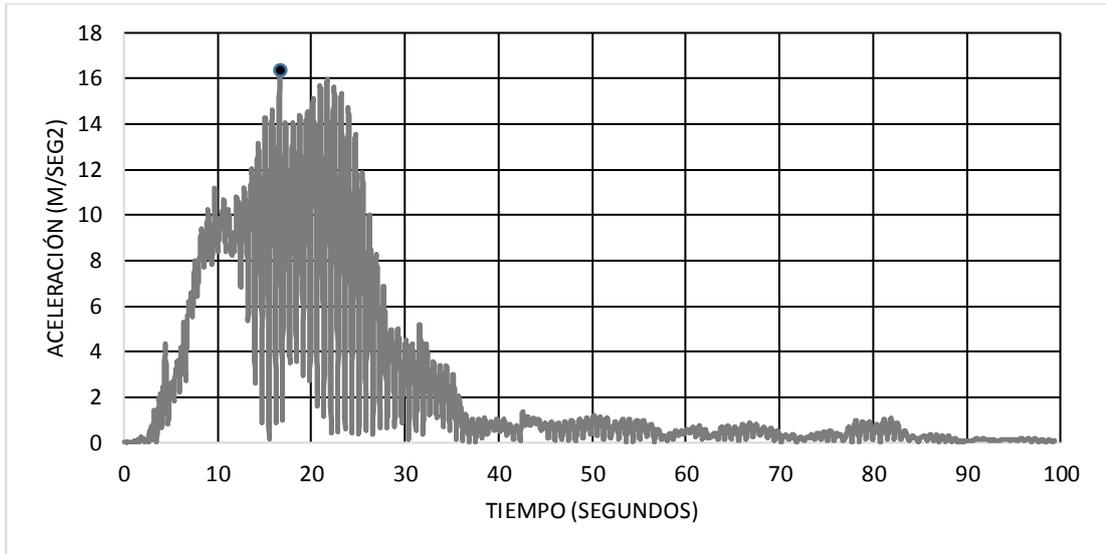
Para cada paso de tiempo, se calcula la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las respuestas de aceleración de las dos componentes horizontales. De esta forma se obtiene la respuesta bidireccional de la estructura en el tiempo y se determina la máxima respuesta en ocurrida en cualquier dirección.

En la gráfica 8 se muestra la combinación de la respuesta de aceleración de los registros del terreno de la ciudad de Chone, para estructuras de periodo de 1.0 segundos, el máximo valor obtenido se encuentra alrededor de 6.97 m/seg² que se encuentra en el tiempo 18 segundos.



Gráfica 8 Respuesta de aceleración combinada mediante SRSS. T=1.0 segundo

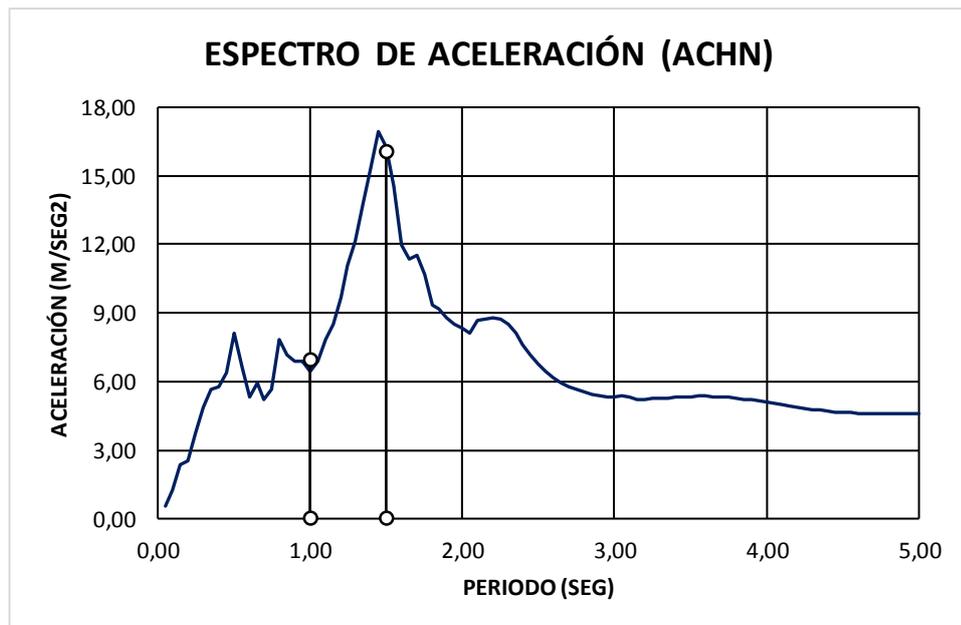
En la gráfica 9 se muestra la combinación de la respuesta de aceleración de los registros del terreno de la ciudad de Chone, para estructuras de periodo de 1.5 segundos, el máximo valor obtenido se encuentra alrededor de 16.06 m/seg² que se encuentra en el tiempo 17 segundos.



Gráfica 9 Respuesta de aceleración combinada mediante SRSS. T=1.5 segundos

4.4 Espectro de Respuesta

Para crear el espectro de respuesta se selecciona los máximos valores obtenidos de la respuesta que se obtuvo con la combinación de las anteriores respuestas de los registros en las dos componentes.



Gráfica 10 Espectro de aceleración

CAPÍTULO 5

5 PROGRAMA EN MATLAB - COMBINACIÓN ESPECTROS DE RESPUESTAS - NEWMARK LINEAL

El objetivo principal de este programa es, generar la combinación de espectro de respuesta elástico de aceleraciones, velocidades y desplazamiento para un determinado par de registro sísmico, tanto por el método ASCE y por el método propuesto en este trabajo de titulación.

Se debe disponer de las componentes ortogonales de un determinado registro sísmico, en cualquiera de los formatos soportados por el asistente para importar datos de Matlab. Las instituciones encargadas de guardar los registros sísmicos, como el PEER (Berkley) o el RENAC (IG-EPN) suelen guardarlos en formatos de archivos entre los que se incluyen: .txt, .AT2, .dat y xls, estos formatos son soportados por MATLAB.

No hay problema en cuanto al número de columnas almacenadas en cada registro, ya que una función interna del programa se encarga de llevarlos a una sola columna.

Tampoco hay inconveniente con el número de filas con datos ajenos al registro y que forman parte de la plantilla con los datos de cada institución y cada registro, ya que el asistente para importar datos de MATLAB detecta automáticamente las columnas propias del registro, para el correcto funcionamiento del programa, se debe importar los datos como una matriz numérica, además, al guardarlos en el espacio de trabajo de MATLAB, estos se deben guardar con el nombre y la componente del registro EO para la componente Este-Oeste y NS para la componente Norte-Sur.

5.1 Entradas

Para el correcto uso del programa, se requieren los siguientes “inputs” o entradas, que son los datos necesarios para poder realizar la combinación de los espectros de respuesta.

%INPUTS

- % VCol_EO : Componente del registro en dirección Este-Oeste
- % VCol_NS : Componente del registro en dirección Norte-Sur
- % dt : Intervalo de tiempo del registro
- % tf : Período hasta el cual se desea calcular
- % Paso : El paso para el que se calcula la respuesta mediante el método Newmark lineal

En el caso de los valores del registro del acelerómetro de las componentes del sismo podrán ser exportadas directamente a Matlab del formato de texto a una matriz numérica.

Los registros proporcionados por el RENAC vienen dados en porcentaje de la gravedad, por lo que este programa funciona proporcionando los registros en estas unidades (%g)

5.2 Salidas

Finalmente, el programa generará los siguiente “outputs” o salidas. El programa concluirá con el desarrollo de las combinaciones de espectros utilizando los dos métodos estudiados anteriormente.

%OUTPUTS

- % espec_a_tot : Combinación de espectros de respuestas de aceleraciones totales mediante el método propuesto

- % espec_a : Combinación de espectros de respuestas de aceleraciones mediante el método propuesto
- % espec_v : Combinación de espectros de respuestas espectro de velocidades mediante el método propuesto
- % espec_d : Combinación de espectros de respuestas espectro de desplazamientos mediante el método propuesto
- % SRSS_a_tot : Combinación de espectros de respuestas de aceleraciones totales mediante el método SRSS (ASCE 7-10)
- % SRSS_a : Combinación de espectros de respuestas de aceleraciones mediante el método SRSS (ASCE 7-10)
- % SRSS_v : Combinación de espectros de respuestas de velocidades mediante el método SRSS (ASCE 7-10)
- % SRSS_d : Combinación de espectros de respuestas de desplazamientos mediante el método SRSS (ASCE 7-10)

5.3 Ejemplo de cómo utilizar el programa

Se desea calcular las respuestas elásticas de aceleraciones, velocidades y desplazamientos del Sismo del 16 de abril del 2017, en la ciudad de Manta, para una estructura de 5% de amortiguamiento crítico, en un rango de periodos de 0 a 5.0 seg. Los datos del registro se obtuvieron del RENAC Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional, y el intervalo del registro es de 0.01 segundos.

Lo primero que se debe hacer es anclar los datos que se va a necesitar al espacio del trabajo en Matlab

- Arrastrar los registros de las componentes del sismo al workspace de Matlab

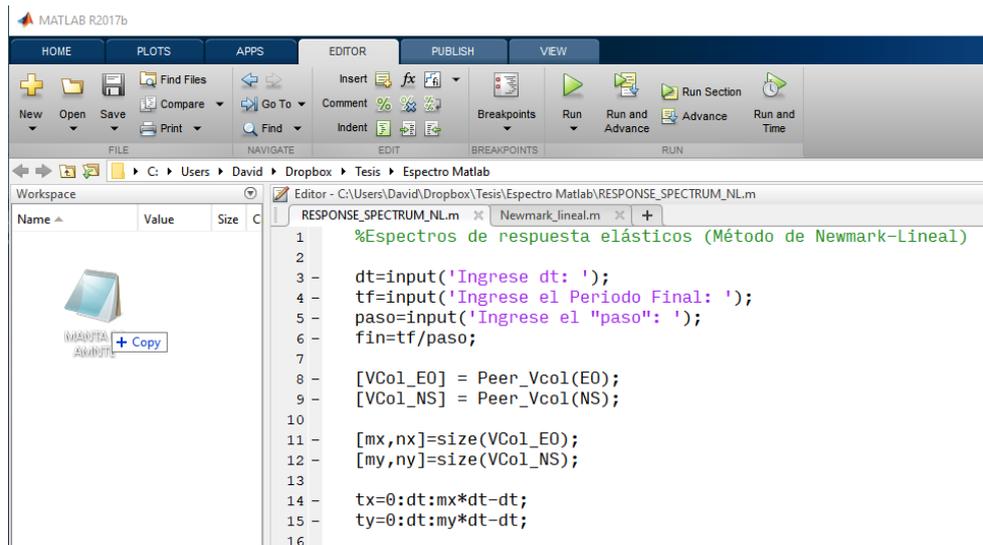


Ilustración 3 Ventana principal de Matlab

- En el asistente para importar de Matlab, se lo debe importar como matriz numérica

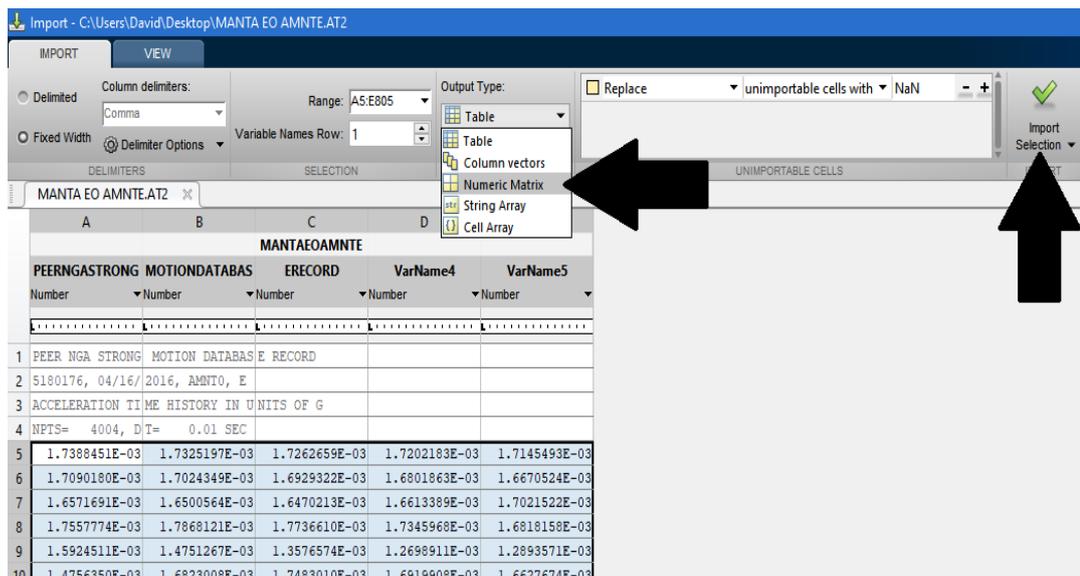


Ilustración 4 Asistente para importar datos a Matlab

Una vez importados los registros del sismo de Manta se importaran como AMNTE para la componente Este-Oeste y AMNTN para la componente Norte-Sur.

Se tiene que asegurarse que el programa llame estos registros con siguientes nombres AMNTE y AMNTN

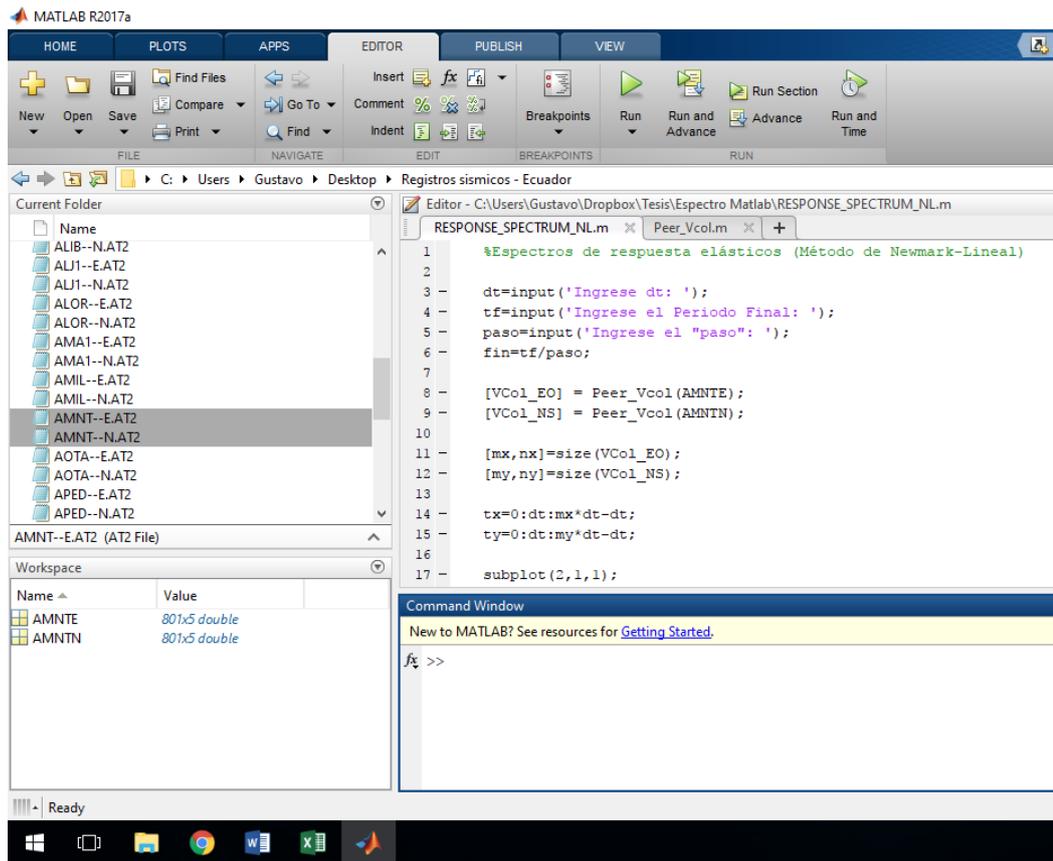


Ilustración 5 Ventana de Matlab

Se procede a correr el programa e insertar los datos correspondientes

```

Command Window
>> RESPONSE_SPECTRUM_NL
Ingrese dt: 0.01
Ingrese el Periodo Final: 5
fx Ingrese el "paso": 0.05

```

Ilustración 6 Datos necesarios para correr el programa

El programa mostrara los resultados

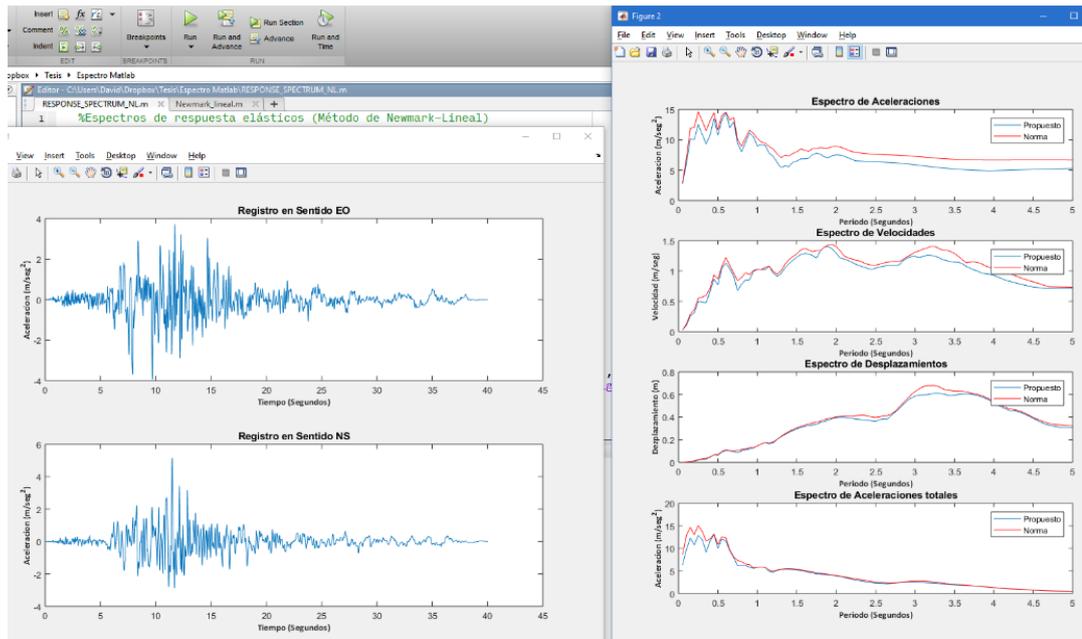


Ilustración 7 Resultados de Matlab

En el primer grafico se muestra los registros de cada componente

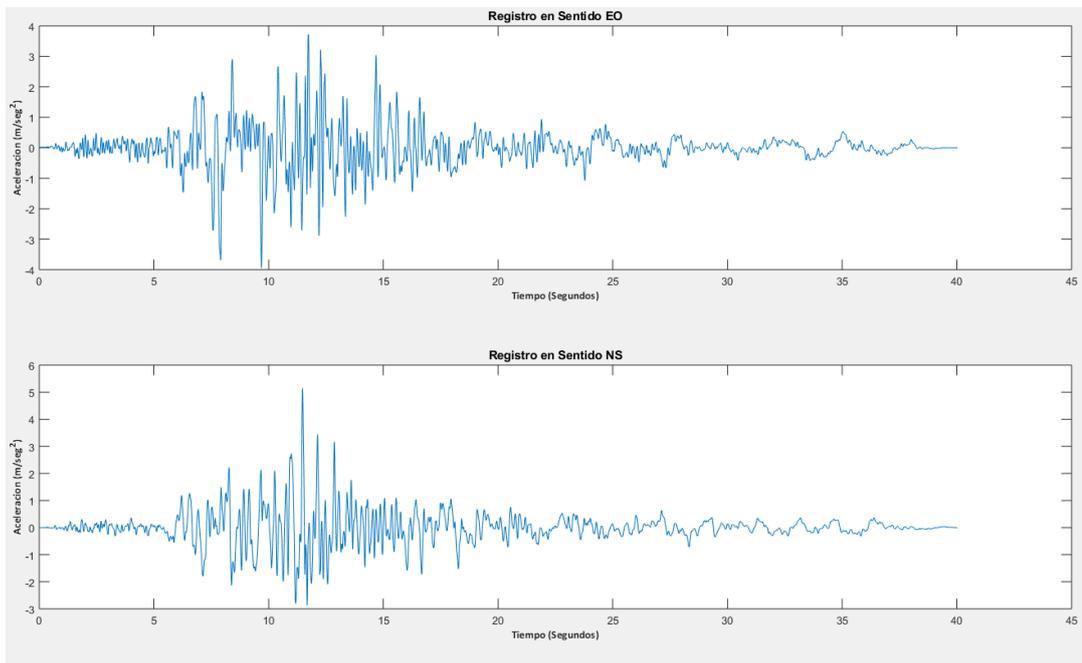


Ilustración 8 Registro de ambas componentes del sismo

El segundo conjunto de gráficas, representan las respuestas de aceleraciones, velocidades, desplazamientos y aceleraciones totales, tanto para el método propuesto como para el método de la norma.

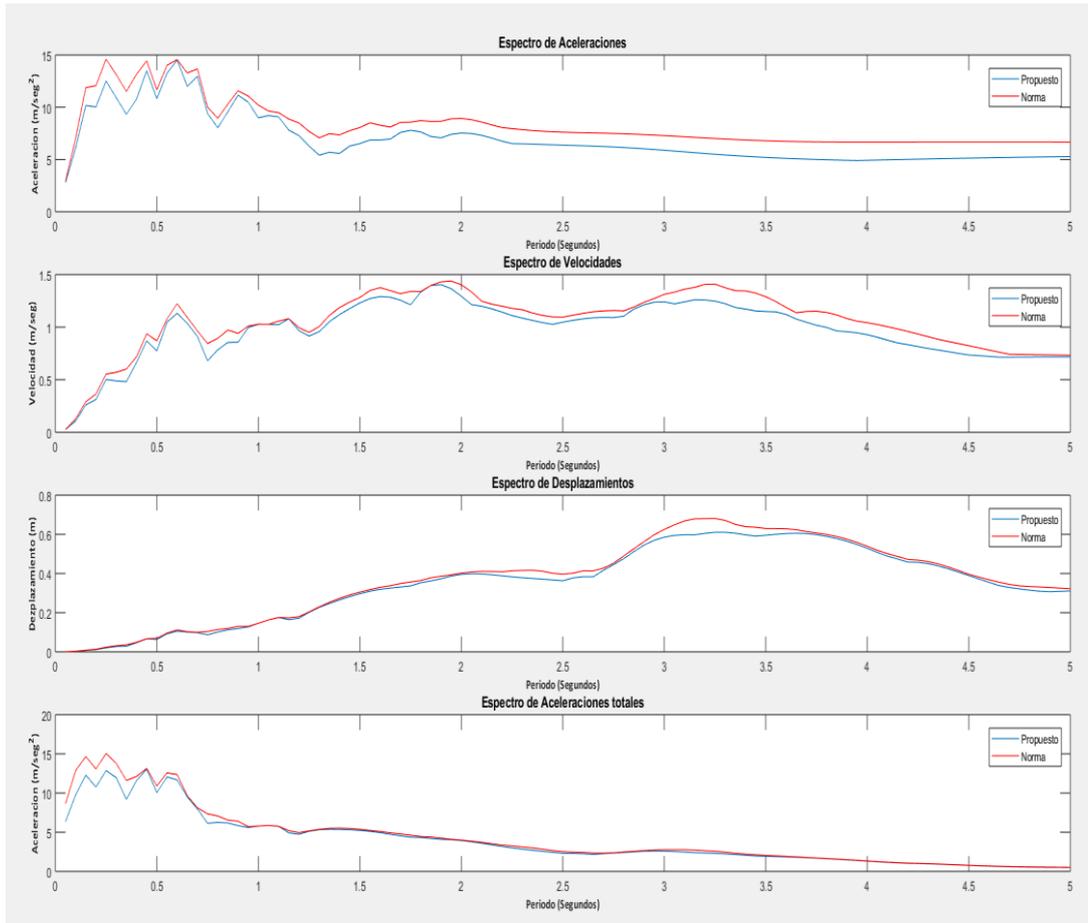


Ilustración 9 Espectros combinados

CAPÍTULO 6

6 RESULTADOS

En este capítulo se analizarán los resultados del cálculo de la combinación de componentes horizontales de registros usando el método propuesto en este trabajo y comparándolo con los resultados obtenidos del método de combinación espectral SRSS propuesto por el ASCE 7.

Los registros analizados corresponden a las mediciones de 29 estaciones acelerográficas que forman parte de la RENAC y obtenidas del sismo del 16 de Abril de 2016.

Dado que el uso del método propuesto en este trabajo siempre da resultados menores al SRSS especificado en el ASCE 7, se estudió la relación entre los valores obtenidos por el SRSS y el valor obtenido por el método propuesto:

$$F = \frac{\text{Respuesta segun combinación SRSS}}{\text{Respuesta segun combinación propuesta}}$$

Entre los resultados analizados en este estudio están:

- Valores de F correspondientes al PGA (aceleración absoluta para $T=0\text{seg}$).
- Valores de F máximo correspondiente a la respuesta de desplazamientos.
- Valores de F promedio de la respuesta de aceleración absoluta para periodos entre 0 y 5.0 seg, considerando una variación de periodos de 0.05 seg.

Además se ha clasificado a las estaciones según el valor de PGA y la distancia a la falla para determinar si estos parámetros tienen influencia en el valor de F.

La clasificación de la estaciones según su PGA fue definida de la siguiente manera:

Categoría PGA 1:	0 a 0.20 g	Color Verde
Categoría PGA 2:	0.20g a 0.40g	Color Naranja
Categoría PGA 3:	mayor a 0.40g	Color Melón

En tabla 1 se muestran las categorías de una manera gráfica en orden a sus valores de PGA.

Tabla 1 Registros categorizados según el PGA

CIUDAD	ESTACIÓN	DISTANCIA (KM)	PGA ASCE (%g)	PGA PROPUESTO (%g)
	APS4	220	0.0095	0.0070
LOJA	ALJ1	492	0.0224	0.0177
TULCÁN	ATUL	251	0.0266	0.0211
GUAYAQUIL	AGYE	270	0.0300	0.0249
	EPNL	174	0.0336	0.0272
MACHALA	ACH1	407	0.0351	0.0303
SAN LORENZO	ALOR	159	0.0374	0.0268
IBARRA	AIB2	204	0.0393	0.0332
LATACUNGA	ALAT	206	0.0422	0.0318
AMBATO	AAM2	235	0.0440	0.0357
CUENCA	ACUE	381	0.0463	0.0356
	AV11	181	0.0488	0.0410
OTAVALO	AOTA	188	0.0554	0.0486
LIBERTAD	ALIB	308	0.0578	0.0471
MILAGRO	AMIL	288	0.0696	0.0547
IBARRA	AIB1	202	0.0761	0.0593
GUAYAQUIL	AGY1	270	0.0876	0.0708
GUAYAQUIL	AGY2	270	0.1358	0.1004
	APR2	113	0.1438	0.1074
ESMERALDAS	AES2	76	0.1898	0.1548
	AV18	52	0.1915	0.1543
	AV21	54	0.2213	0.1807

SANTO DOMINGO	ASDO	115	0.2347	0.2103
	AMA1	67	0.4573	0.4112
PORTOVIEJO	APO1	167	0.4954	0.4252
CHONE	ACHN	120	0.4955	0.4202
MANTA	AMNT	171	0.6612	0.5457
	PDNS	29	1.3987	1.1412
PEDERNALES	APED	36	1.6331	1.4250

La clasificación de la estaciones según la distancia a la falla fue definida de la siguiente manera:

Categoría FALLA 1: 0 a 100 Km Color Verde

Categoría FALLA 2: 100 Km a 200 Km Color Naranja

Categoría FALLA 3: mayor a 200Km Color Melón

En la tabla 2 se muestran las categorías de una manera gráfica en orden según la distancia a la falla.

Tabla 2 Registros categorizados según la distancia a la falla

CIUDAD	ESTACIÓN	DISTANCIA (KM)
	PDNS	29
PEDERNALES	APED	36
	AV18	52
	AV21	54
	AMA1	67
ESMERALDAS	AES2	76
	APR2	113
SANTO DOMINGO	ASDO	115
CHONE	ACHN	120
SAN LORENZO	ALOR	159
PORTOVIEJO	APO1	167
MANTA	AMNT	171
	EPNL	174
	AV11	181
OTAVALO	AOTA	188
IBARRA	AIB1	202
IBARRA	AIB2	204

LATACUNGA	ALAT	206
	APS4	220
AMBATO	AAM2	235
TULCÁN	ATUL	251
GUAYAQUIL	AGYE	270
GUAYAQUIL	AGY1	270
GUAYAQUIL	AGY2	270
MILAGRO	AMIL	288
LIBERTAD	ALIB	308
CUENCA	ACUE	381
MACHALA	ACH1	407
LOJA	ALJ1	492

6.1 Valores de F para el PGA

La tabla 3 muestra los 29 registros estudiados en este trabajo, ordenados según los valores de F (Respuesta ASCE / Respuesta PROPUESTA) correspondientes al PGA.

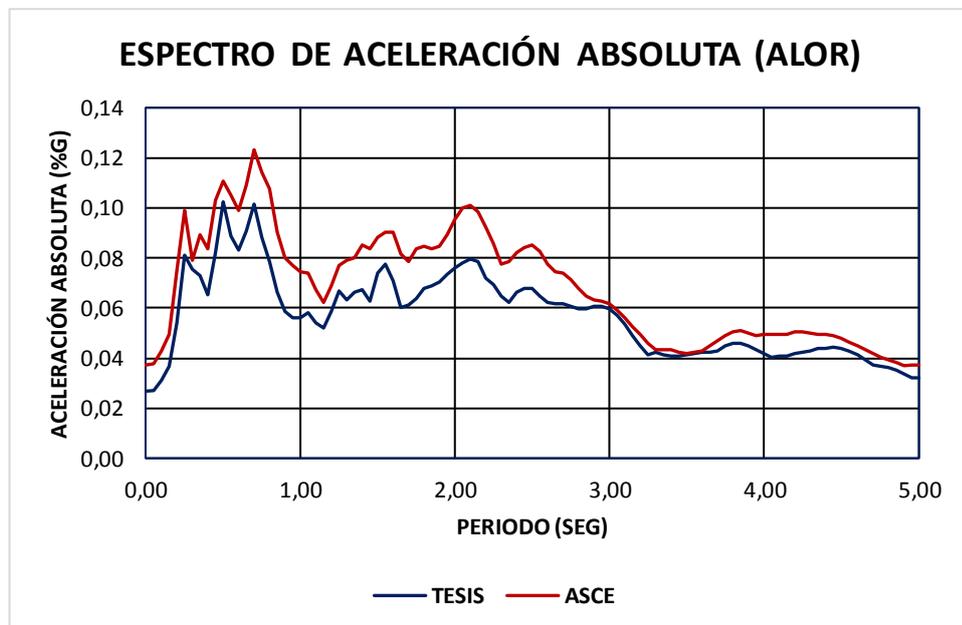
Tabla 3 Valores de F correspondientes al PGA de los registros

CIUDAD	ESTACIÓN	DISTANCI A (KM)	PGA ASCE (%g)	PGA PROPUEST O (%g)	PGA ASCE / PGA PROPUEST O (F)
SAN LORENZO	ALOR	159	0.0374	0.0268	1.39
	APS4	220	0.0095	0.0070	1.36
GUAYAQUIL	AGY2	270	0.1358	0.1004	1.35
	APR2	113	0.1438	0.1074	1.34
LATACUNGA	ALAT	206	0.0422	0.0318	1.33
CUENCA	ACUE	381	0.0463	0.0356	1.30
IBARRA	AIB1	202	0.0761	0.0593	1.28
MILAGRO	AMIL	288	0.0696	0.0547	1.27
TULCÁN	ATUL	251	0.0266	0.0211	1.26
LOJA	ALJ1	492	0.0224	0.0177	1.26
	AV18	52	0.1915	0.1543	1.24
GUAYAQUIL	AGY1	270	0.0876	0.0708	1.24
	EPNL	174	0.0336	0.0272	1.24
AMBATO	AAM2	235	0.0440	0.0357	1.23
LIBERTAD	ALIB	308	0.0578	0.0471	1.23
ESMERALDAS	AES2	76	0.1898	0.1548	1.23
	PDNS	29	1.3987	1.1412	1.23

	AV21	54	0.2213	0.1807	1.22
MANTA	AMNT	171	0.6612	0.5457	1.21
GUAYAQUIL	AGYE	270	0.0300	0.0249	1.21
	AV11	181	0.0488	0.0410	1.19
IBARRA	AIB2	204	0.0393	0.0332	1.19
CHONE	ACHN	120	0.4955	0.4202	1.18
PORTOVIEJO	APO1	167	0.4954	0.4252	1.16
MACHALA	ACH1	407	0.0351	0.0303	1.16
PEDERNALES	APED	36	1.6331	1.4250	1.15
OTAVALO	AOTA	188	0.0554	0.0486	1.14
SANTO DOMINGO	ASDO	115	0.2347	0.2103	1.12
	AMA1	67	0.4573	0.4112	1.11

Los valores más altos de F corresponden a los casos donde existen mayores diferencias entre los 2 métodos de combinación de componentes horizontales y se ubican en la parte superior de la tabla.

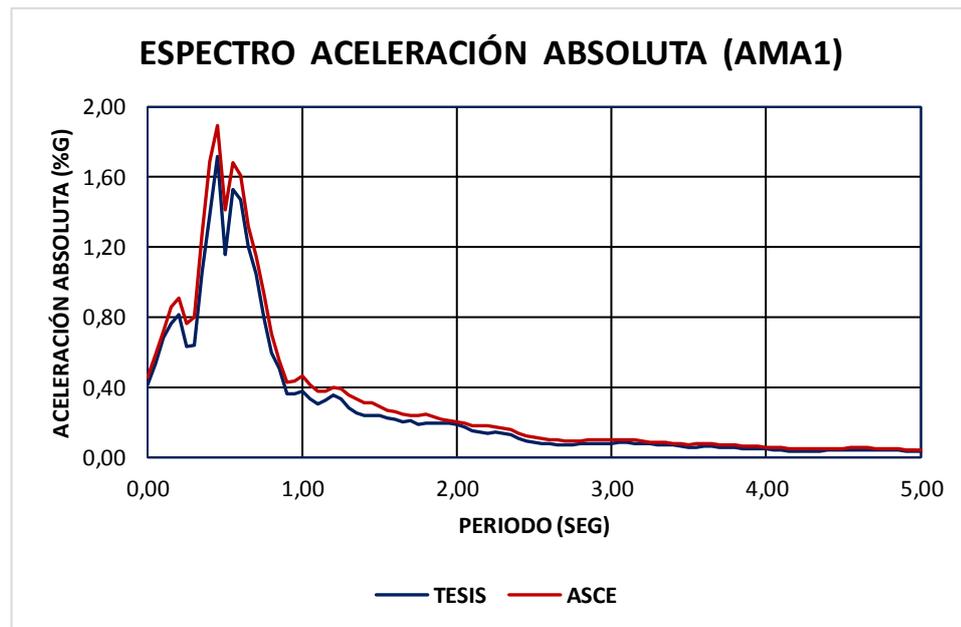
El registro que presentó mayores diferencias en los valores de PGA fue ALOR con un valor de F de 1.39.



Gráfica 11 Espectro de Aceleraciones Absolutas ALOR

Como se muestra en la gráfica 11, el PGA de la combinación de los registros según el ASCE es de 0.037%g, en cambio de acuerdo al método propuesto es de 0.027%g.

Por otro lado, el registro que presentó menores diferencias en los valores de PGA fue AMA1 con un valor de F de 1.11.



Gráfica 12 Espectro de Aceleraciones Absolutas AMA1

Como se muestra en la gráfica 12, PGA de la combinación de los registros según el ASCE es de 0.457%g, en cambio de acuerdo al método propuesto es de 0.411%g.

En la Tabla 4 se muestra los valores de F correspondientes al PGA de los registros pero indicando las categorías definidas anteriormente en base al PGA de cada uno de ellos.

Tabla 4 Valores de F correspondientes al PGA de los registros (Categorías según el PGA)

CIUDAD	ESTACIÓN	DISTANCI A (KM)	PGA ASCE (%g)	PGA PROPUEST O (%g)	PGA ASCE / PGA PROPUEST O
SAN LORENZO	ALOR	159	0.0374	0.0268	1.39
	APS4	220	0.0095	0.0070	1.36
GUAYAQUIL	AGY2	270	0.1358	0.1004	1.35
	APR2	113	0.1438	0.1074	1.34
LATACUNGA	ALAT	206	0.0422	0.0318	1.33
CUENCA	ACUE	381	0.0463	0.0356	1.30
IBARRA	AIB1	202	0.0761	0.0593	1.28
MILAGRO	AMIL	288	0.0696	0.0547	1.27
TULCÁN	ATUL	251	0.0266	0.0211	1.26
LOJA	ALJ1	492	0.0224	0.0177	1.26
	AV18	52	0.1915	0.1543	1.24
GUAYAQUIL	AGY1	270	0.0876	0.0708	1.24
	EPNL	174	0.0336	0.0272	1.24
AMBATO	AAM2	235	0.0440	0.0357	1.23
LIBERTAD	ALIB	308	0.0578	0.0471	1.23
ESMERALDAS	AES2	76	0.1898	0.1548	1.23
	PDNS	29	1.3987	1.1412	1.23
	AV21	54	0.2213	0.1807	1.22
MANTA	AMNT	171	0.6612	0.5457	1.21
GUAYAQUIL	AGYE	270	0.0300	0.0249	1.21
	AV11	181	0.0488	0.0410	1.19
IBARRA	AIB2	204	0.0393	0.0332	1.19
CHONE	ACHN	120	0.4955	0.4202	1.18
PORTOVIEJO	APO1	167	0.4954	0.4252	1.16
MACHALA	ACH1	407	0.0351	0.0303	1.16
PEDERNALES	APED	36	1.6331	1.4250	1.15
OTAVALO	AOTA	188	0.0554	0.0486	1.14
SANTO DOMINGO	ASDO	115	0.2347	0.2103	1.12
	AMA1	67	0.4573	0.4112	1.11

Como se puede observar en la tabla, los registros correspondientes a la categoría PGA 1 (color verde), generalmente tienen mayores porcentajes de variación, excluyendo a cinco registros: AGYE (Guayaquil), AV11, AIB2 (Ibarra), ACH1 (Machala), y AOTA (Otavalo).

Aunque los registros que forman parte de las categorías PGA 2 (naranja) y PGA 3 (color melón) se encuentran al final de la tabla, estos tienen como mínimo valores de F de 1.11; esto indica que el método propuesto por el ASCE sobreestima los valores de PGA por lo menos en un 11%.

En la Tabla 5 se muestra los valores de F correspondientes al PGA de los registros pero indicando las categorías definidas anteriormente en base a la distancia a la falla de las estaciones

Tabla 5 Valores de F correspondientes al PGA de los registros (Categorías según la distancia a la falla)

CIUDAD	ESTACIÓN	DISTANCI A (KM)	PGA ASCE (%g)	PGA PROPUEST O (%g)	PGA ASCE / PGA PROPUEST O
SAN LORENZO	ALOR	159	0.0374	0.0268	1.39
	APS4	220	0.0095	0.0070	1.36
GUAYAQUIL	AGY2	270	0.1358	0.1004	1.35
	APR2	113	0.1438	0.1074	1.34
LATACUNGA	ALAT	206	0.0422	0.0318	1.33
CUENCA	ACUE	381	0.0463	0.0356	1.30
IBARRA	AIB1	202	0.0761	0.0593	1.28
MILAGRO	AMIL	288	0.0696	0.0547	1.27
TULCÁN	ATUL	251	0.0266	0.0211	1.26
LOJA	ALJ1	492	0.0224	0.0177	1.26
	AV18	52	0.1915	0.1543	1.24
GUAYAQUIL	AGY1	270	0.0876	0.0708	1.24
	EPNL	174	0.0336	0.0272	1.24
AMBATO	AAM2	235	0.0440	0.0357	1.23
LIBERTAD	ALIB	308	0.0578	0.0471	1.23
ESMERALDAS	AES2	76	0.1898	0.1548	1.23
	PDNS	29	1.3987	1.1412	1.23
	AV21	54	0.2213	0.1807	1.22
MANTA	AMNT	171	0.6612	0.5457	1.21
GUAYAQUIL	AGYE	270	0.0300	0.0249	1.21
	AV11	181	0.0488	0.0410	1.19
IBARRA	AIB2	204	0.0393	0.0332	1.19
CHONE	ACHN	120	0.4955	0.4202	1.18
PORTOVIEJO	APO1	167	0.4954	0.4252	1.16
MACHALA	ACH1	407	0.0351	0.0303	1.16
PEDERNALES	APED	36	1.6331	1.4250	1.15
OTAVALO	AOTA	188	0.0554	0.0486	1.14

SANTO DOMINGO	ASDO	115	0.2347	0.2103	1.12
	AMA1	67	0.4573	0.4112	1.11

Los registros que se encuentran a distancias mayores de 200 Km son los que se ubican en la parte superior de la tabla 5, esto quiere decir que las mayores diferencias se dan para registros lejanos a la falla.

Una posible razón que explique esta distribución es que los registros más cercanos a la falla pueden tener efectos de direccionalidad, lo que haría que la respuesta estructural se dé mayormente en una dirección (no necesariamente coincidiendo con los ejes del acelerógrafo) tomando una forma elíptica y por ende un valor de F menor (esto se discutirá más adelante).

6.2 Máximos valores de F para la respuesta de desplazamientos

La tabla 6 muestra los 29 registros estudiados en este trabajo, ordenados según los valores de F (Respuesta ASCE / Respuesta PROPUESTA) correspondientes al valor de F máximo correspondiente a la respuesta de desplazamientos.

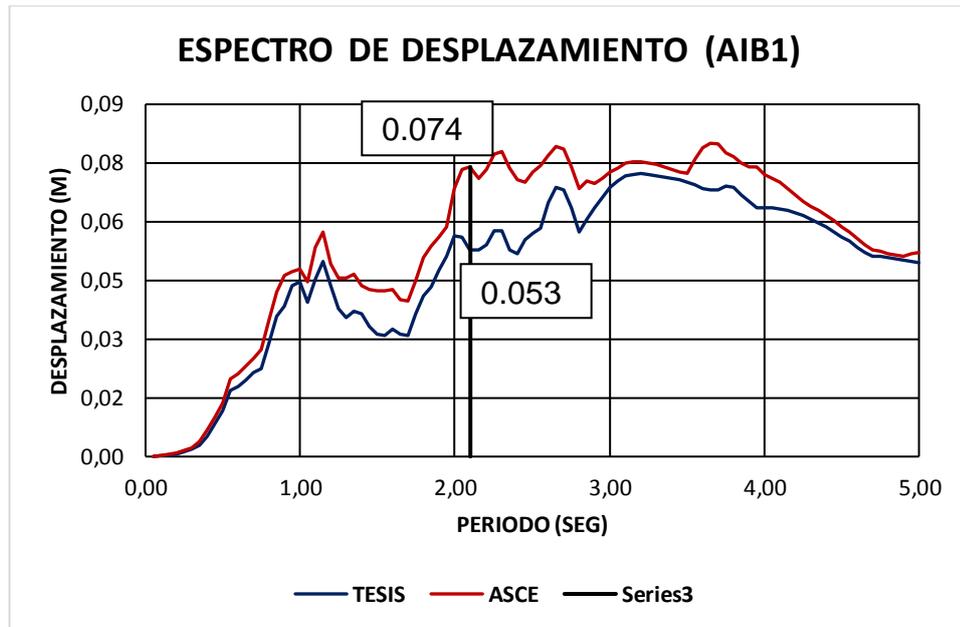
Tabla 6 Valores de F máximo correspondiente a la respuesta de desplazamientos

CIUDAD	ESTACIÓN	DISTANCIA (KM)	ACELERACION ABSOLUTA (%g)		MAX ASCE / PROPUESTO
			ASCE	PROPUESTO	
IBARRA	AIB1	202	0.068	0.048	1.41
MACHALA	ACH1	407	0.114	0.081	1.40
GUAYAQUIL	AGY1	270	0.018	0.013	1.40
	APS4	220	0.012	0.009	1.40
SAN LORENZO	ALOR	159	0.037	0.027	1.39
IBARRA	AIB2	204	0.037	0.026	1.39
	AMA1	67	0.050	0.036	1.39
AMBATO	AAM2	235	0.101	0.073	1.39
	AV18	52	0.153	0.110	1.39
	AV21	54	0.108	0.077	1.39

PORTOVIEJO	APO1	167	0.425	0.306	1.39
MILAGRO	AMIL	288	0.040	0.029	1.39
OTAVALO	AOTA	188	0.017	0.012	1.39
LIBERTAD	ALIB	308	0.065	0.047	1.39
	EPNL	174	0.015	0.011	1.38
SANTO DOMINGO	ASDO	115	0.024	0.017	1.38
	AV11	181	0.069	0.050	1.38
TULCÁN	ATUL	251	0.018	0.013	1.37
LOJA	ALJ1	492	0.059	0.043	1.37
GUAYAQUIL	AGYE	270	0.032	0.023	1.37
CHONE	ACHN	120	0.855	0.626	1.37
ESMERALDAS	AES2	76	0.303	0.223	1.36
MANTA	AMNT	171	0.881	0.648	1.36
GUAYAQUIL	AGY2	270	0.364	0.268	1.36
LATACUNGA	ALAT	206	0.151	0.112	1.35
	PDNS	29	2.617	1.946	1.34
CUENCA	ACUE	381	0.064	0.048	1.34
	APR2	113	0.144	0.107	1.34
PEDERNALES	APED	36	3.059	2.333	1.31

Los valores más altos de F corresponden a los casos donde existen mayores diferencias entre los 2 métodos de combinación de componentes horizontales y se ubican en la parte superior de la tabla.

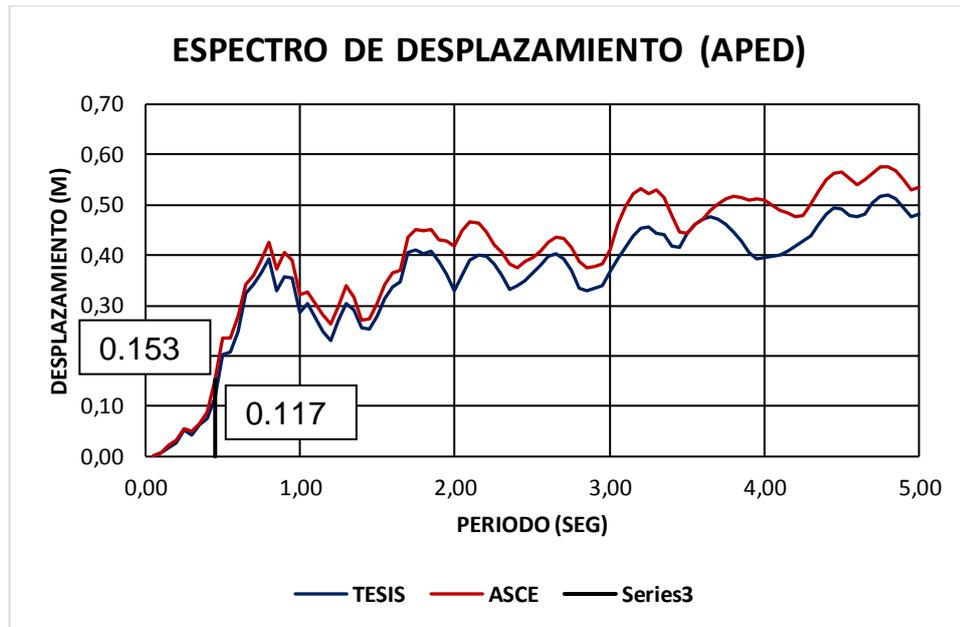
El registro que presentó mayores diferencias en los valores de F máximo correspondiente a la respuesta de desplazamientos fue AIB1 con un valor de F de 1.41.



Gráfica 13 Espectros de Desplazamientos AIB1 según el método SRSS (ASCE) y el propuesto en este trabajo de titulación.

Como se muestra en la gráfica 13, la máxima diferencia de las respuestas de desplazamientos se da para un periodo de 2.10 seg. La respuesta según la combinación de los registros del ASCE es de 0.074m, en cambio de acuerdo al método propuesto es de 0.053m.

Por otro lado, el registro que presentó menores diferencias en los valores de F máximo correspondiente a la respuesta de desplazamientos fue APED con un valor de F de 1.31.



Gráfica 14 Espectros de Desplazamientos APED según el método SRSS (ASCE) y el propuesto en este trabajo de titulación.

Como se muestra en la gráfica 14, la máxima diferencia de las respuestas de desplazamientos se da para un periodo de 0.45 seg. La respuesta según la combinación de los registros según el ASCE es de 0.153m, en cambio de acuerdo al método propuesto es de 0.117.

En la Tabla 7 se muestra los valores de F máximo correspondiente a la respuesta de desplazamientos pero indicando las categorías definidas anteriormente en base al PGA del registro.

Tabla 7 Valores de F máximo correspondiente a la respuesta de desplazamientos (Categorías según el PGA)

CIUDAD	ESTACIÓN	DISTANCIA (KM)	MAX ASCE / PROPUESTO
IBARRA	AIB1	202	1.41
MACHALA	ACH1	407	1.40
GUAYAQUIL	AGY1	270	1.40
	APS4	220	1.40
SAN LORENZO	ALOR	159	1.39
IBARRA	AIB2	204	1.39
	AMA1	67	1.39

AMBATO	AAM2	235	1.39
	AV18	52	1.39
	AV21	54	1.39
PORTOVIEJO	APO1	167	1.39
MILAGRO	AMIL	288	1.39
OTAVALO	AOTA	188	1.39
LIBERTAD	ALIB	308	1.39
	EPNL	174	1.38
SANTO DOMINGO	ASDO	115	1.38
	AV11	181	1.38
TULCÁN	ATUL	251	1.37
LOJA	ALJ1	492	1.37
GUAYAQUIL	AGYE	270	1.37
CHONE	ACHN	120	1.37
ESMERALDAS	AES2	76	1.36
MANTA	AMNT	171	1.36
GUAYAQUIL	AGY2	270	1.36
LATACUNGA	ALAT	206	1.35
	PDNS	29	1.34
CUENCA	ACUE	381	1.34
	APR2	113	1.34
PEDERNALES	APED	36	1.31

Se puede notar que generalmente los registros donde las aceleraciones del suelo (PGA) son altas están en la parte final de la tabla, mientras que los de aceleraciones de suelo baja están ubicados en la parte superior.

En la Tabla 8 se muestra los valores de F máximo correspondiente a la respuesta de desplazamientos pero indicando las categorías definidas anteriormente en base a la distancia a la falla de las estaciones

Tabla 8. Valores de F máximo correspondiente a la respuesta de desplazamientos (Categorías según la distancia a la falla)

CIUDAD	ESTACIÓN	DISTANCIA (KM)	MAX ASCE / PROPUESTO
IBARRA	AIB1	202	1.41
MACHALA	ACH1	407	1.40
GUAYAQUIL	AGY1	270	1.40
	APS4	220	1.40

SAN LORENZO	ALOR	159	1.39
IBARRA	AIB2	204	1.39
	AMA1	67	1.39
AMBATO	AAM2	235	1.39
	AV18	52	1.39
	AV21	54	1.39
PORTOVIEJO	APO1	167	1.39
MILAGRO	AMIL	288	1.39
OTAVALO	AOTA	188	1.39
LIBERTAD	ALIB	308	1.39
	EPNL	174	1.38
SANTO DOMINGO	ASDO	115	1.38
	AV11	181	1.38
TULCÁN	ATUL	251	1.37
LOJA	ALJ1	492	1.37
GUAYAQUIL	AGYE	270	1.37
CHONE	ACHN	120	1.37
ESMERALDAS	AES2	76	1.36
MANTA	AMNT	171	1.36
GUAYAQUIL	AGY2	270	1.36
LATACUNGA	ALAT	206	1.35
	PDNS	29	1.34
CUENCA	ACUE	381	1.34
	APR2	113	1.34
PEDERNALES	APED	36	1.31

En la tabla 8 se puede notar que la distribución según las categorías de distancia a la falla, no sigue un patrón claro.

6.3 Valores de F promedio de la respuesta de aceleración absoluta para periodos entre 0 y 5.0 seg

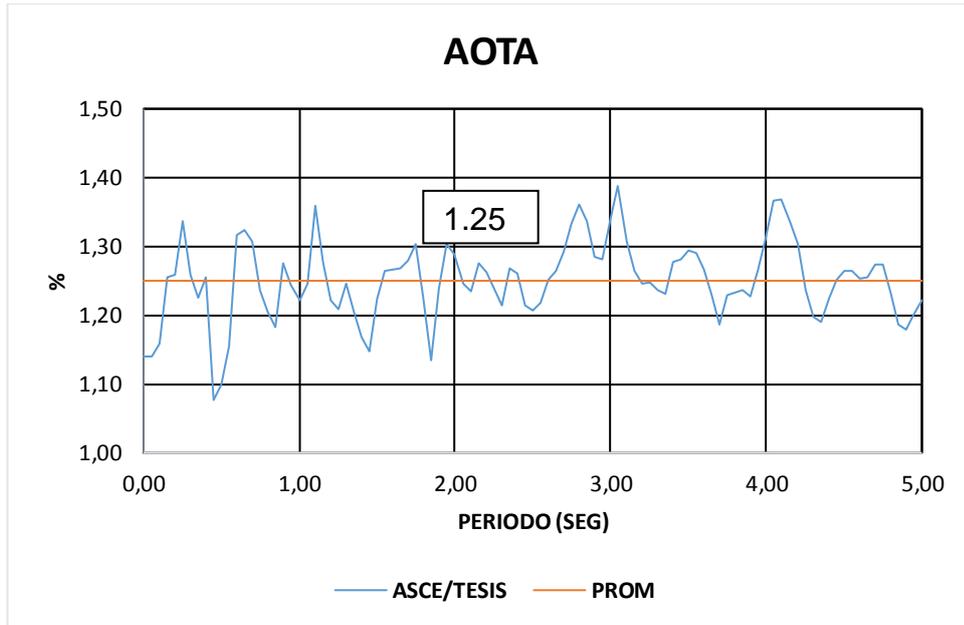
La tabla 9 muestra los 29 registros estudiados en este trabajo, ordenados según los valores de F (Respuesta ASCE / Respuesta PROPUESTA) promedios de la respuesta de aceleración absoluta para el rango de periodos de 0 a 5.0 seg.

Tabla 9 Valores de F promedios de la respuesta de aceleración absoluta

CIUDAD	ESTACIÓN	DISTANCIA (KM)	PROMEDIO ASCE / PROPUESTO
OTAVALO	AOTA	188	1.25
MILAGRO	AMIL	288	1.23
GUAYAQUIL	AGY1	270	1.22
LIBERTAD	ALIB	308	1.22
SANTO DOMINGO	ASDO	115	1.22
	AMA1	67	1.21
	AV18	52	1.21
	APR2	113	1.20
TULCÁN	ATUL	251	1.20
	AV21	54	1.19
CUENCA	ACUE	381	1.19
SAN LORENZO	ALOR	159	1.19
AMBATO	AAM2	235	1.19
LOJA	ALJ1	492	1.18
GUAYAQUIL	AGY2	270	1.17
IBARRA	AIB1	202	1.17
	EPNL	174	1.17
ESMERALDAS	AES2	76	1.16
LATACUNGA	ALAT	206	1.16
IBARRA	AIB2	204	1.16
	AV11	181	1.16
MACHALA	ACH1	407	1.16
	APS4	220	1.15
CHONE	ACHN	120	1.15
PEDERNALES	APED	36	1.13
GUAYAQUIL	AGYE	270	1.12
PORTOVIEJO	APO1	167	1.10
	PDNS	29	1.10
MANTA	AMNT	171	1.06

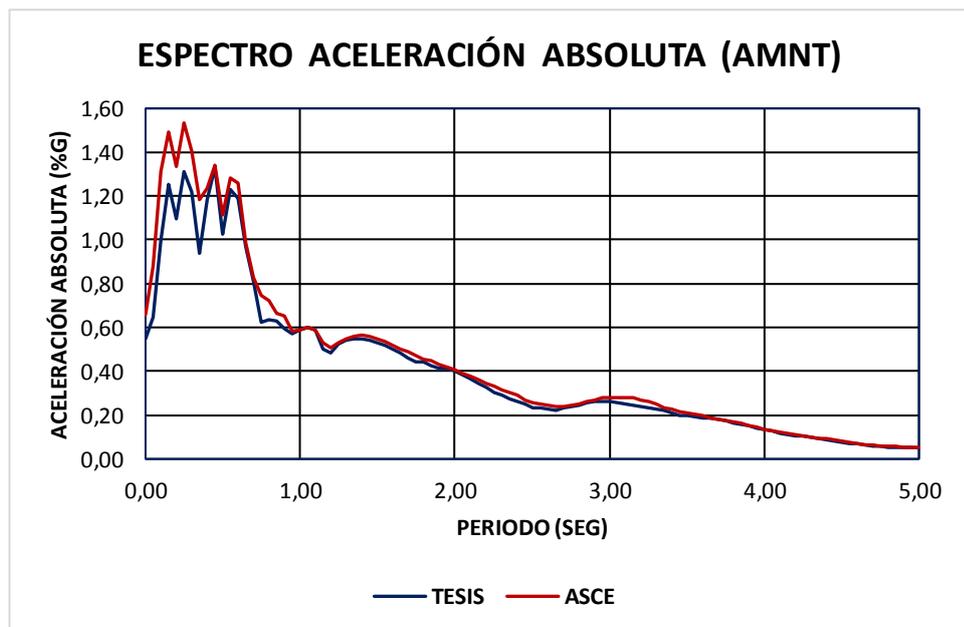
Los valores más altos de F promedio corresponden a los casos donde existen mayores diferencias entre los 2 métodos de combinación de componentes horizontales y se ubican en la parte superior de la tabla.

El registro que presentó mayores diferencias en los valores promedios de la respuesta de aceleración absoluta fue AOTA con un valor de F de 1.25.

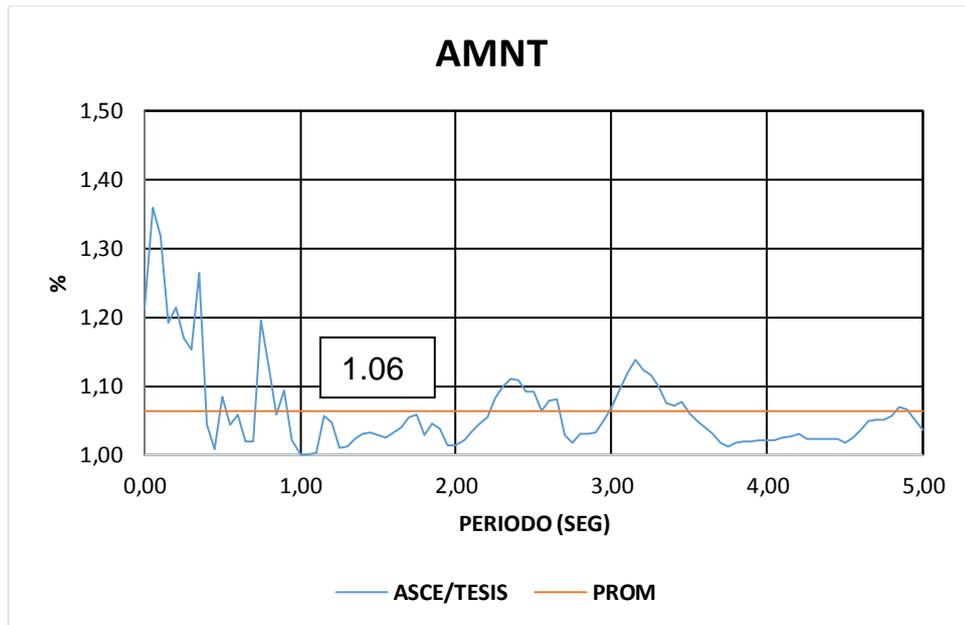


Gráfica 15 Valores de F de la respuesta de aceleración absoluta para el registro AOTA para periodos entre 0 y 5 seg.

Por otro lado, el registro que presentó menores diferencias en los valores promedios de la respuesta de aceleración absoluta fue AMNT con un valor de F de 1.06.



Gráfica 16 Espectros de Aceleración AMNT



Gráfica 17 Valores de F de la respuesta de aceleración absoluta para el registro AMNT para periodos entre 0 y 5 seg.

En la Tabla 10 se muestra los valores de F promedios de la respuesta de aceleración absoluta pero indicando las categorías definidas anteriormente en base al PGA del registro.

Tabla 10 Valores de F promedios de la respuesta de aceleración absoluta (Categorías según el PGA)

CIUDAD	ESTACIÓN	DISTANCIA (KM)	PROMEDIO ASCE / PROPUESTO
OTAVALO	AOTA	188	1.25
MILAGRO	AMIL	288	1.23
GUAYAQUIL	AGY1	270	1.22
LIBERTAD	ALIB	308	1.22
SANTO DOMINGO	ASDO	115	1.22
	AMA1	67	1.21
	AV18	52	1.21
	APR2	113	1.20
TULCÁN	ATUL	251	1.20
	AV21	54	1.19
CUENCA	ACUE	381	1.19
SAN LORENZO	ALOR	159	1.19
AMBATO	AAM2	235	1.19

LOJA	ALJ1	492	1.18
GUAYAQUIL	AGY2	270	1.17
IBARRA	AIB1	202	1.17
	EPNL	174	1.17
ESMERALDAS	AES2	76	1.16
LATACUNGA	ALAT	206	1.16
IBARRA	AIB2	204	1.16
	AV11	181	1.16
MACHALA	ACH1	407	1.16
	APS4	220	1.15
CHONE	ACHN	120	1.15
PEDERNALES	APED	36	1.13
GUAYAQUIL	AGYE	270	1.12
PORTOVIEJO	APO1	167	1.10
	PDNS	29	1.10
MANTA	AMNT	171	1.06

Se puede notar en tabla 10 que los registros en donde ocurrieron aceleraciones del suelo altas, se encuentran en la parte inferior de la tabla excepto la estación AMA1.

En la Tabla 11 se muestra los valores de F promedio de la respuesta de aceleración absoluta pero indicando las categorías definidas anteriormente en base a la distancia a la falla de las estaciones

Tabla 11 Valores de F promedio de la respuesta de aceleración absoluta (Categorías según la distancia a la falla)

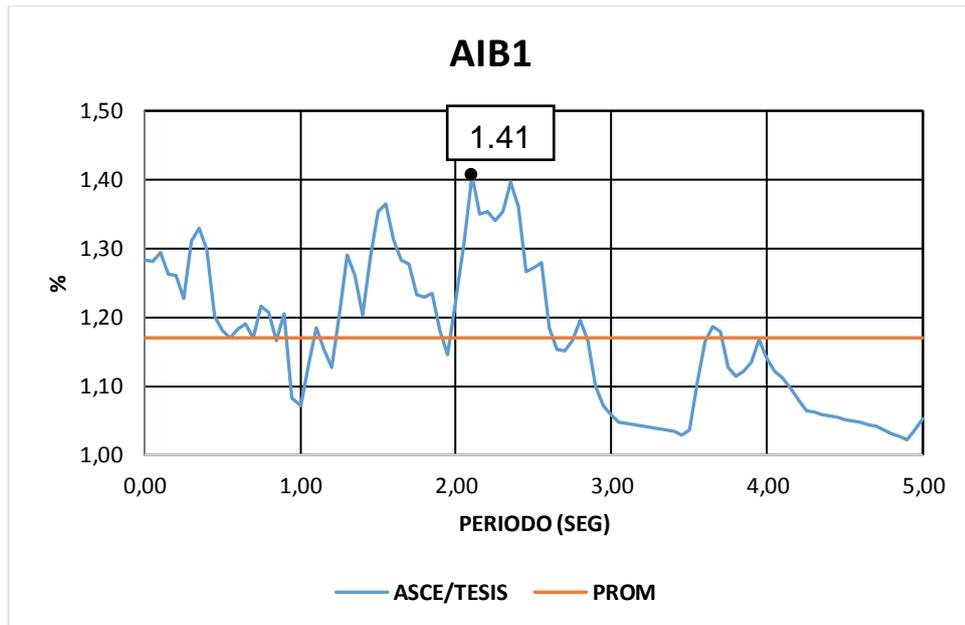
CIUDAD	ESTACIÓN	DISTANCIA (KM)	PROMEDIO ASCE / PROPUESTO
OTAVALO	AOTA	188	1.25
MILAGRO	AMIL	288	1.23
GUAYAQUIL	AGY1	270	1.22
LIBERTAD	ALIB	308	1.22
SANTO DOMINGO	ASDO	115	1.22
	AMA1	67	1.21
	AV18	52	1.21
	APR2	113	1.20
TULCÁN	ATUL	251	1.20
	AV21	54	1.19

CUENCA	ACUE	381	1.19
SAN LORENZO	ALOR	159	1.19
AMBATO	AAM2	235	1.19
LOJA	ALJ1	492	1.18
GUAYAQUIL	AGY2	270	1.17
IBARRA	AIB1	202	1.17
	EPNL	174	1.17
ESMERALDAS	AES2	76	1.16
LATACUNGA	ALAT	206	1.16
IBARRA	AIB2	204	1.16
	AV11	181	1.16
MACHALA	ACH1	407	1.16
	APS4	220	1.15
CHONE	ACHN	120	1.15
PEDERNALES	APED	36	1.13
GUAYAQUIL	AGYE	270	1.12
PORTOVIEJO	APO1	167	1.10
	PDNS	29	1.10
MANTA	AMNT	171	1.06

No se pudo encontrar un patrón, debido a que los registros se encuentran en forma variada en la tabla.

6.4 Casos donde ocurren las mayores diferencias entre el método propuesto y el método SRSS (ASCE7)

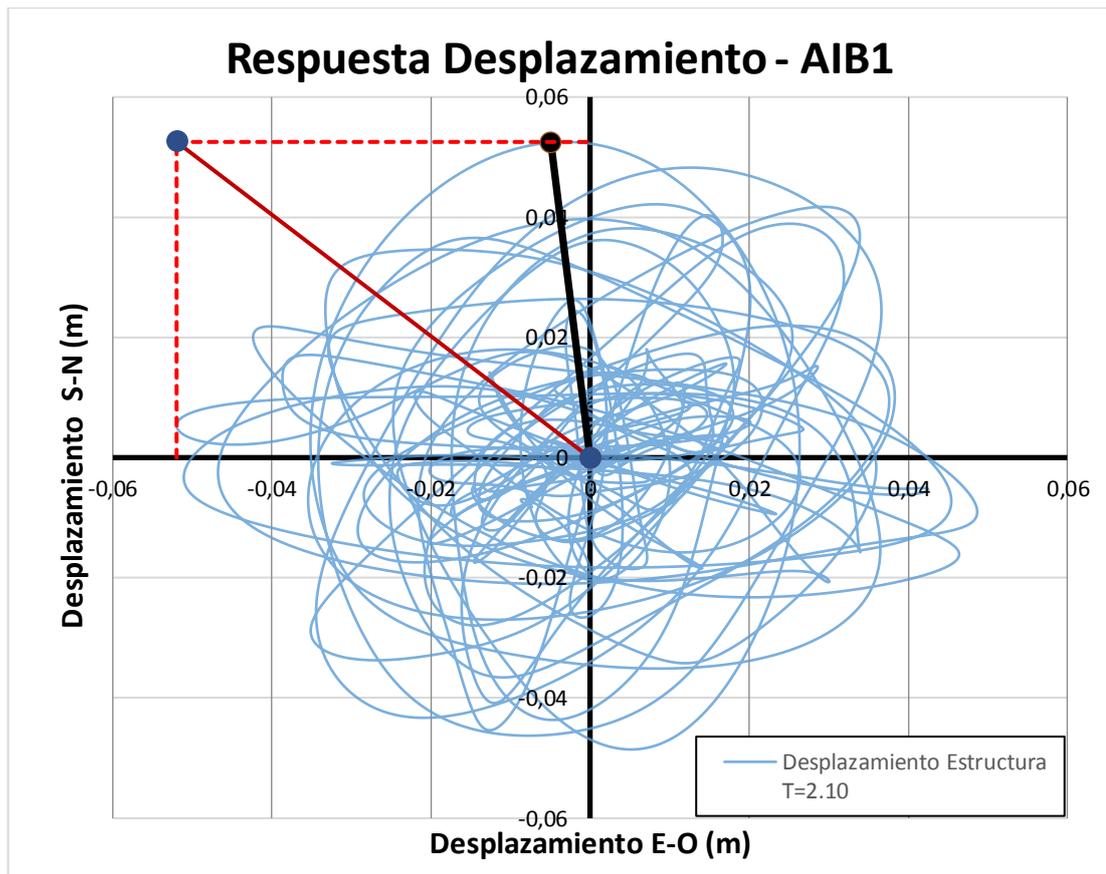
La mayor diferencia encontrada entre los métodos de combinación de componentes horizontales fue para la estación AIB1 cuyo valor de F resulto igual a 1.41. En la gráfica 18 se muestra el valor de F para diferentes valores de T correspondientes a la estación AIB1. Como puede notarse, el máximo valor de F (1.41) corresponde a un periodo de 2.10 seg.



Gráfica 18 Valores de F de la respuesta de desplazamiento correspondiente al registro AIB1 según el periodo de vibración de la estructura

Si analizamos la respuesta de desplazamiento para un periodo de 2,10 seg (ver grafica 19) podemos notar la causa de esta diferencia. La respuesta de desplazamiento se asemeja a una circunferencia y las máximas respuestas de cada dirección coinciden con los ejes NS y EO con los cuales fue alineado el acelerógrafo.

Dado que las máximas respuestas para cada componente horizontal son muy parecidas (0.05 m), la raíz de la suma de los cuadrados es similar a $0.05 \sqrt{2}$ o 0.05 (1.41). Siendo el comportamiento similar a una circunferencia el máximo desplazamiento real sería igual al radio, 0.05 m, y por ende la diferencia entre el método SRSS del ASCE con el método propuesto en este trabajo resulta en un valor de F igual a 1.41.



Gráfica 19 Respuesta de desplazamiento $T=2.10$ segundos

De este análisis podemos concluir que el máximo valor de F posible sería de 1.41 y el menor sería igual a 1.0.

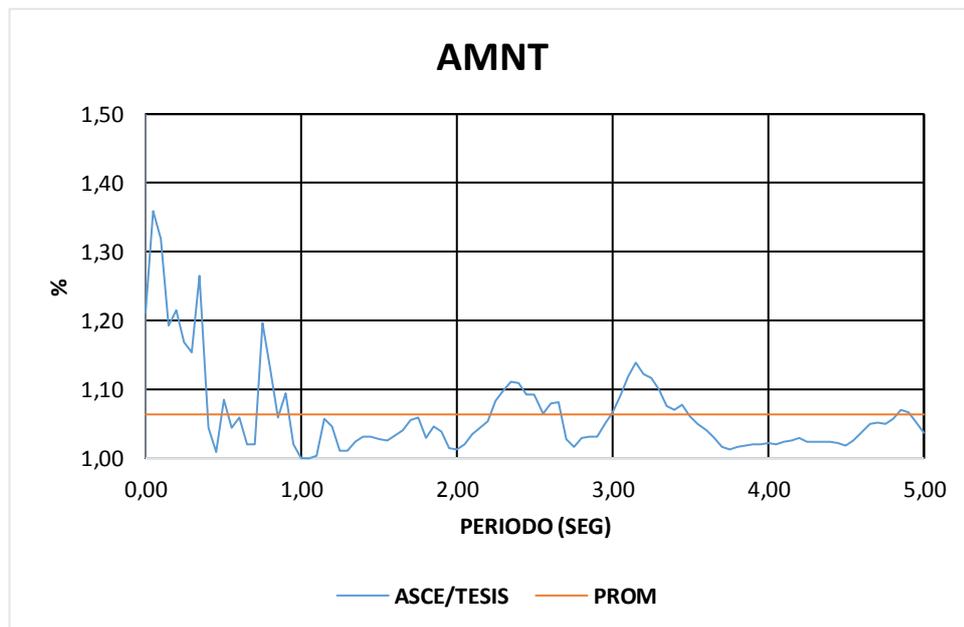
6.5 Casos con respuestas similares para ambos métodos de combinación de componentes horizontales.

En esta sección se estudió los casos donde ambos métodos de combinación dieron resultados similares, para identificar en qué situaciones no habría diferencias en la aplicación de estos métodos.

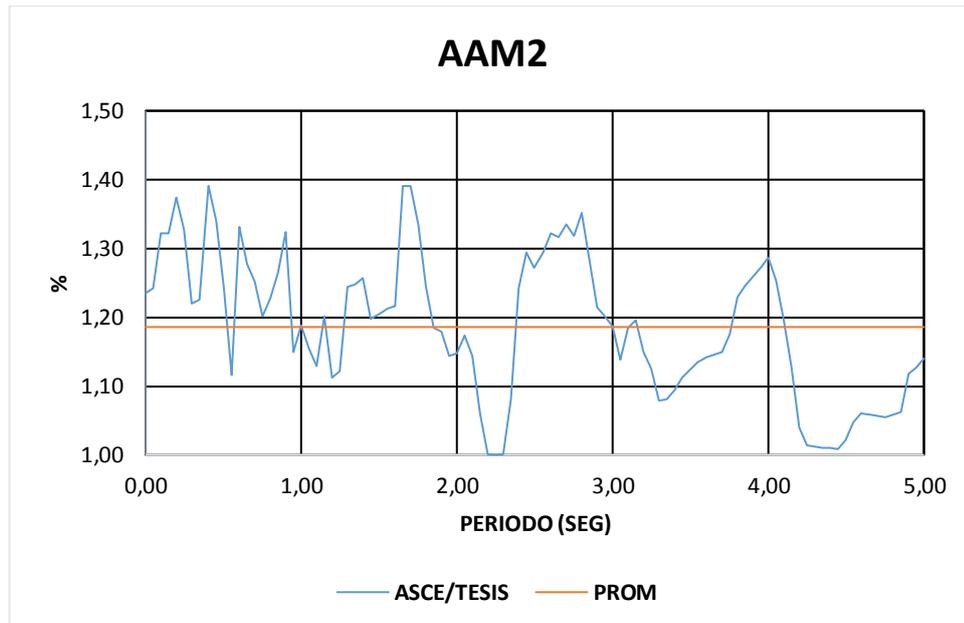
Como se mencionó anteriormente, el método SRSS del ASCE 7 siempre da resultados mayores al método propuesto en este trabajo, por lo tanto un caso extremo es cuando el valor de F (relación entre las respuestas de ambos métodos) da igual a 1.0.

En las gráficas 20 y 21 se presentan los valores de F para los registros AMNT y AAM2, que corresponden a las ciudades de Manta y Ambato respectivamente.

De la gráfica 20 (AMNT) se puede notar que el valor de F igual a 1 se da para $T=1.0\text{seg}$, en cambio de la gráfica 21 (AAM2) la similitud se da para un periodo de 2.25seg .



Gráfica 20 Valores de F de la respuesta de desplazamiento para el registro AMNT para periodos entre 0 y 5 segs.

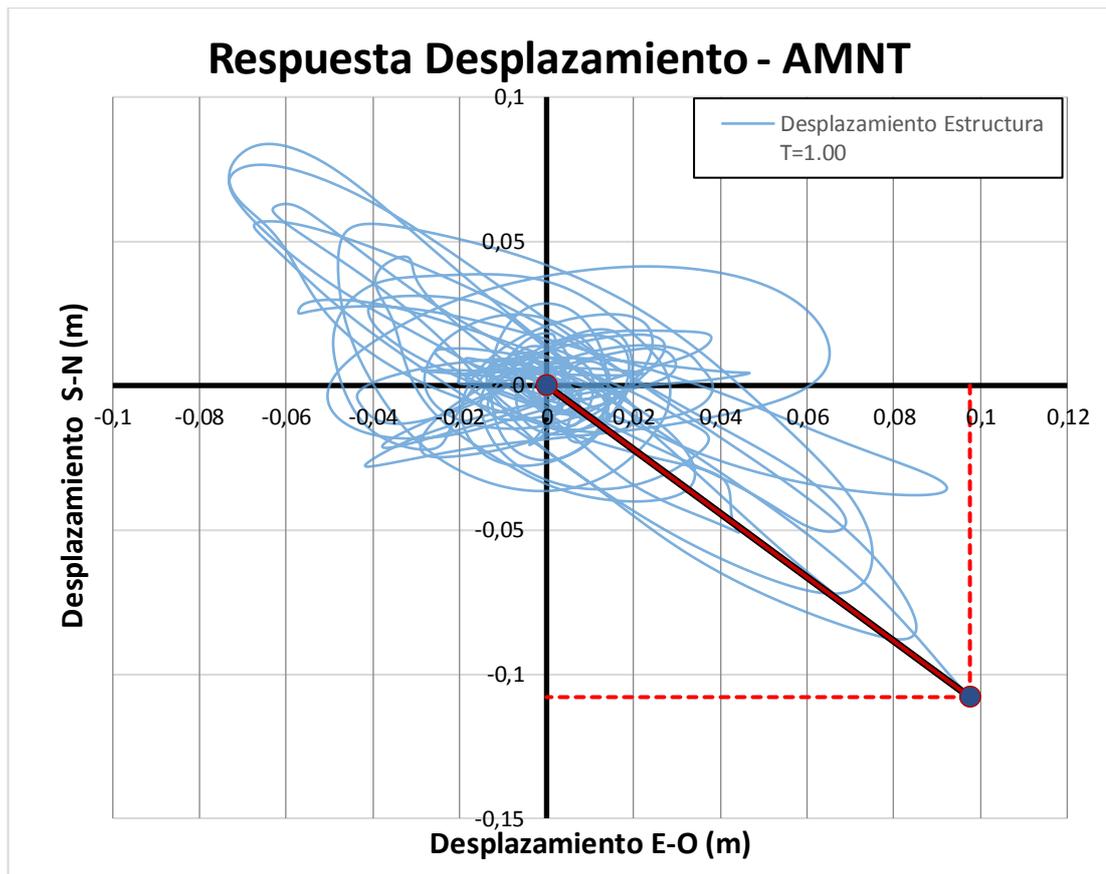


Gráfica 21 Valores de F de la respuesta de desplazamiento para el registro AAM2 para periodos entre 0 y 5 segs.

Analizando la respuesta de desplazamiento para estos 2 casos encontramos lo siguiente:

En la Gráfica 22 se muestra la respuesta de desplazamiento de una estructura de periodo natural de vibración de 1.0 seg y amortiguamiento crítico de 5% sometido a las componentes horizontales del registro AMNT.

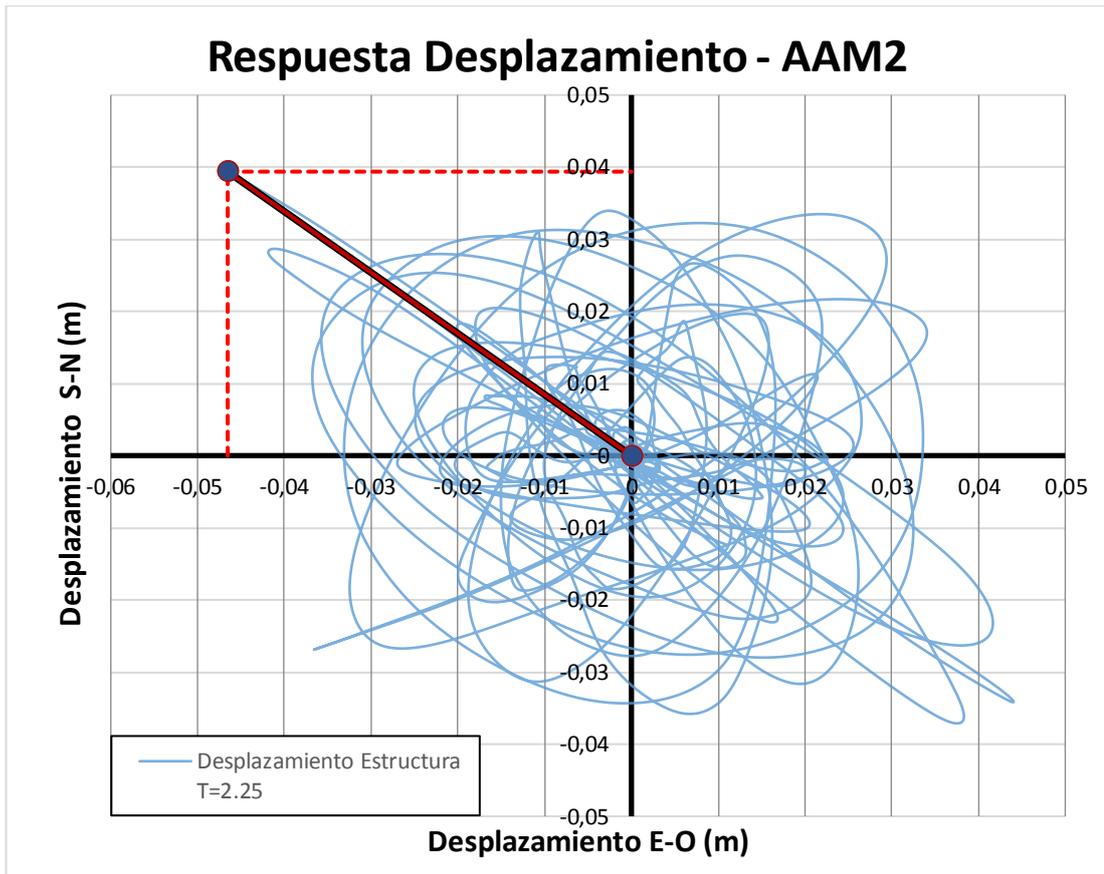
Aquí se puede observar que la respuesta tiene una forma elíptica, y aún cuando los máximos de cada dirección no son iguales, estos se dan simultáneamente para el mismo tiempo. Esto permite que la raíz de la suma de los cuadrados (SRSS) coincida con el resultado aplicando el método propuesto en este trabajo.



Gráfica 22 Respuesta de desplazamiento $T=1.00$ segundo

Por otro lado, en la Gráfica 23 se muestra la respuesta de desplazamiento de una estructura de periodo natural de vibración de 2.25seg y amortiguamiento crítico de 5% sometido a las componentes horizontales del registro AAM2,

En esta gráfica se observa que el comportamiento (respuesta) de la estructura tiene una forma más circular; sin embargo, el máximo desplazamiento se sale de este patrón y genera los máximos desplazamientos de ambos sentidos al mismo tiempo. Nuevamente, esto produce que la combinación SRSS de resultados similares al propuesto en este trabajo.



Gráfica 23 Respuesta de desplazamiento $T=2.25$ segundos

6.6 Casos donde existen similitud entre espectro obtenido por el método propuesto y el espectro de una de las componentes del registro sísmico

Los registros mostrados en la tabla 12, es donde se encontró que PGA de la combinación propuesta coincide con el PGA de una de las componentes horizontales de los registros, en la zona de PGA menores a 0.20 g es donde mayores números de registros se encontraron.

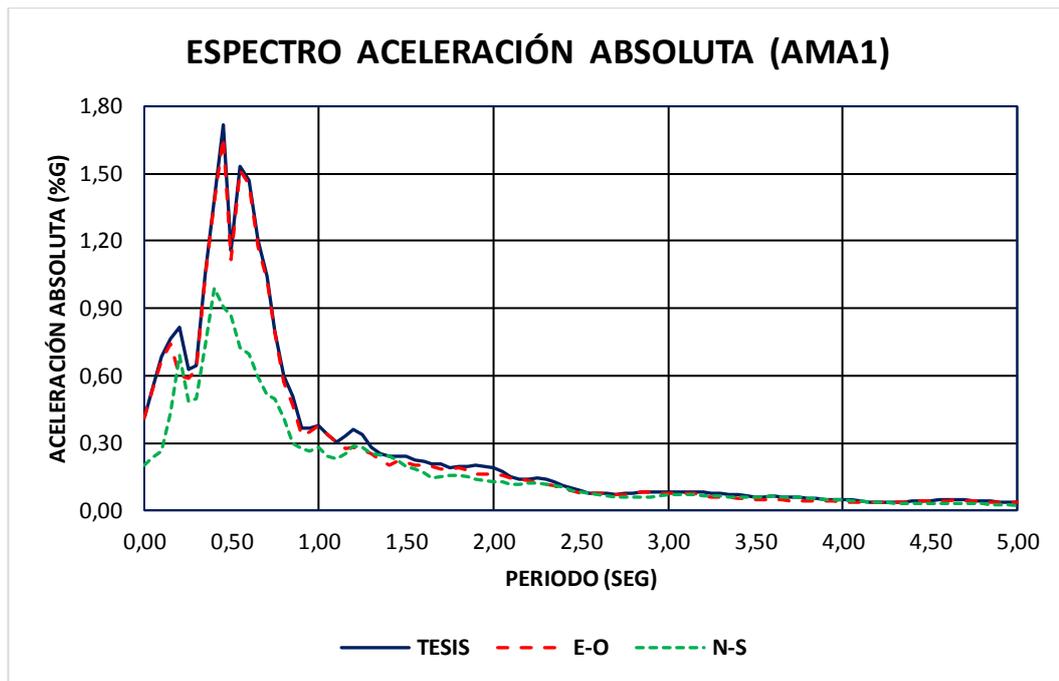
En la Tabla 12 se muestran los registros para los cuales se obtuvo un valor de PGA, usando el método propuesto en este trabajo, con el PGA de una de las componentes horizontales del registro sísmico.

Tabla 12 Registros donde existe similitud entre el método estudiado y una de sus componentes

CIUDAD	ESTACIÓN	PGA E-O (%G)	PGA N-S (%G)	PGA PROPUESTO (%G)
TULCÁN	ATUL	0.016	0.021	0.021
SAN LORENZO	ALOR	0.026	0.027	0.027
LATACUNGA	ALAT	0.032	0.028	0.032
IBARRA	AIB2	0.021	0.033	0.033
CUENCA	ACUE	0.036	0.030	0.036
AMBATO	AAM2	0.026	0.035	0.036
IBARRA	AIB1	0.049	0.058	0.059
	APR2	0.096	0.107	0.107
ESMERALDAS	AES2	0.154	0.111	0.155
	AMA1	0.411	0.200	0.411

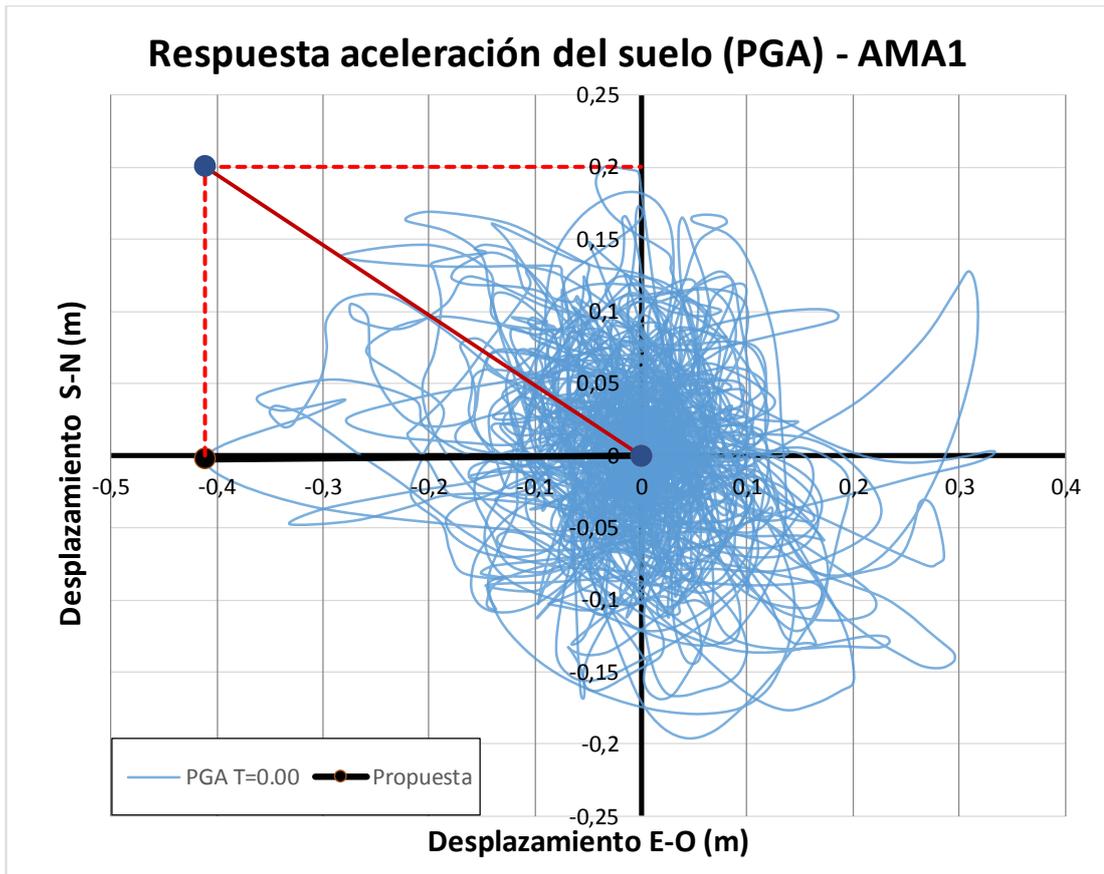
Como ejemplo, en la gráfica 24 se muestran los espectros de aceleraciones absolutas (aproximado al pseudo-aceleraciones) de las componentes horizontales del registro AMA1 y el espectro de la combinación de las componentes horizontales por el método propuesto en este trabajo.

Se puede notar que el espectro de respuesta en el sentido Este-Oeste se asemeja bastante con el espectro de respuesta de la combinación propuesta por este trabajo de titulación.



Gráfica 24 Comparación de los espectros de cada componente con el de la combinación propuesta

En la gráfica 25 se muestra la respuesta de aceleración absoluta del registro AMA1 para un periodo de 0.0 seg. El máximo valor de aceleración coincide con la dirección Oeste de la estructura, y por ende el valor máximo de aceleración para esta componente (línea negra) es también el valor máximo de la respuesta bidireccional (método propuesto).



Gráfica 25 Respuesta de aceleración del suelo (PGA) de AMA1

Puede notarse, además, que la aplicación del método SRSS en este caso resultaría en una sobreestimación de la respuesta, ya que el valor máximo obtenido para la dirección E-O se combinaría con la máxima respuesta en dirección N-S, dando una resultante mucho mayor a la repuesta máxima real (línea roja).

CAPÍTULO 7

7 Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

- El método propuesto en este trabajo de titulación para la combinación de componentes horizontales de registros es un método más racional ya que calcula la verdadera respuesta máxima bidireccional tomando en cuenta el tiempo en que esta se produce.
- El método SRSS del ASCE7 sobre estima la respuesta máxima esperada. La sobreestimación de los resultados puede llegar hasta un máximo de 41%. En el mejor de los casos el método SRSS resulta en resultados similares a los propuestos en este estudio ($F=1$)
- Las mayores diferencias entre los métodos de combinación (valores altos de F) se dieron para registros con menores valores de PGA.
- Las mayores diferencias entre los métodos de combinación (valores altos de F) se dieron, en general, para registros más lejanos a la falla.
- Se descubrió que la forma de la respuesta (circular o elíptica) influía más en la diferencia de los métodos que el PGA o la distancia a la falla.
- Respuestas con forma circular generaban mayores diferencias entre los métodos de combinación (valores altos de F) y respuestas elípticas repuestas similares entre ambos métodos ($F=1.0$).
- No se estudió a profundidad, pero de las conclusiones anteriores se estableció la conexión entre los registros cercanos a la falla y la forma elíptica de las repuestas. Los efectos de direccionalidad para sismo cercanos puede ser la causa de esta conexión.

7.2 Recomendaciones

- Estudiar las diferencias del método propuesto con el método SRSS del ASCE7 para registros de otras partes del mundo.
- Estudiar la influencia del amortiguamiento en la diferencias del uso de los métodos.
- Modificar el código de Matlab utilizado de tal forma que el usuario pueda escoger un método numérico de análisis diferente a Newmark Aceleración Lineal.
- Estudiar la influencia de la inelasticidad de las estructuras en los métodos de combinación de registros.

REFERENCIAS

Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de Estructuras*. Berkeley: PEARSON EDUCACIÓN.

ASCE 7 (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.

INSTITUTO GEOFÍSICO ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL..
<http://www.igepn.edu.ec/infomes-sismicos/sismicos-especiales/sism-e-2016/14805-informe-sismico-especial-n-18-2016/file>.

NEC (2015). Norma ecuatoriana de la construcción

ANEXOS

En los anexos a continuación se muestra el programa realizado en el desarrollo de este trabajo de titulación, además se muestran los resultados calculados para todos los registros de aceleraciones obtenidos del sismo del 16 de Abril del 2016.

Programa en Matlab

```
%Espectros de respuesta elásticos (Método de Newmark-Lineal)
dt=input('Ingrese dt: ');
tf=input('Ingrese el Periodo Final: ');
paso=input('Ingrese el "paso": ');
fin=tf/paso;
[VCol_EO] = Peer_Vcol(AMNTE);
[VCol_NS] = Peer_Vcol(AMNTN);
[mx,nx]=size(VCol_EO);
[my,ny]=size(VCol_NS);
tx=0:dt:mx*dt-dt;
ty=0:dt:my*dt-dt;
subplot(2,1,1);
plot(tx,VCol_EO);
title('Registro en Sentido EO');
xlabel('Tiempo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Aceleración (m/seg^2)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
subplot(2,1,2);
plot(ty,VCol_NS);
title('Registro en Sentido NS');
xlabel('Tiempo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Aceleración (m/seg^2)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
hold on
figure()
dEO=zeros(mx,fin);
vEO=zeros(mx,fin);
aEO=zeros(mx,fin);
atot_EO=zeros(mx,fin);
dNS=zeros(my,fin);
vNS=zeros(my,fin);
aNS=zeros(my,fin);
atot_NS=zeros(my,fin);
p=1;
global T
for T=0.05:0.05:tf
    [dEOi,vEOi,aEOi] = Newmark_lineal(VCol_EO);
    dEO(:,p)=dEOi;
    vEO(:,p)=vEOi;
```

```

        aEO(:,p)=aEOi;
        atot_EO(:,p)=aEOi;
        [dNSi,vNSi,aNSi] = Newmark_lineal(VCol_NS);
        dNS(:,p)=dNSi;
        vNS(:,p)=vNSi;
        aNS(:,p)=aNSi;
        atot_NS(:,p)=aNSi;
        p=p+1;
    end
    atot_EO=atot_EO+VCol_EO;
    atot_NS=atot_NS+VCol_NS;
    clear dEOi;
    clear dNSi;
    clear vEOi;
    clear vNSi;
    clear aEOi;
    clear aNSi;
    clear T;
    clear p;
    d_COMB=sqrt(dEO.^2+dNS.^2);
    v_COMB=sqrt(vEO.^2+vNS.^2);
    a_COMB=sqrt(aEO.^2+aNS.^2);
    atot_COMB=sqrt(atot_EO.^2+atot_NS.^2);
    espec_a=zeros(1,fin);
    espec_v=zeros(1,fin);
    espec_d=zeros(1,fin);
    espec_atot=zeros(1,fin);

    espec_aNS=zeros(1,fin);
    espec_vNS=zeros(1,fin);
    espec_dNS=zeros(1,fin);
    espec_aNS_tot=zeros(1,fin);
    espec_aEO=zeros(1,fin);
    espec_vEO=zeros(1,fin);
    espec_dEO=zeros(1,fin);
    espec_aEO_tot=zeros(1,fin);
    for i=1:100
        espec_aNS(1,i)=max(abs(aNS(:,i)));           %Método propuesto
        espec_vNS(1,i)=max(abs(vNS(:,i)));           %Método propuesto
        espec_dNS(1,i)=max(abs(dNS(:,i)));           %Método propuesto
    end

```

```

    espec_aNS_tot(1,i)=max(abs(atot_NS(:,i))); %Método propuesto
    espec_aEO(1,i)=max(abs(aEO(:,i)));      %Método propuesto
    espec_vEO(1,i)=max(abs(vEO(:,i)));      %Método propuesto
    espec_dEO(1,i)=max(abs(dEO(:,i)));      %Método propuesto
    espec_aEO_tot(1,i)=max(abs(atot_EO(:,i))); %Método propuesto
    espec_a(1,i)=max(abs(a_COMB(:,i)));      %Método propuesto
    espec_v(1,i)=max(abs(v_COMB(:,i)));      %Método propuesto
    espec_d(1,i)=max(abs(d_COMB(:,i)));      %Método propuesto
    espec_atot(1,i)=max(abs(atot_COMB(:,i))); %Método propuesto
end

SRSS_d=sqrt(espec_dNS.^2+espec_dEO.^2);      %Método de la norma
SRSS_v=sqrt(espec_vNS.^2+espec_vEO.^2);      %Método de la norma
SRSS_a=sqrt(espec_aNS.^2+espec_aEO.^2);      %Método de la norma
SRSS_atot=sqrt(espec_aNS_tot.^2+espec_aEO_tot.^2); %Método de la norma

subplot(4,1,1)
plot(0.05:0.05:5,espec_a)
title('Espectro de Aceleraciones');
xlabel('Periodo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Aceleración (m/seg^2)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
hold on
plot(0.05:0.05:5,SRSS_a,'r')
legend('Propuesto','Norma')
subplot(4,1,2);
plot(0.05:0.05:5,espec_v)
title('Espectro de Velocidades');
xlabel('Periodo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Velocidad (m/seg)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
hold on
plot(0.05:0.05:5,SRSS_v,'r')
legend('Propuesto','Norma')
subplot(4,1,3);
plot(0.05:0.05:5,espec_d)
title('Espectro de Desplazamientos');
xlabel('Periodo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Desplazamiento (m)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
hold on
plot(0.05:0.05:5,SRSS_d,'r')
legend('Propuesto','Norma')
subplot(4,1,4);
plot(0.05:0.05:5,espec_atot)

```

```

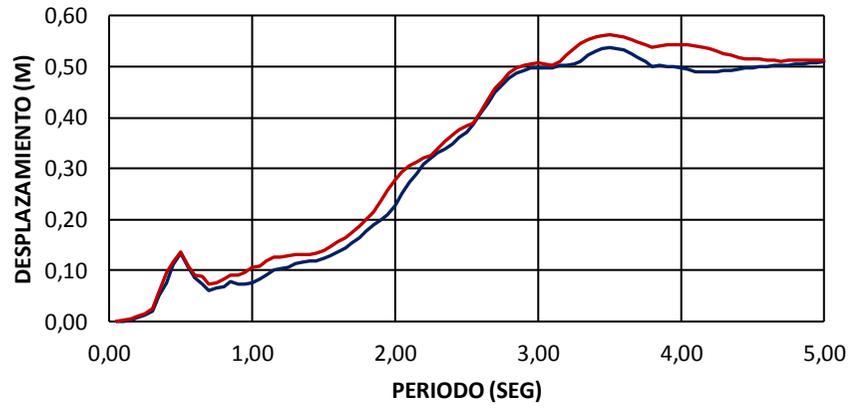
title('Espectro de Aceleraciones totales');
xlabel('Periodo (Segundos)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
ylabel('Aceleración (m/seg^2)','fontSize',10, 'fontName', 'Calibri', 'fontWeight', 'bold');
hold on
plot(0.05:0.05:5,SRSS_atot,'r')
legend('Propuesto','Norma')
Exportación de Resultados
resultados=zeros(fin,9);
paso1=paso;
for i=1:fin
    resultados(i,1)=paso1;
    paso1=paso1+paso;
end
resultados(:,2)=SRSS_d;
resultados(:,3)=espec_d;
resultados(:,4)=SRSS_v;
resultados(:,5)=espec_v;
resultados(:,6)=SRSS_a;
resultados(:,7)=espec_a;
resultados(:,8)=SRSS_atot;
resultados(:,9)=espec_atot;
%ESPECTROS DE LA NORMA
spec=zeros(fin,4);
paso1=paso;
for i=1:fin
    spec(i,1)=paso1;
    paso1=paso1+paso;
end
spec(:,2)=espec_dEO;
spec(:,3)=espec_dNS;
spec(:,4)=espec_aEO_tot;
spec(:,5)=espec_aNS_tot;

```

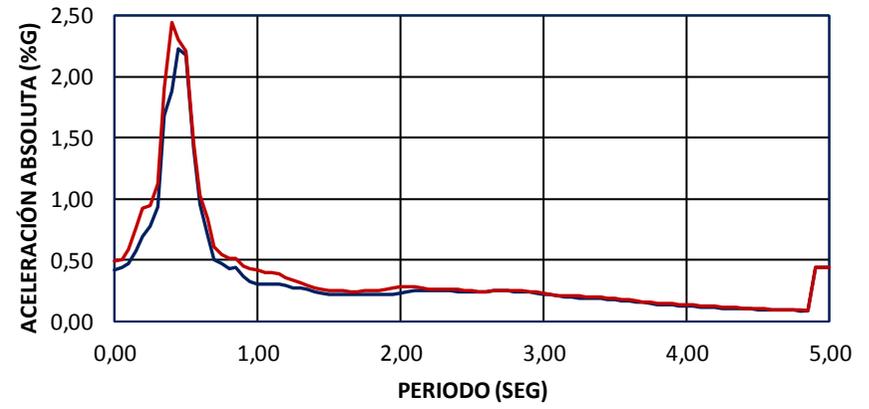
Newmark Lineal

```
function [d,v,a] = Newmark_lineal(VCol)
%Esta función calcula las respuesta de aceleración, velocidad y
%desplazamiento según el método de Newmark lineal
    gamma=0.5;
    beta=0.25;
    dt=0.01;
    amortiguamiento=0.05;
    global T
    wn=2*pi/T;
    di=0;
    vi=0;
    ai=(-VCol(1,1))-(2*amortiguamiento*wn*vi)-(wn^2)*di;
    d(1)=di;
    v(1)=vi;
    a(1)=ai;
    a1=(wn^2)+((gamma/(beta*dt))^2*amortiguamiento*wn)+(1/(beta*(dt^2)));
    a2=((gamma/(beta*dt))^2*amortiguamiento*wn)+(1/(beta*(dt^2)));
    a3=((1/(beta*dt))+((gamma/beta)-1)^2*amortiguamiento*wn);
    a4((((1/(2*beta))-1)+(dt*((gamma/(2*beta))-1)^2*amortiguamiento*wn)));
    [f,c]=size(VCol);
    d=zeros(f,c);
    v=zeros(f,c);
    a=zeros(f,c);
    for i=1:f-1
        d(i+1)=((-VCol(i+1))+(a2*d(i))+(a3*v(i))+(a4*a(i)))/a1;
        v(i+1)=(gamma/(beta*dt))*(d(i+1)-d(i))+(1-(gamma/beta))*v(i)+dt*(1-
(gamma/(2*beta)))*a(i);
        a(i+1)=(1/(beta*dt^2))*(d(i+1)-d(i))-(1/(beta*dt))*v(i)-((1/(2*beta))-1)*a(i);
    end
end
```

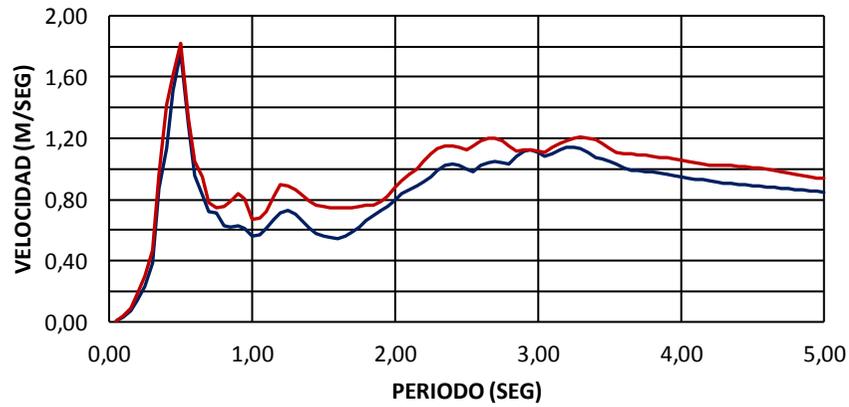
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (APO1)



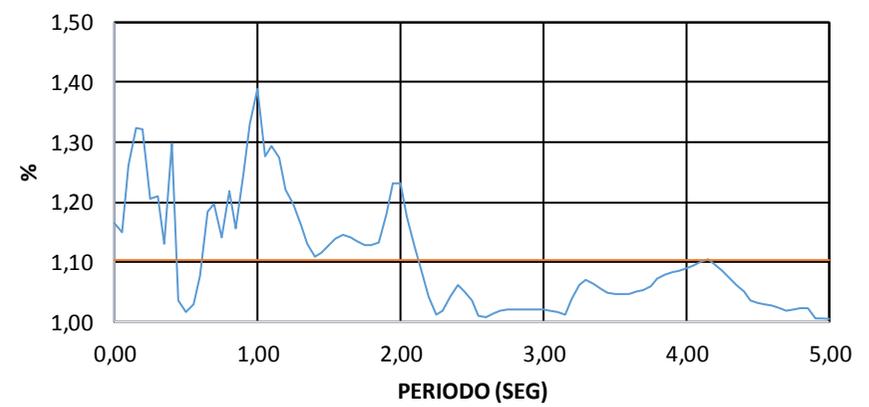
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (APO1)



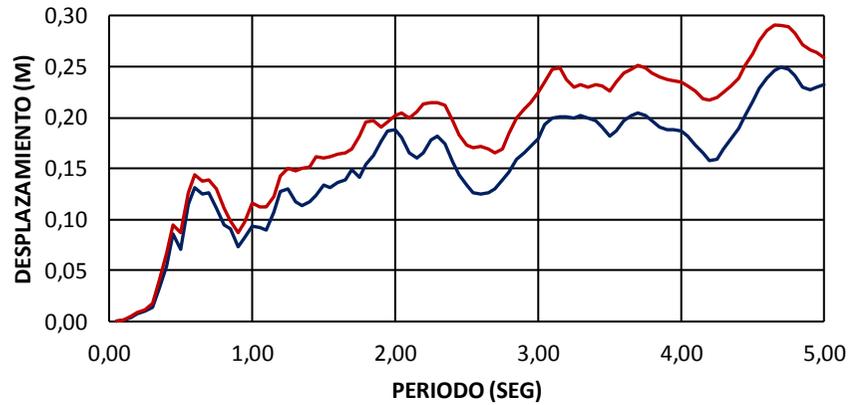
ESPECTRO DE VELOCIDAD (APO1)



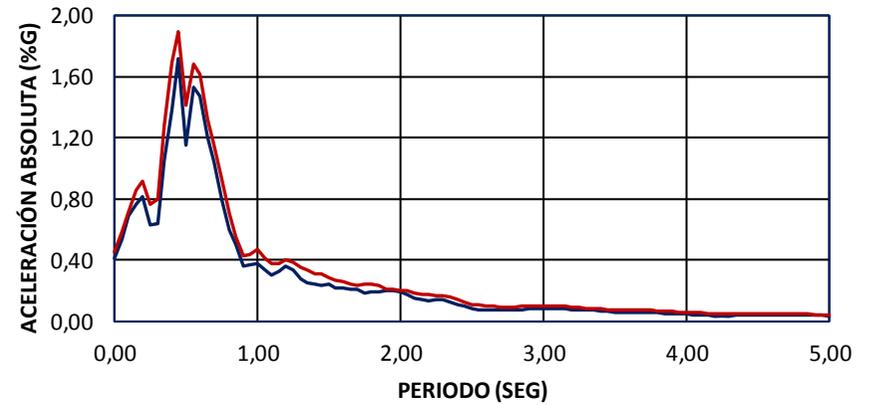
APO1



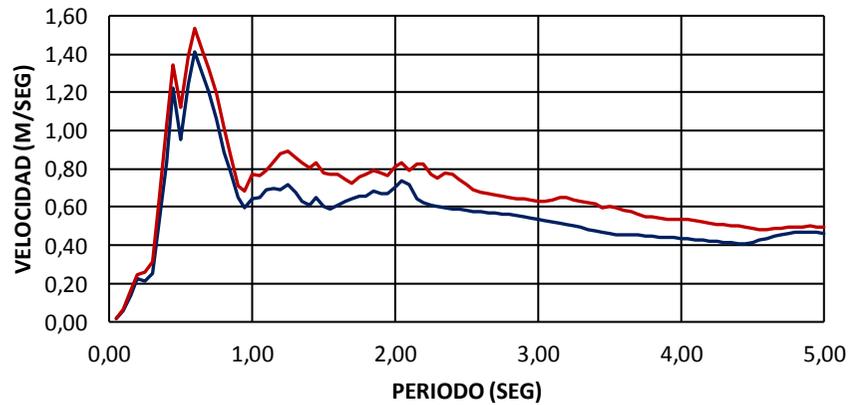
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (AMA1)



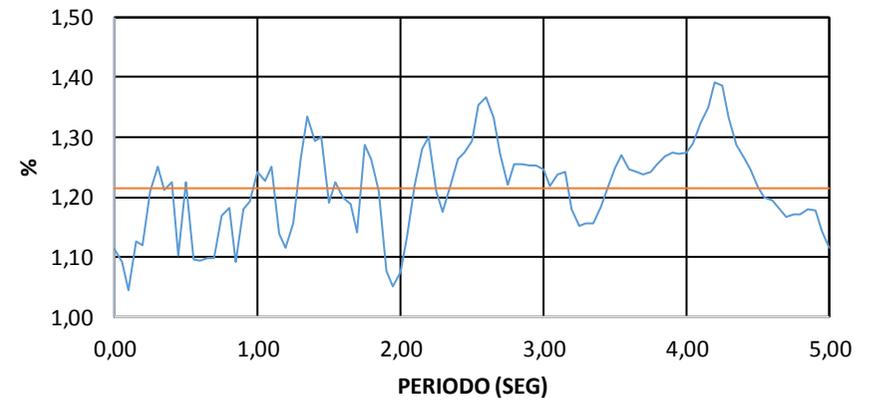
ESPECTRO ACCELERACIÓN ABSOLUTA (AMA1)



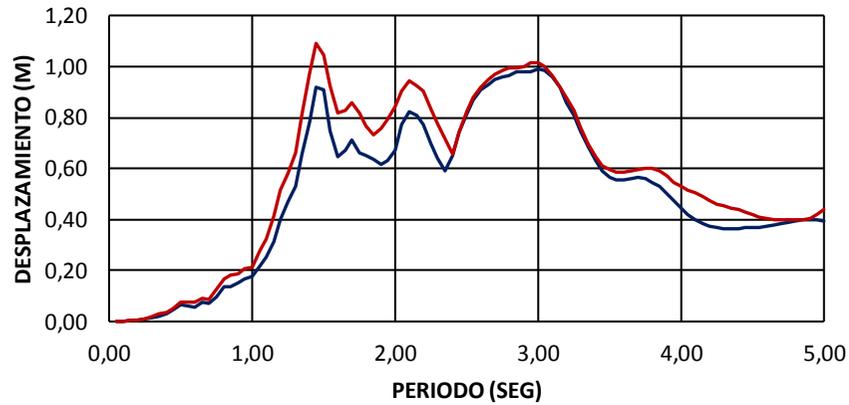
ESPECTRO DE VELOCIDAD (AMA1)



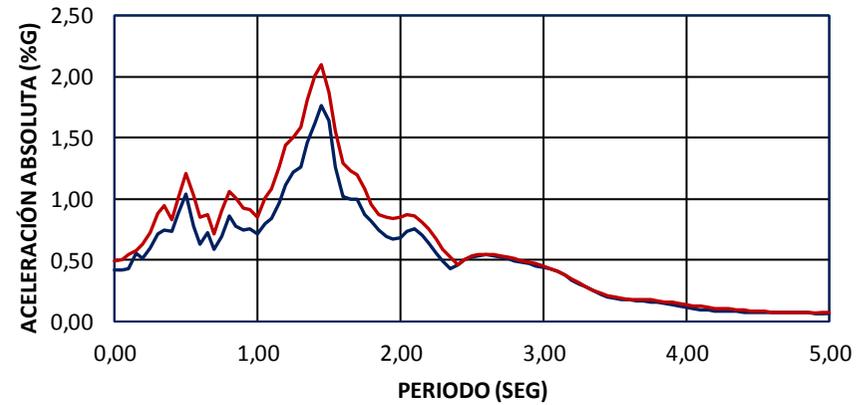
AMA1



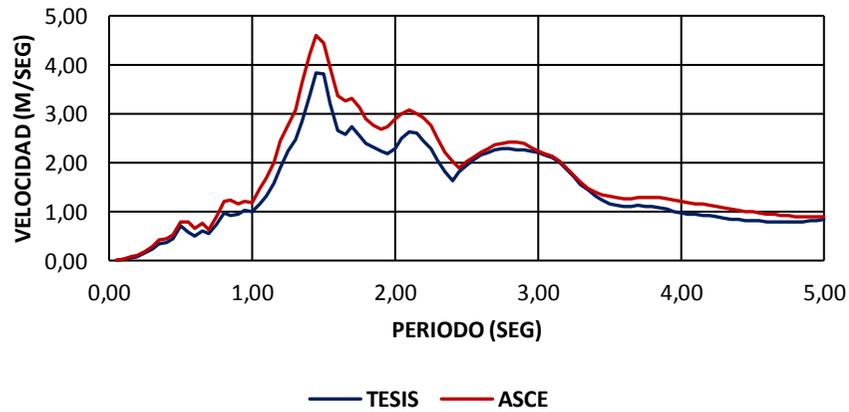
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (ACHN)



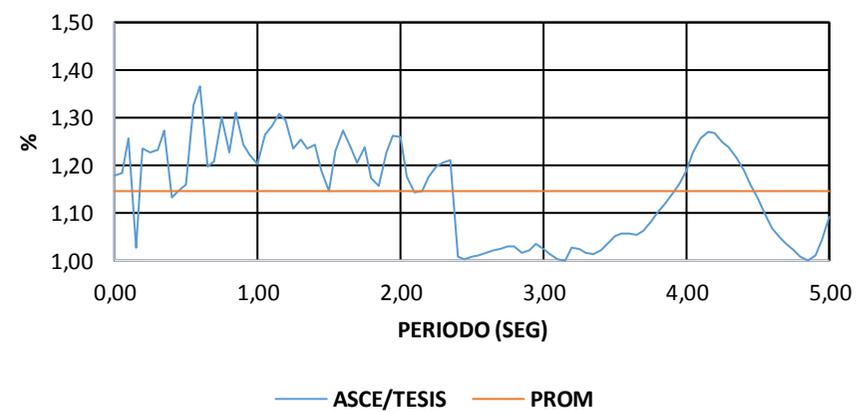
ESPECTRO ACCELERACIÓN ABSOLUTA (ACHN)



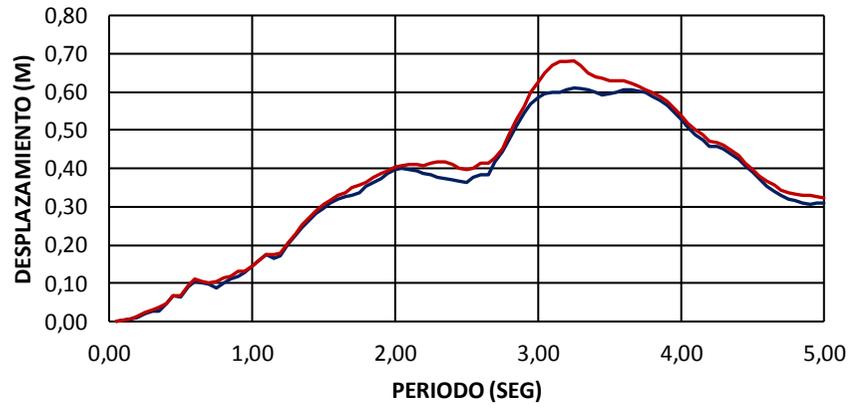
ESPECTRO DE VELOCIDAD (ACHN)



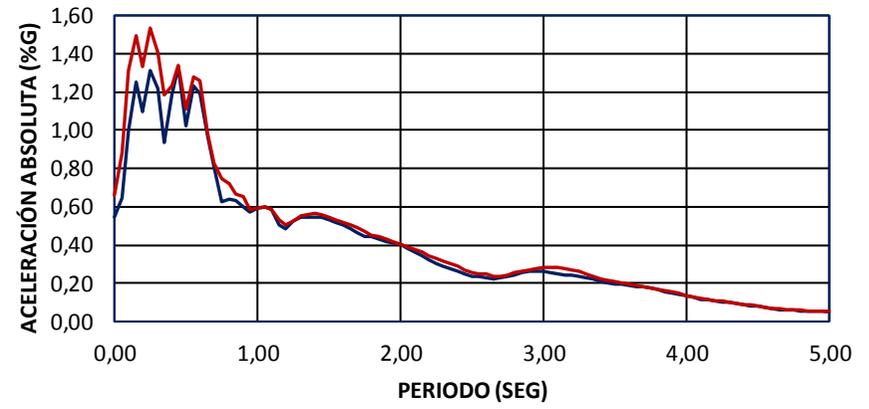
ACHN



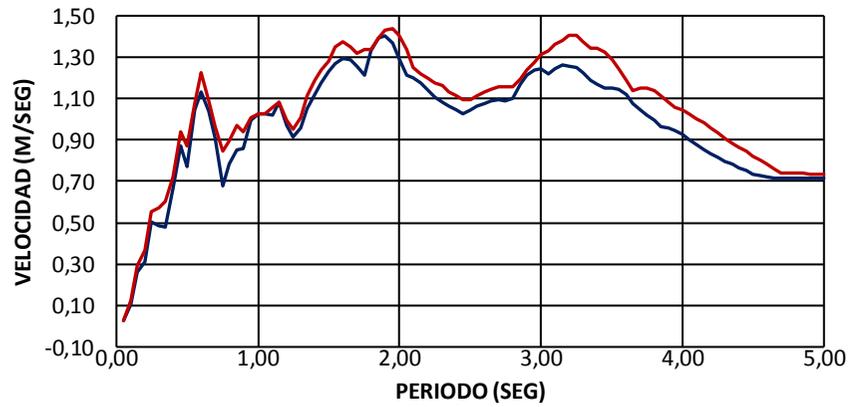
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (AMNT)



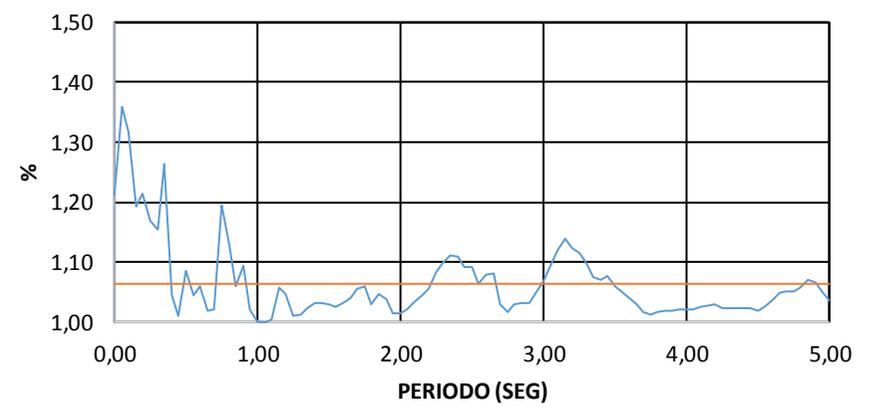
ESPECTRO ACCELERACIÓN ABSOLUTA (AMNT)



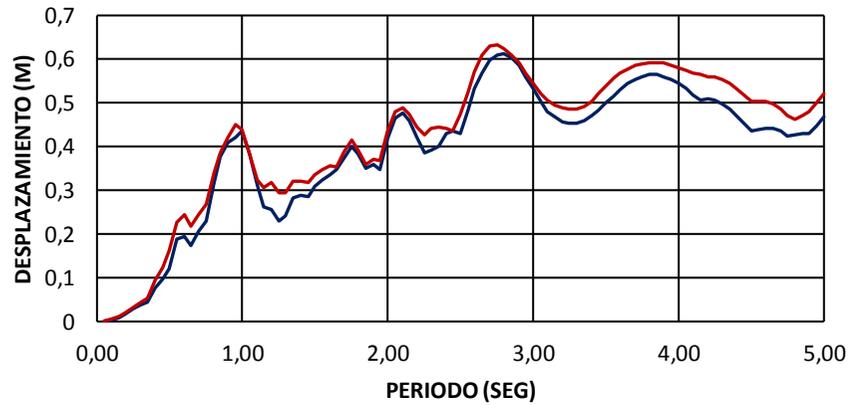
ESPECTRO DE VELOCIDAD (AMNT)



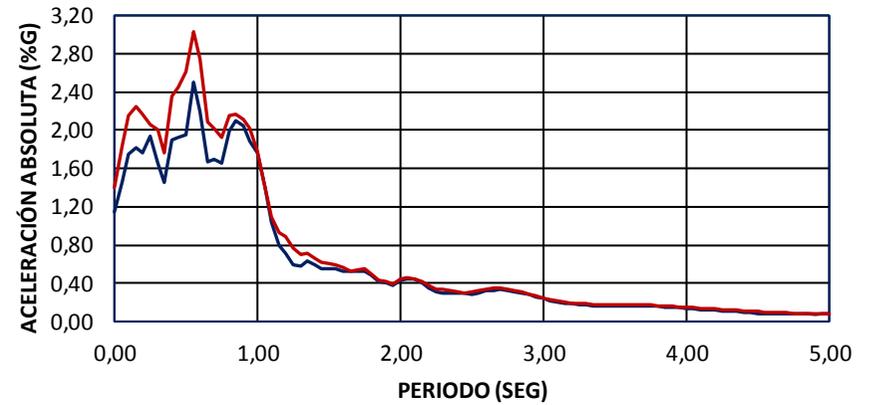
AMNT



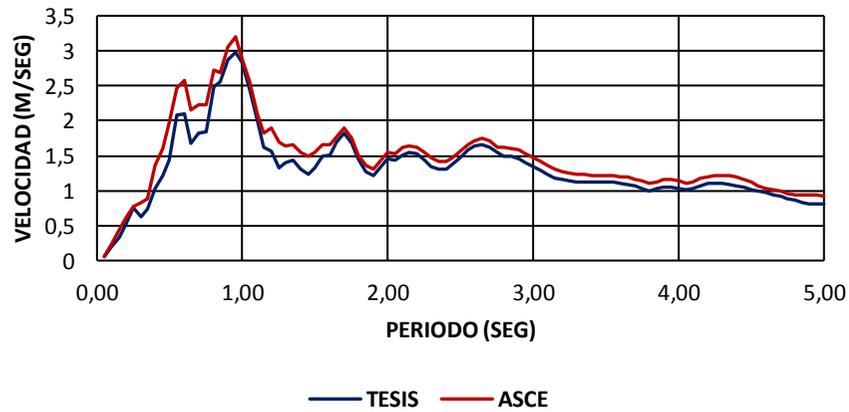
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (PDNS)



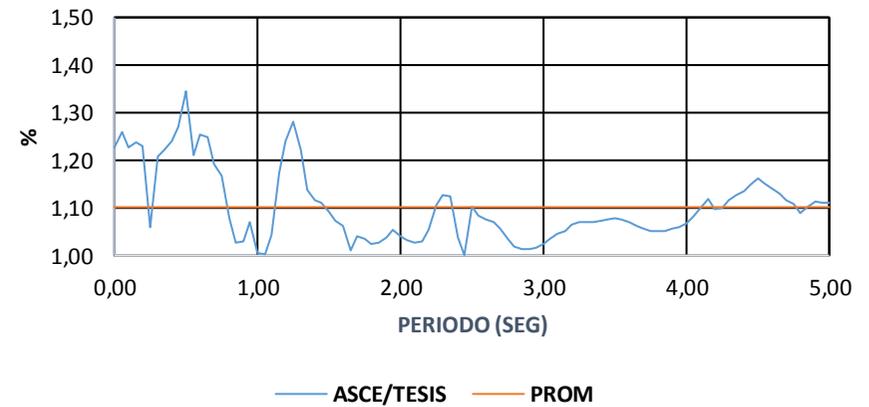
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (PDNS)



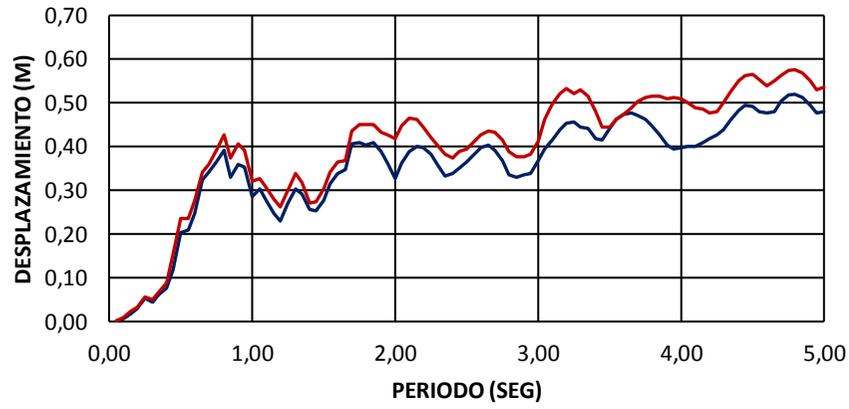
ESPECTRO DE VELOCIDAD (PDNS)



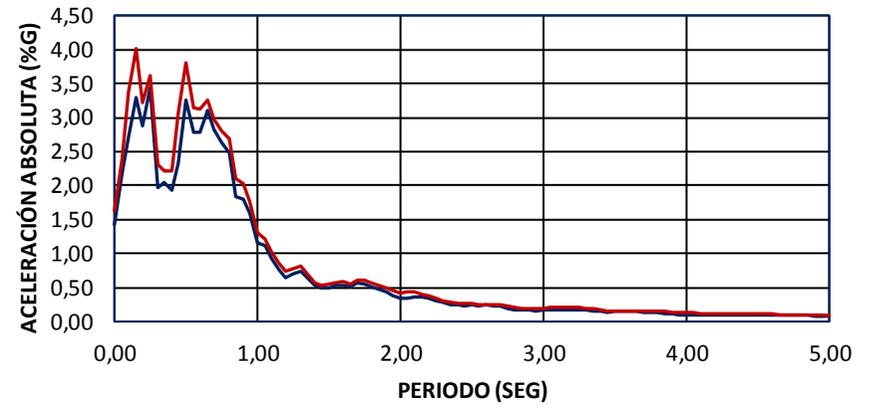
PDNS



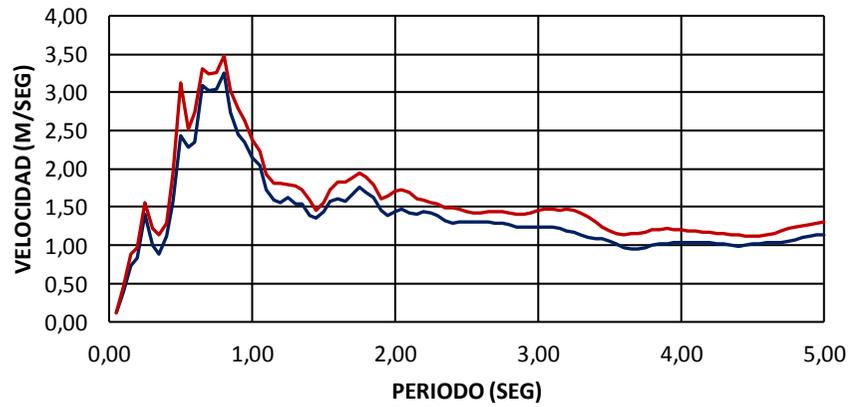
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (APED)



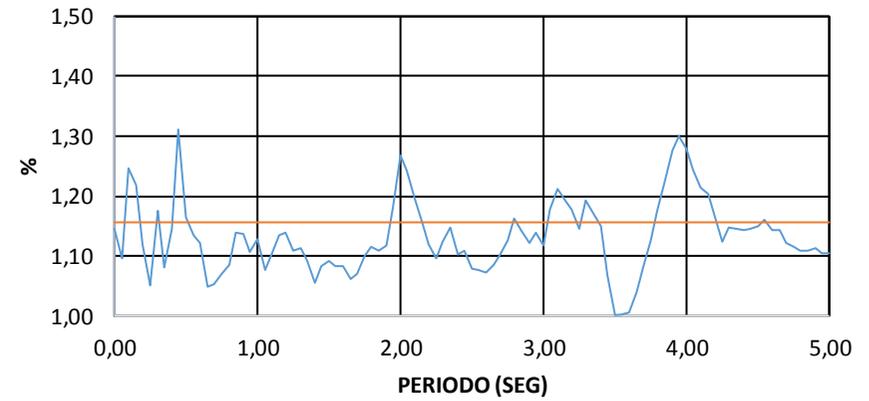
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (APED)



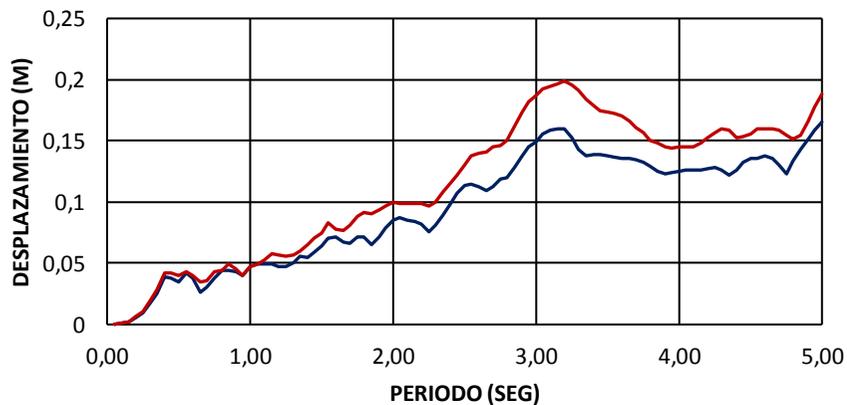
ESPECTRO DE VELOCIDAD (APED)



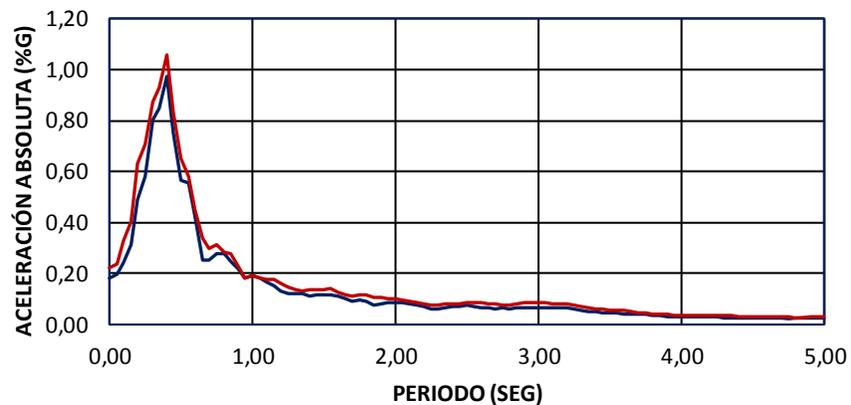
APED



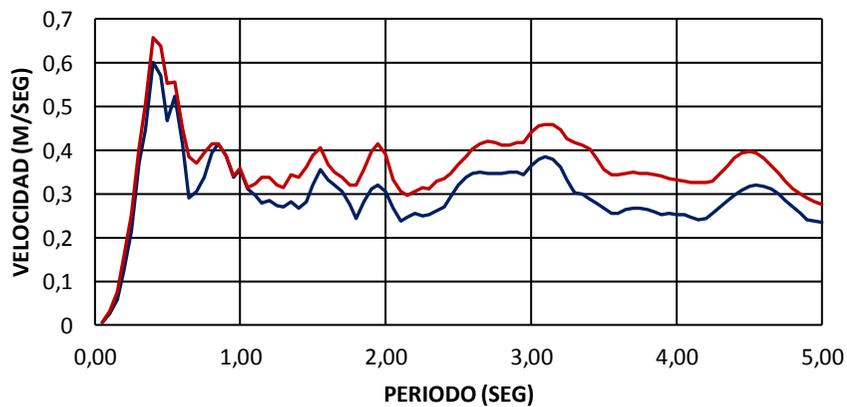
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (AV21)



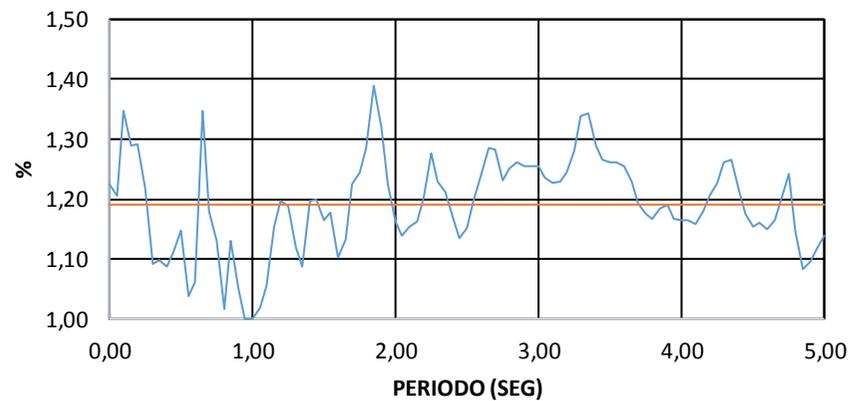
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (AV21)



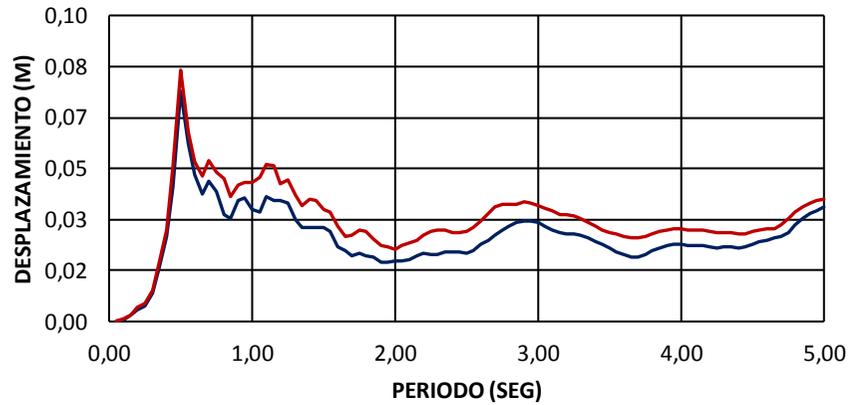
ESPECTRO DE VELOCIDAD (AV21)



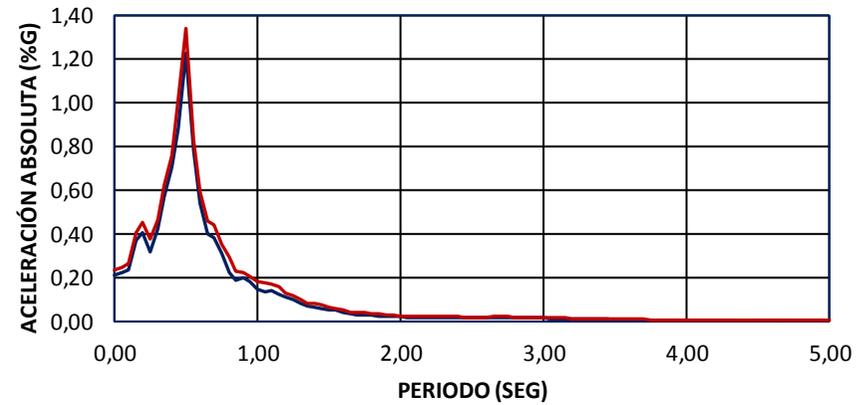
AV21



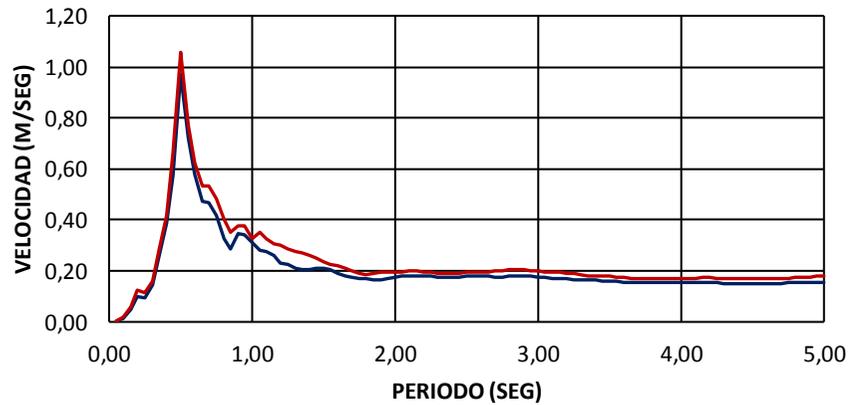
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (ASDO)



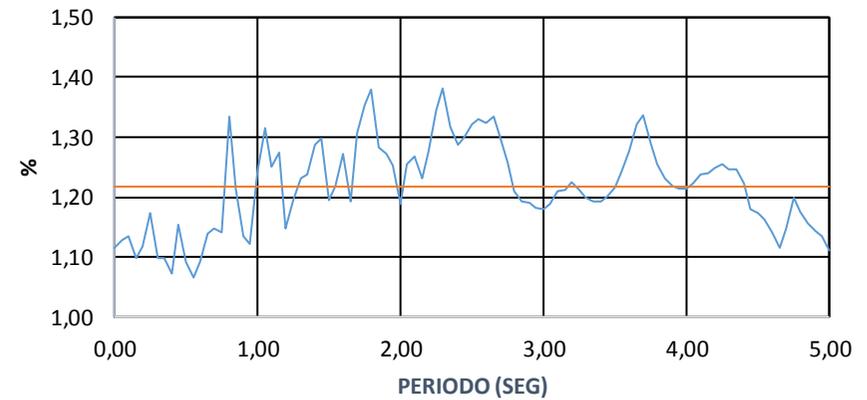
ESPECTRO ACCELERACIÓN ABSOLUTA (ASDO)



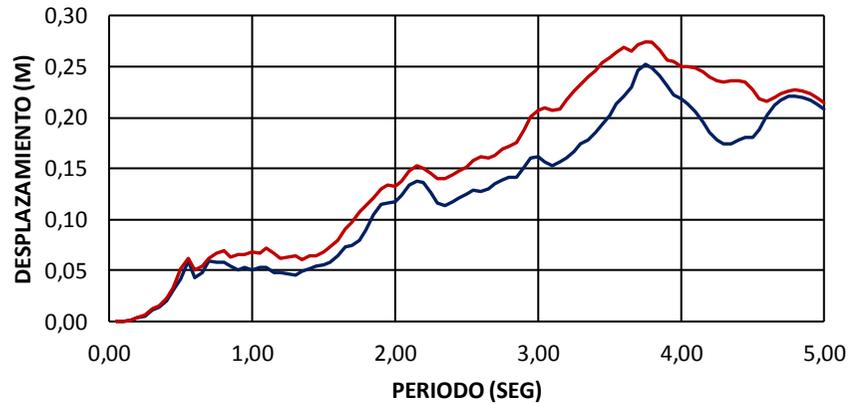
ESPECTRO DE VELOCIDAD (ASDO)



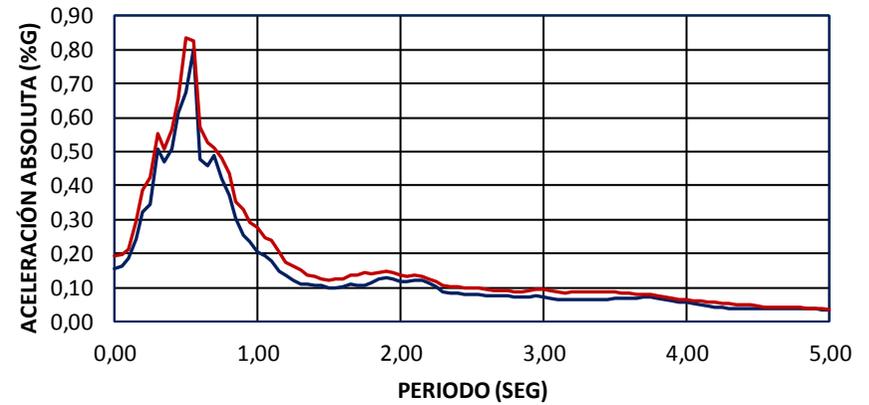
ASDO



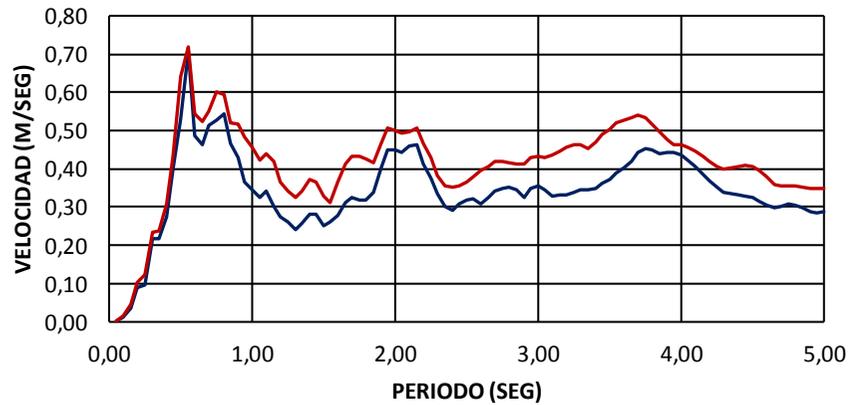
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (AV18)



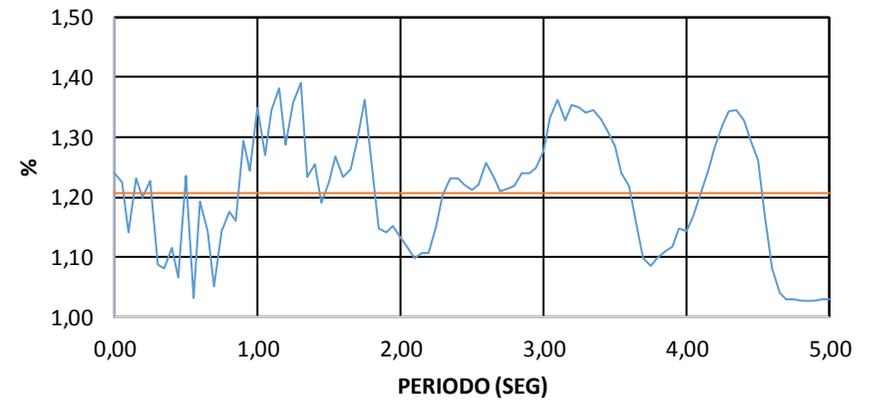
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (AV18)



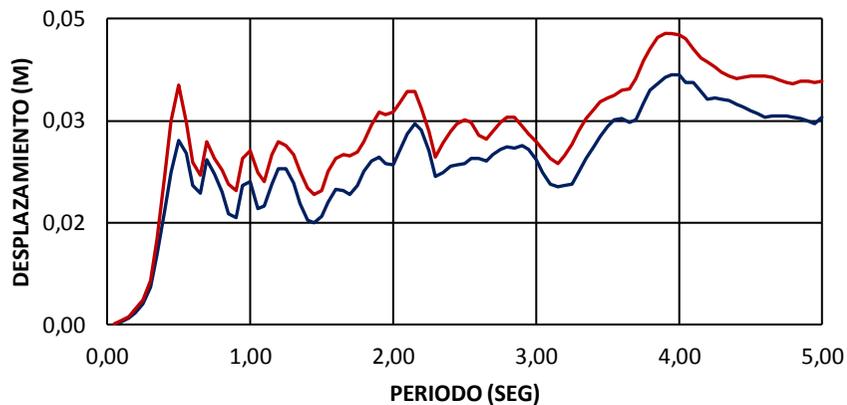
ESPECTRO DE VELOCIDAD (AV18)



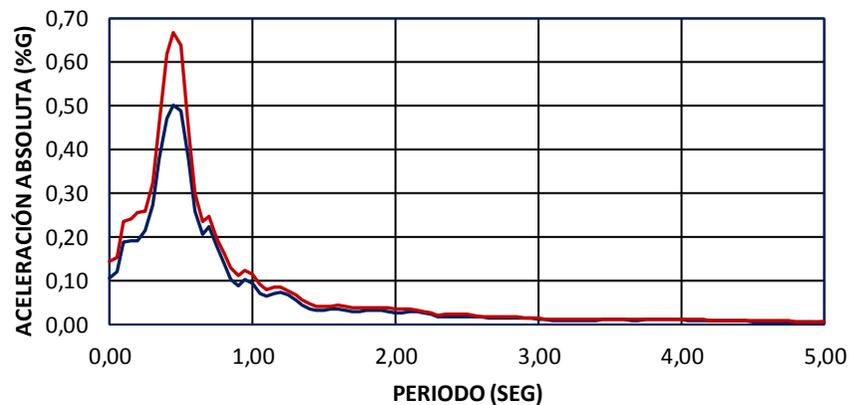
AV18



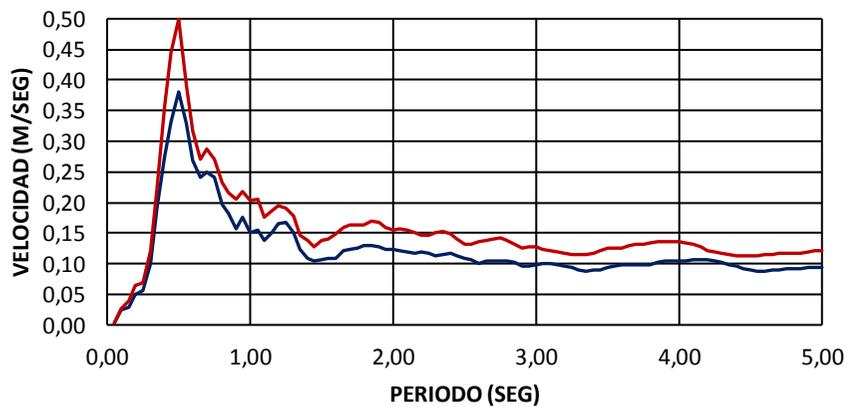
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (APR2)



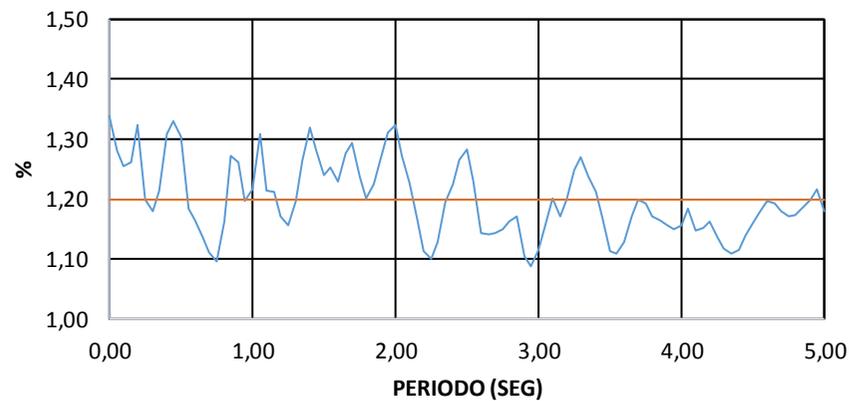
ESPECTRO ACCELERACIÓN ABSOLUTA (APR2)



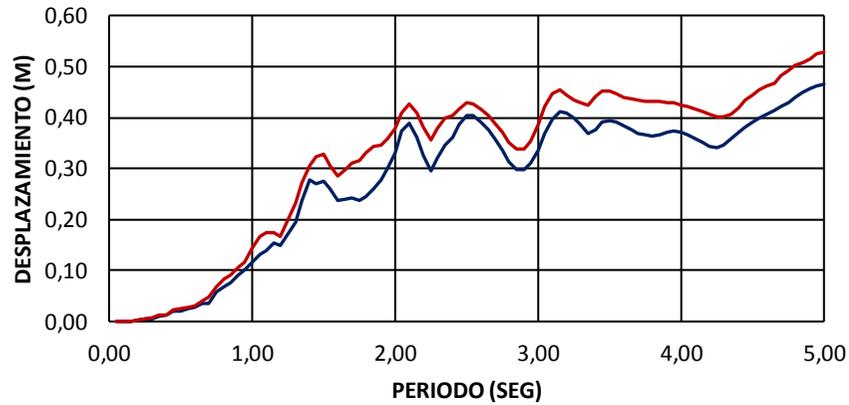
ESPECTRO DE VELOCIDAD (APR2)



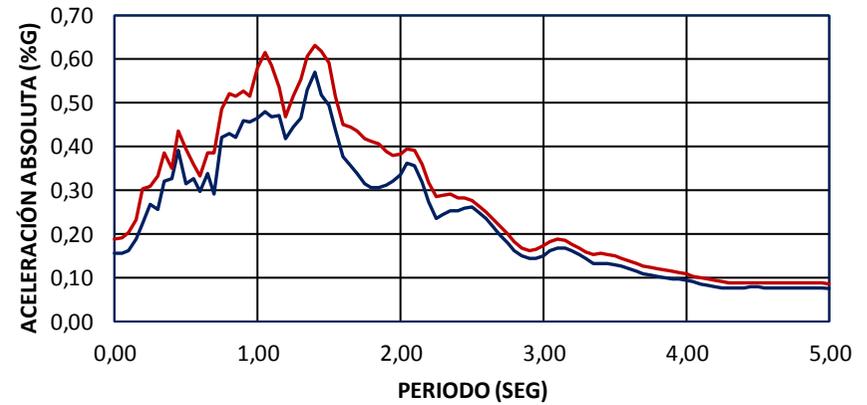
APR2



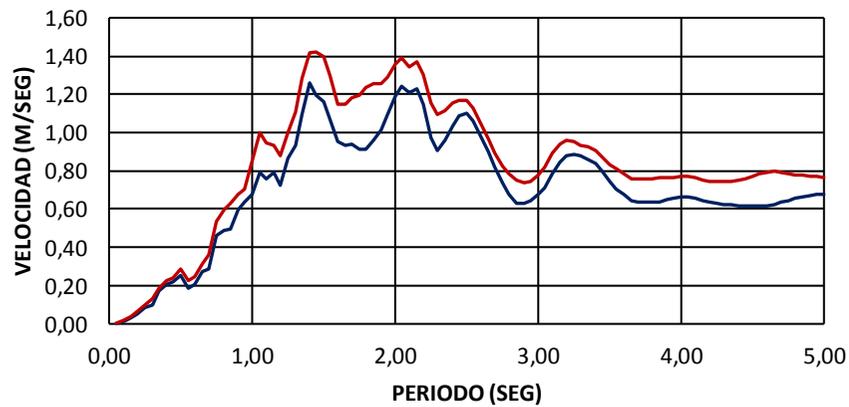
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (AES2)



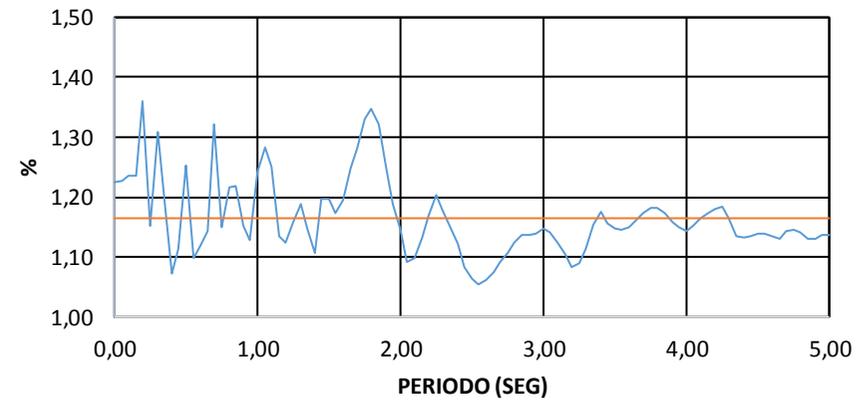
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (AES2)



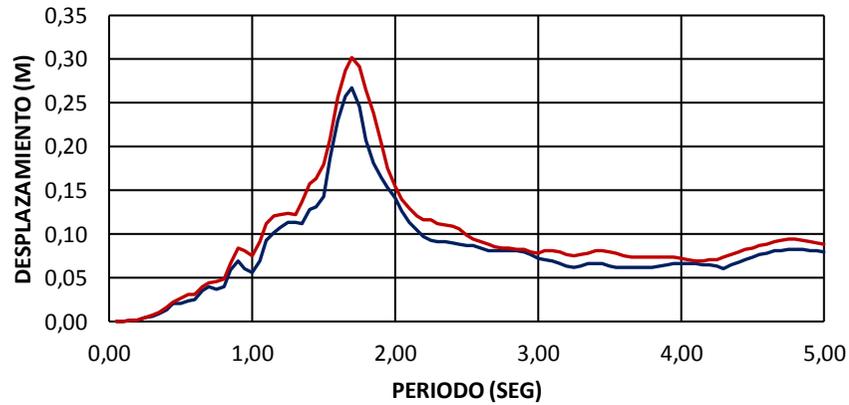
ESPECTRO DE VELOCIDAD (AES2)



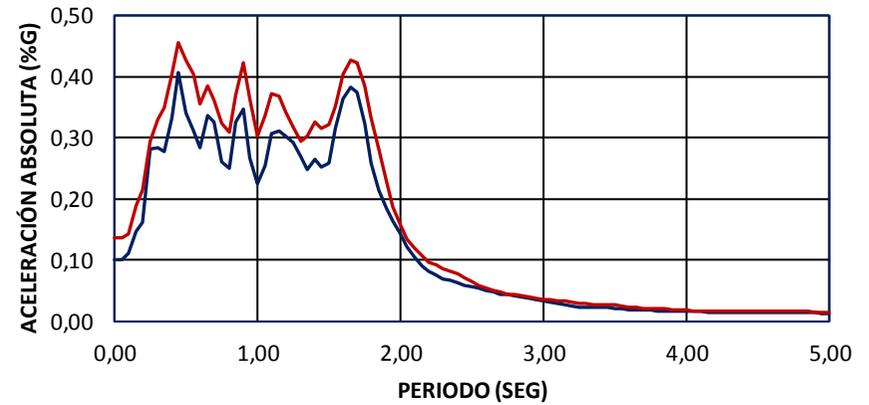
AES2



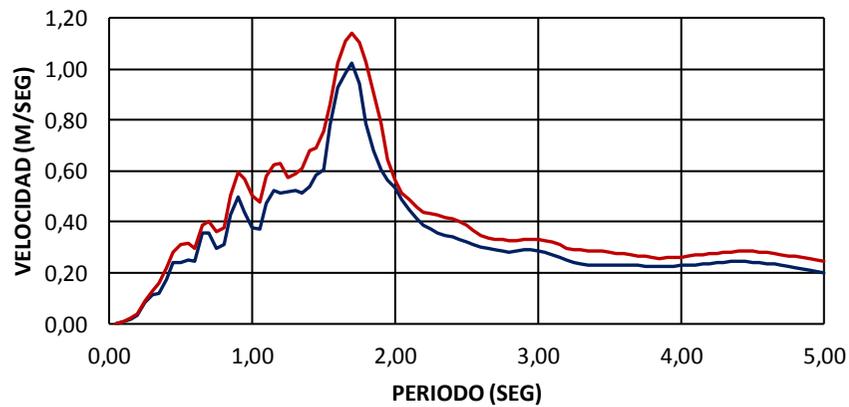
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (AGY2)



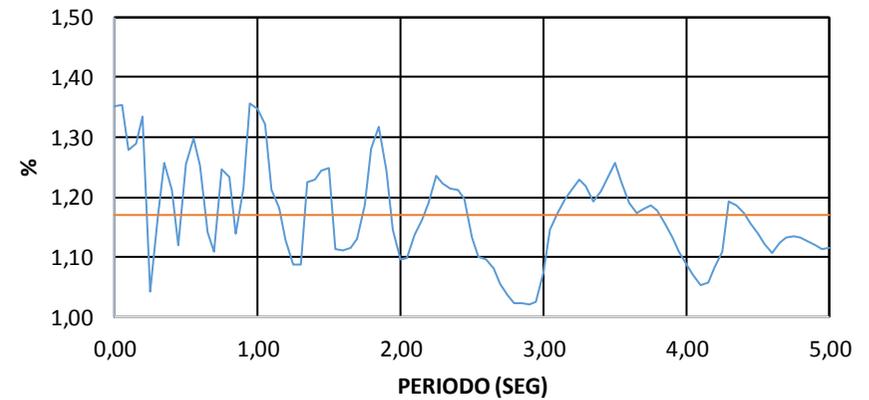
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (AGY2)



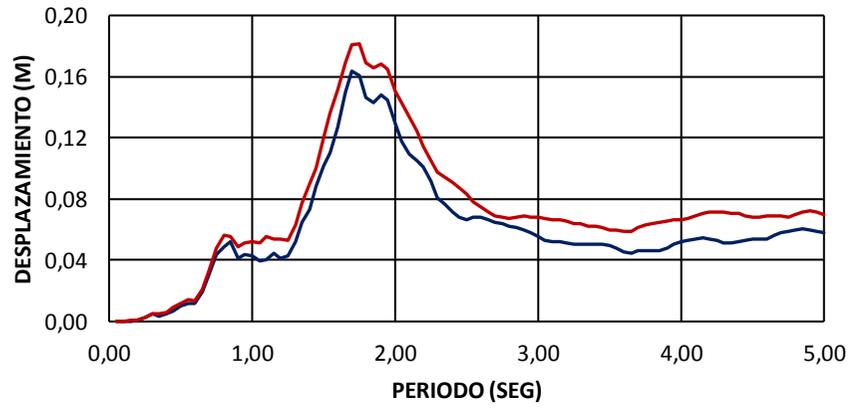
ESPECTRO DE VELOCIDAD (AGY2)



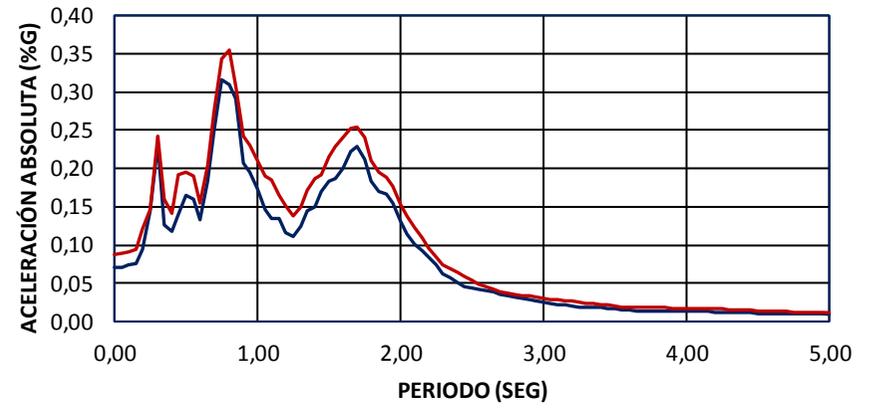
AGY2



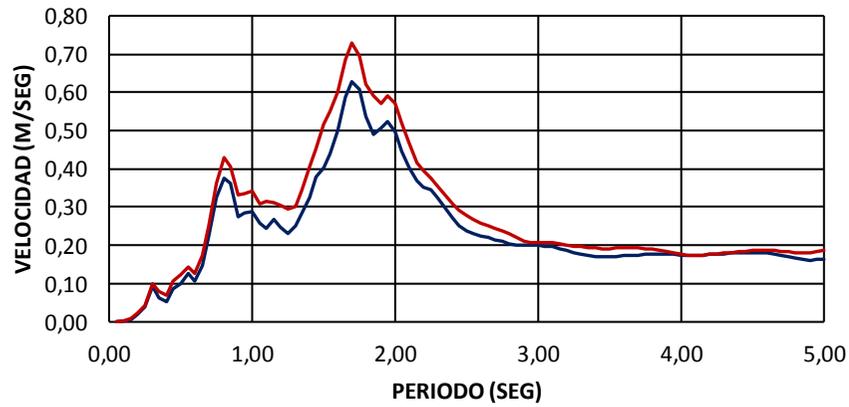
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (AGY1)



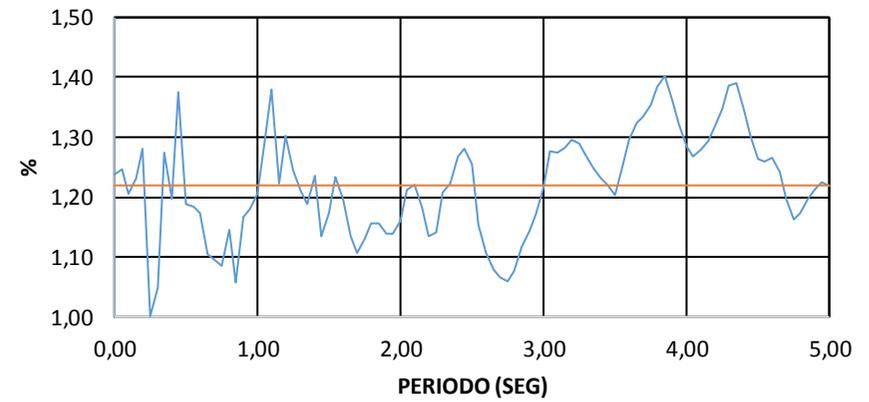
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (AGY1)



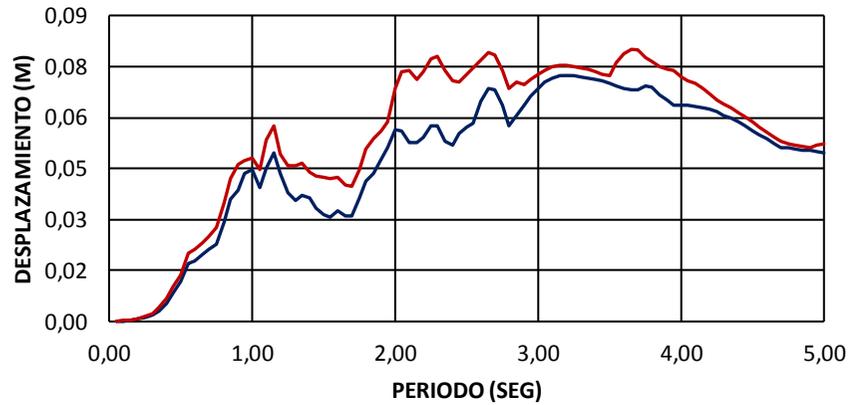
ESPECTRO DE VELOCIDAD (AGY1)



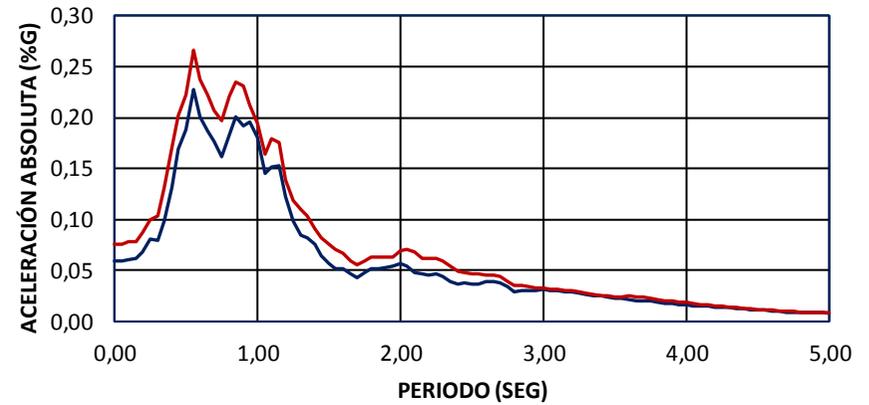
AGY1



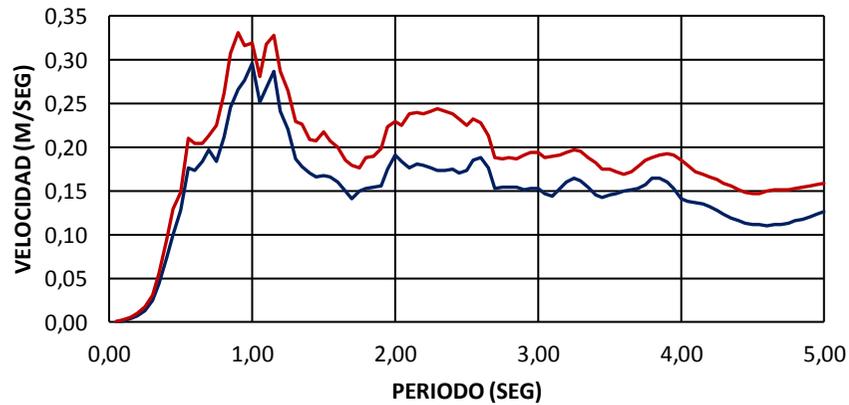
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (AIB1)



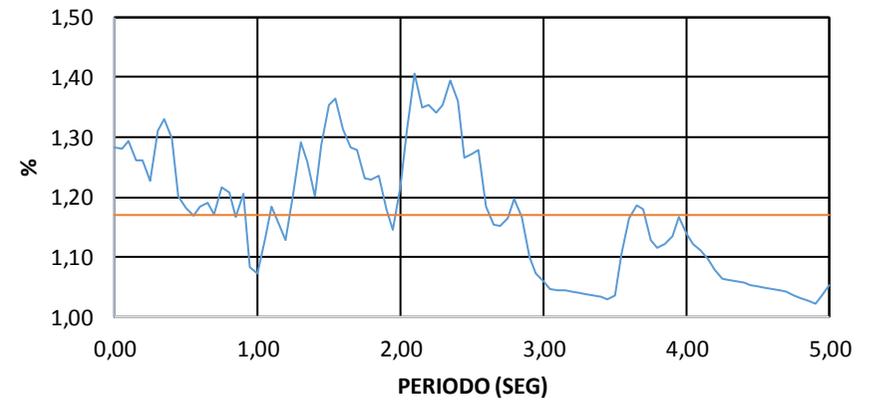
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (AIB1)



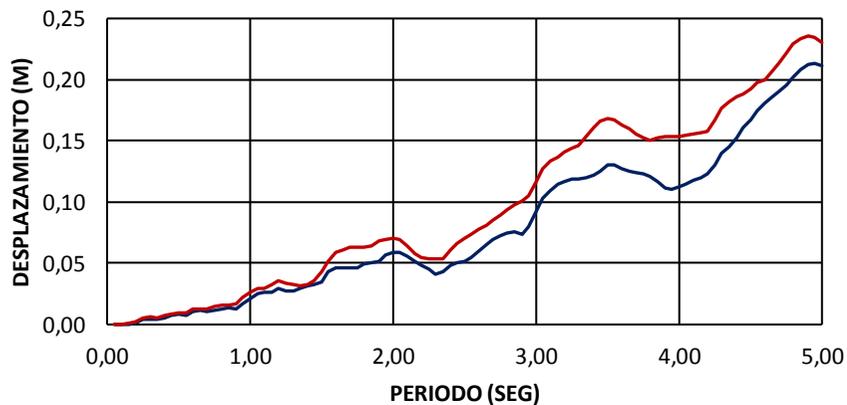
ESPECTRO DE VELOCIDAD (AIB1)



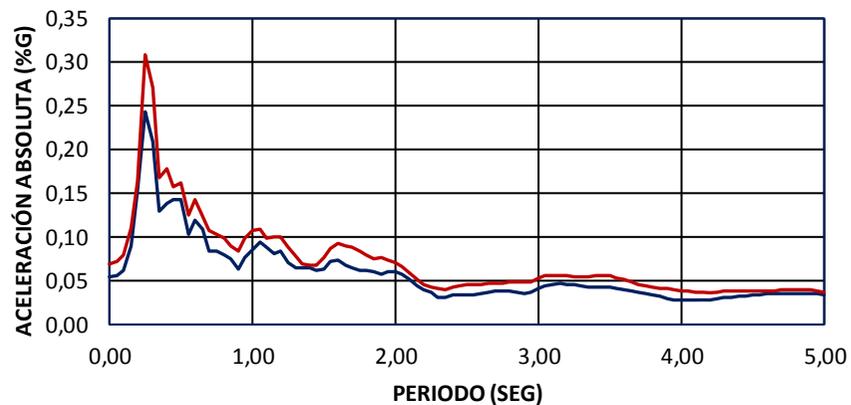
AIB1



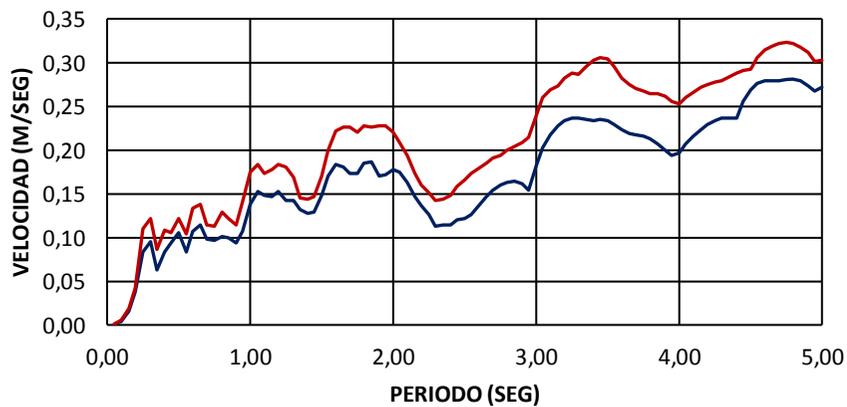
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (AMIL)



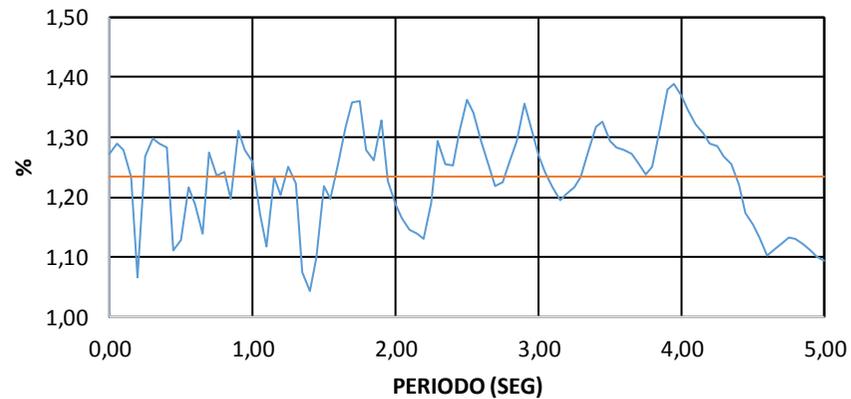
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (AMIL)



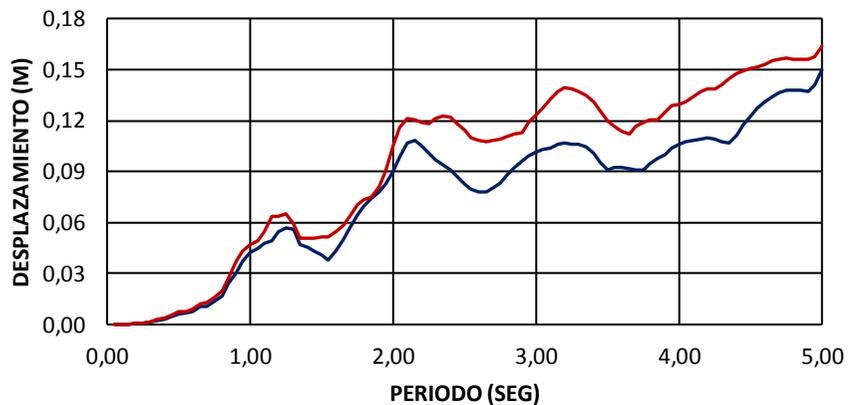
ESPECTRO DE VELOCIDAD (AMIL)



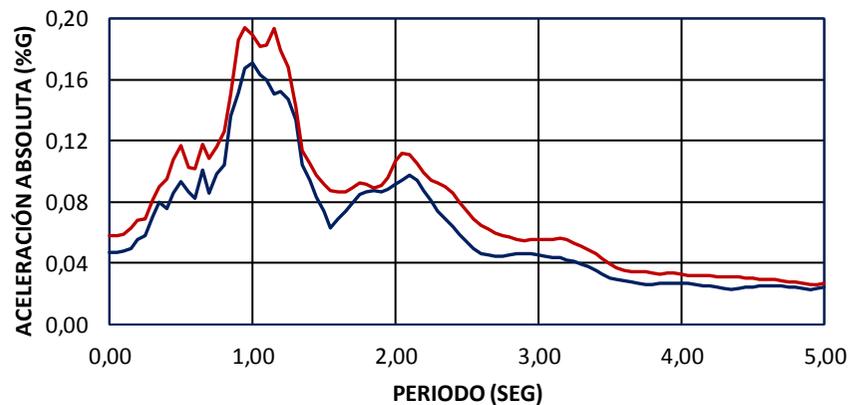
AMIL



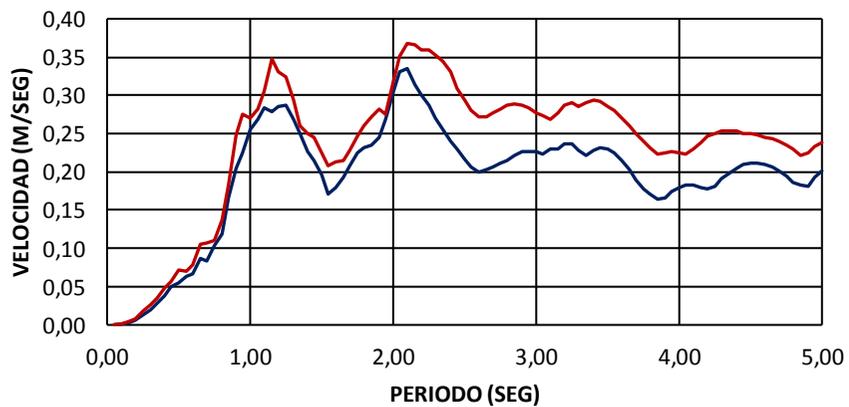
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (ALIB)



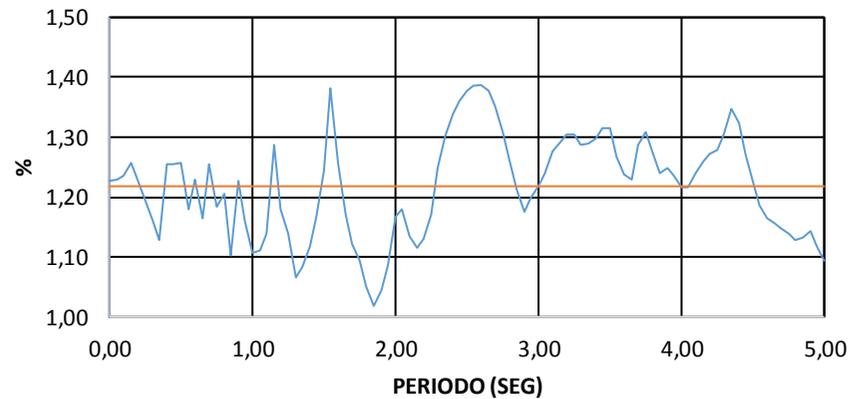
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (ALIB)



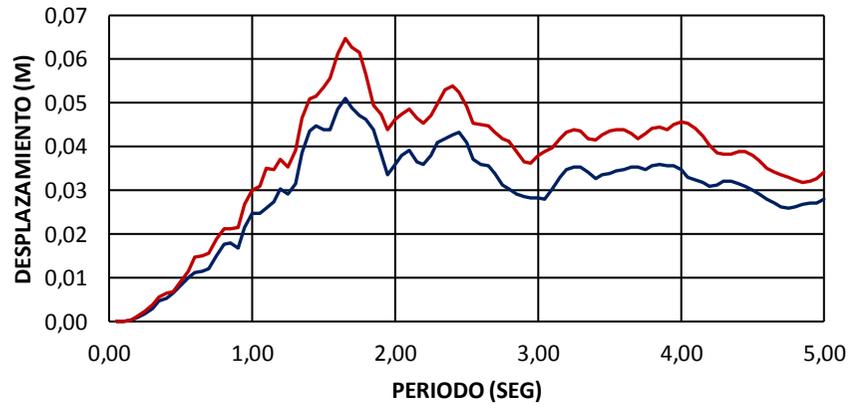
ESPECTRO DE VELOCIDAD (ALIB)



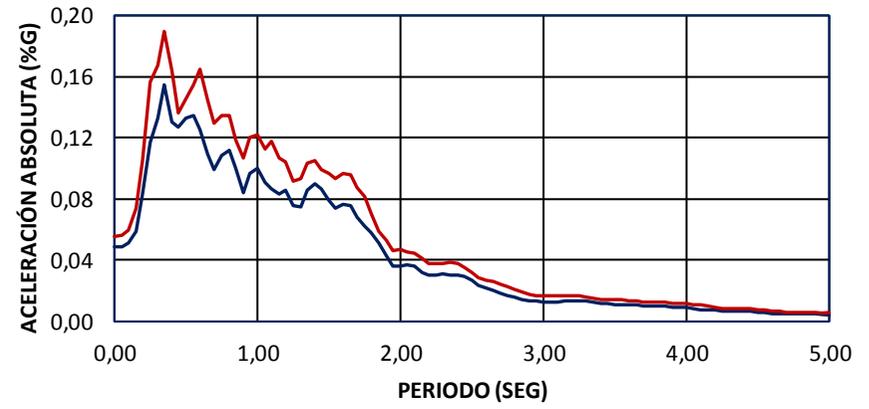
ALIB



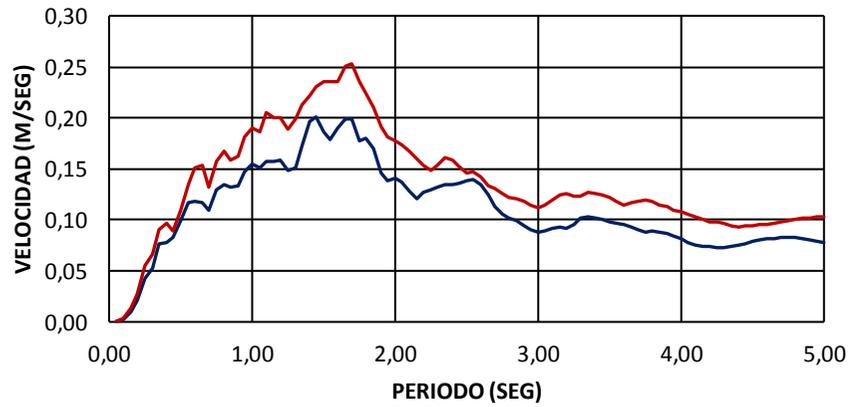
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (AOTA)



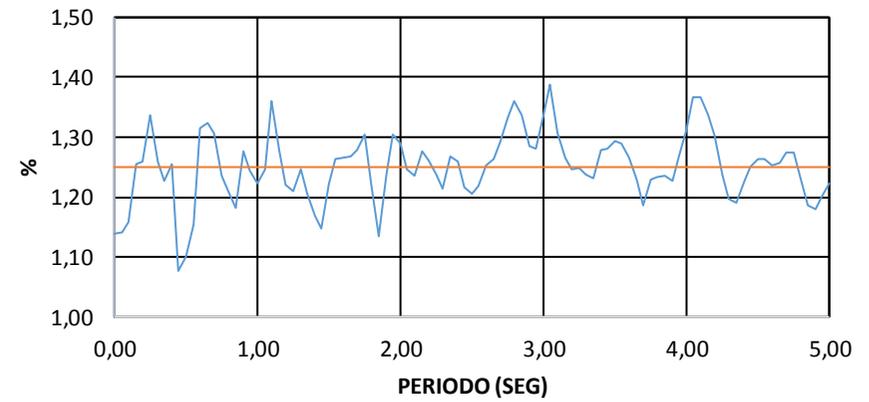
ESPECTRO ACCELERACIÓN ABSOLUTA (AOTA)



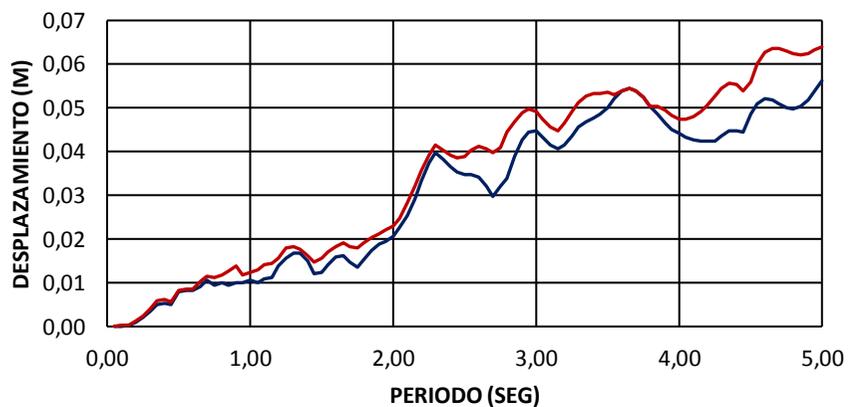
ESPECTRO DE VELOCIDAD (AOTA)



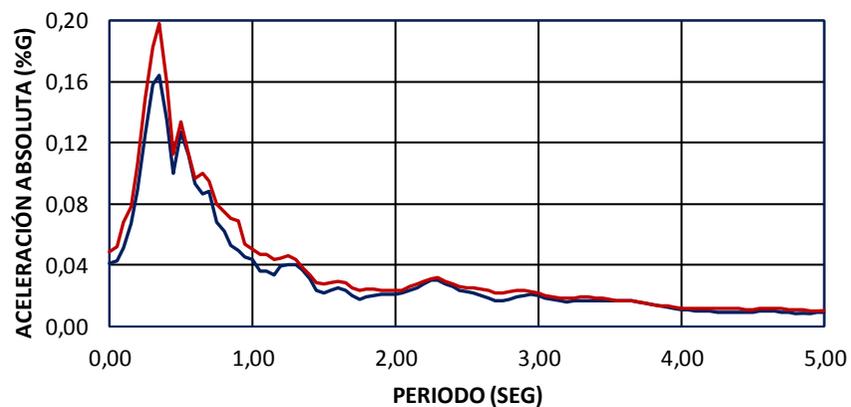
AOTA



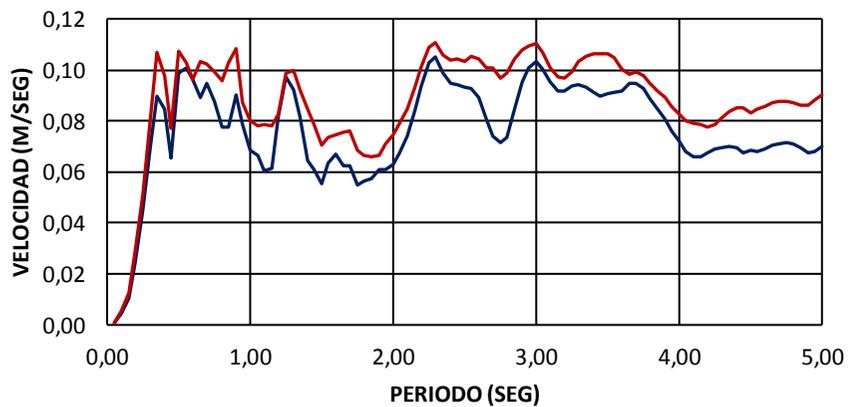
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (AV11)



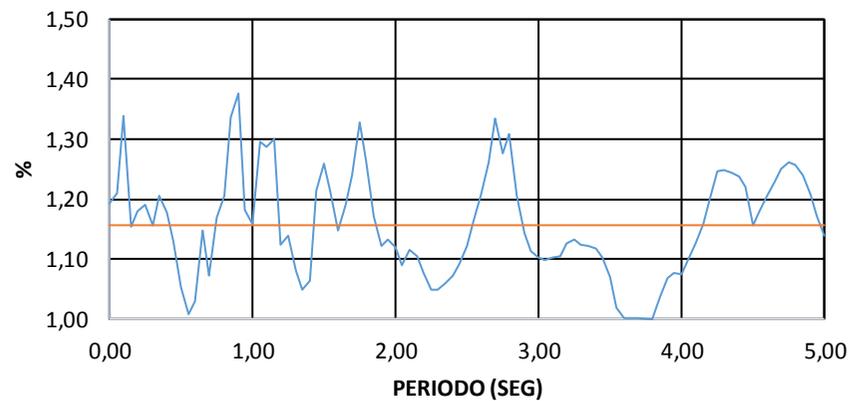
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (AV11)



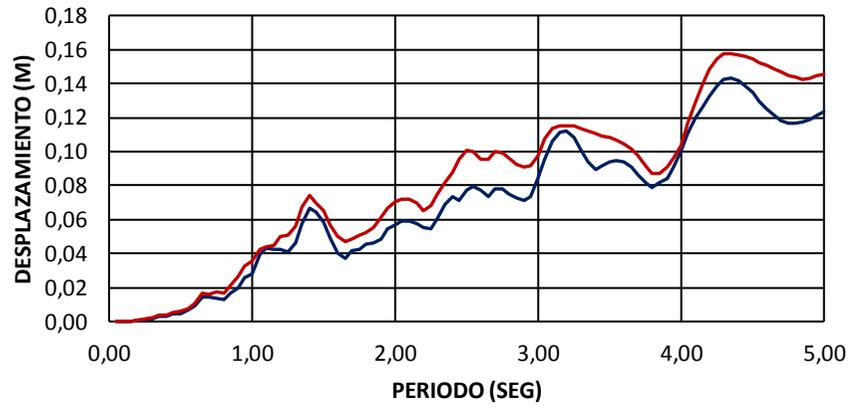
ESPECTRO DE VELOCIDAD (AV11)



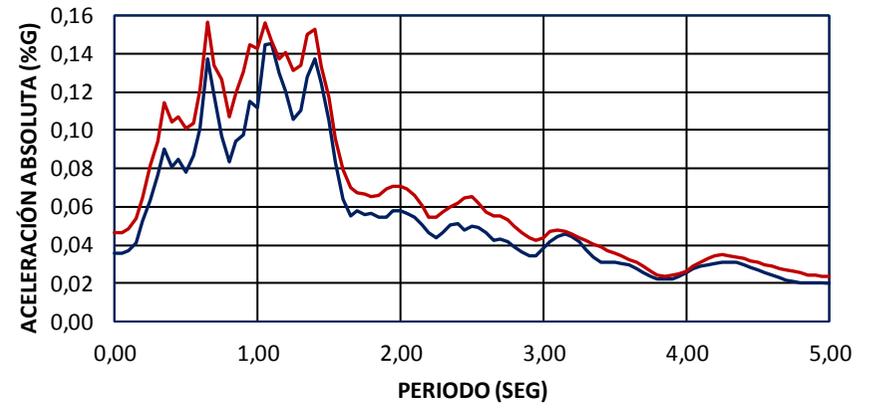
AV11



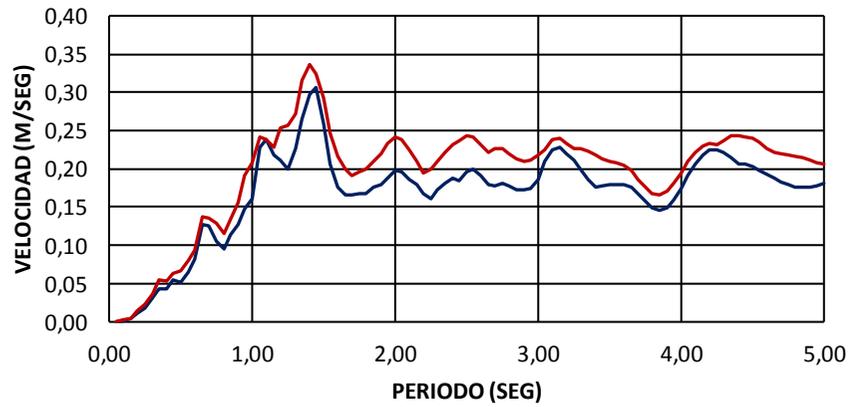
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (ACUE)



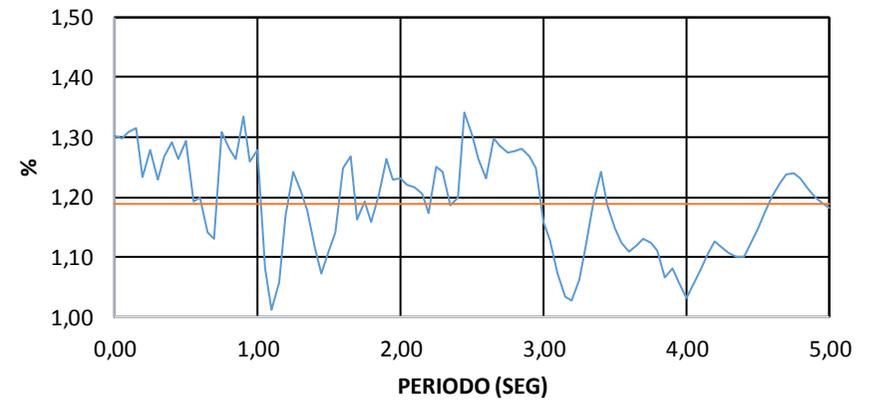
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (ACUE)



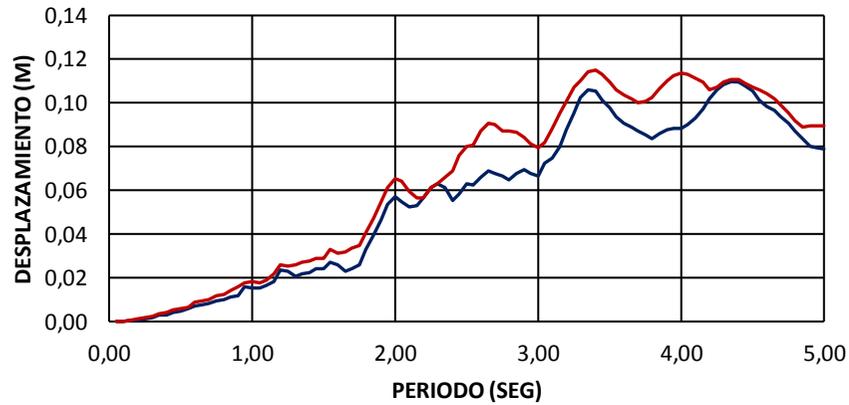
ESPECTRO DE VELOCIDAD (ACUE)



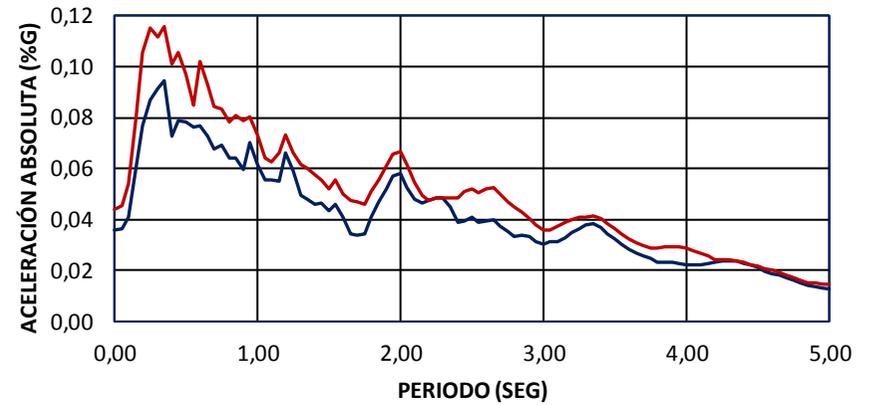
ACUE



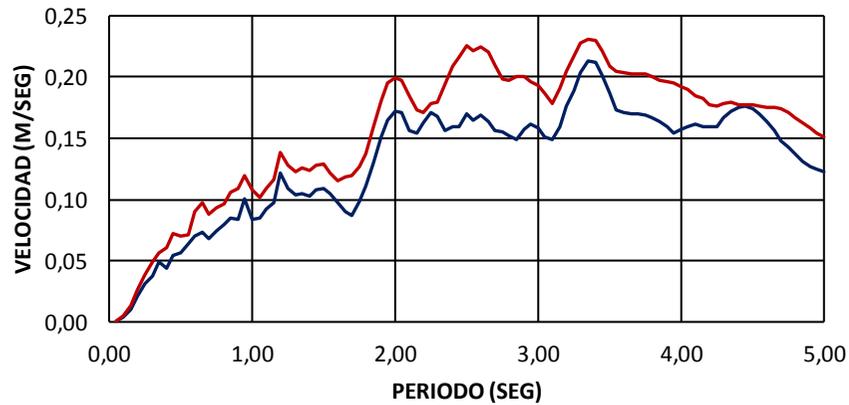
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (AAM2)



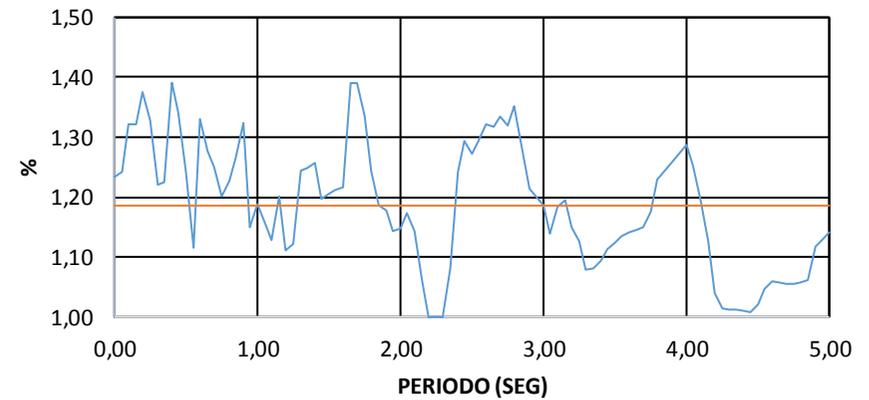
ESPECTRO ACCELERACIÓN ABSOLUTA (AAM2)



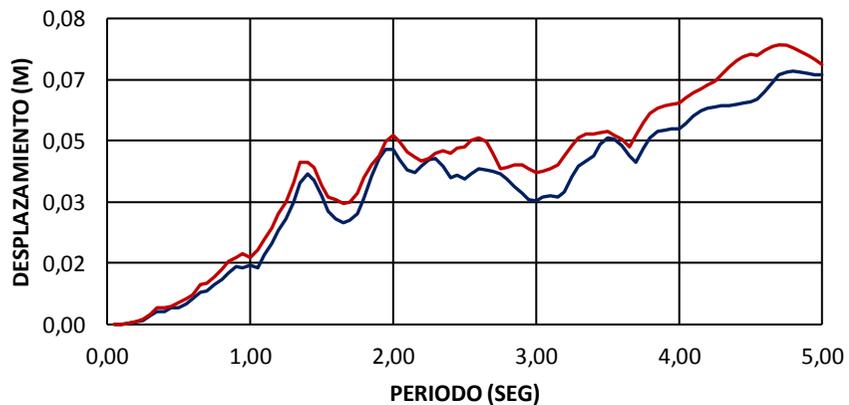
ESPECTRO DE VELOCIDAD (AAM2)



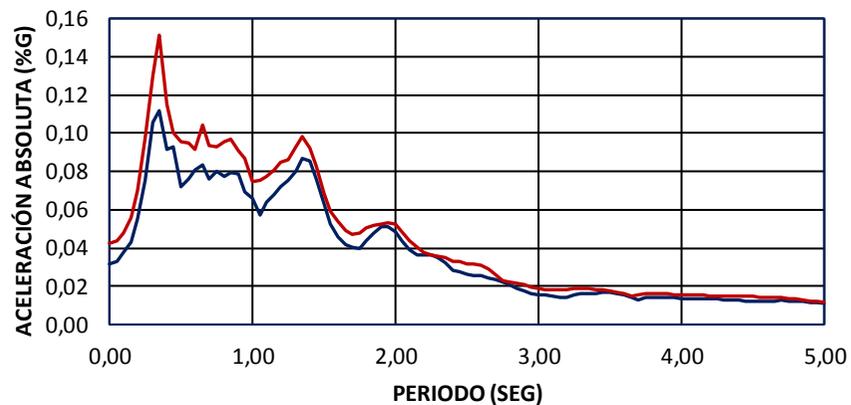
AAM2



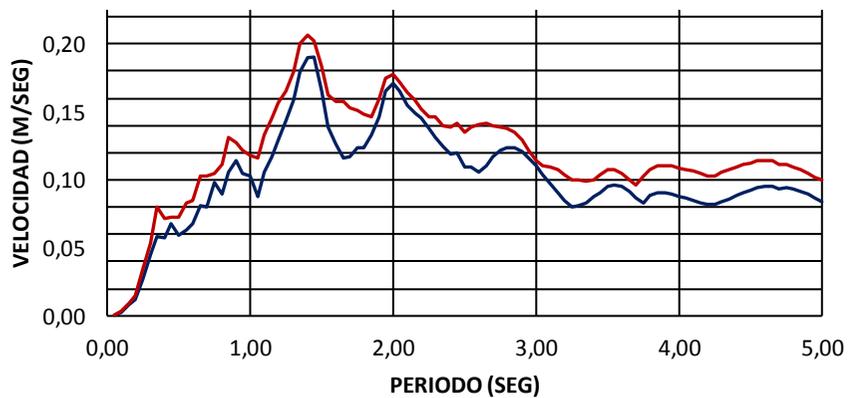
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (ALAT)



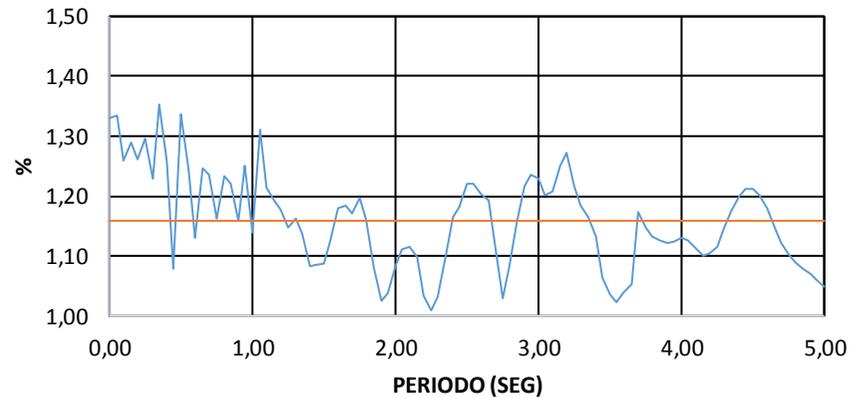
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (ALAT)



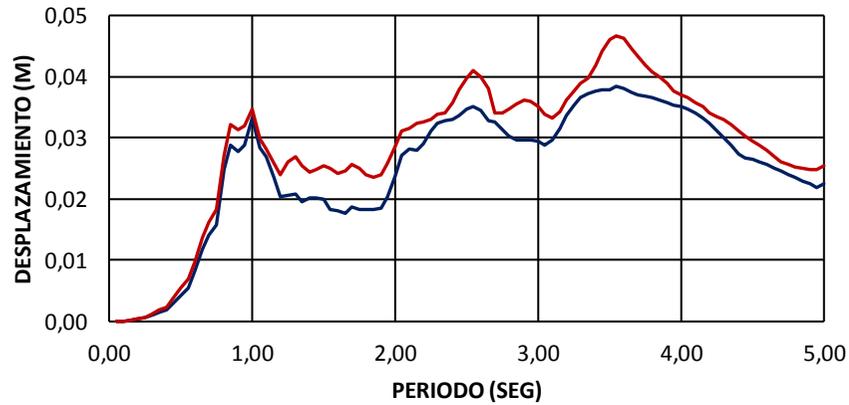
ESPECTRO DE VELOCIDAD (ALAT)



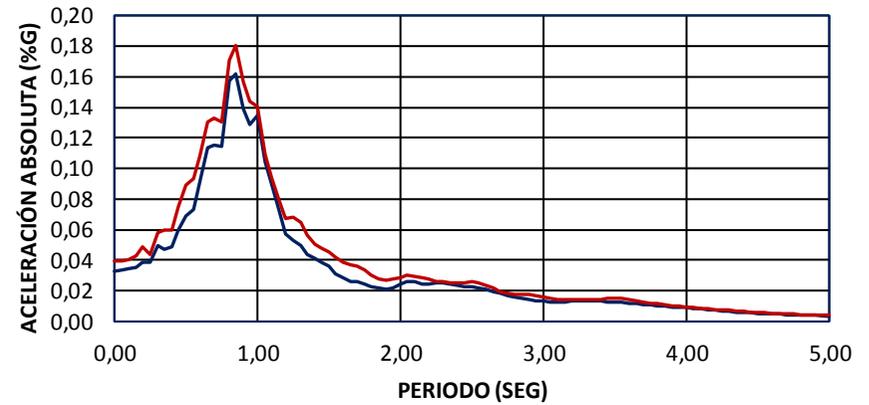
ALAT



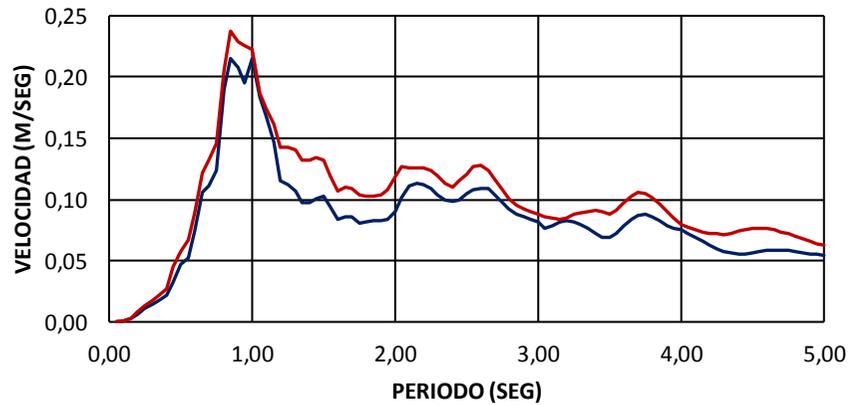
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (AIB2)



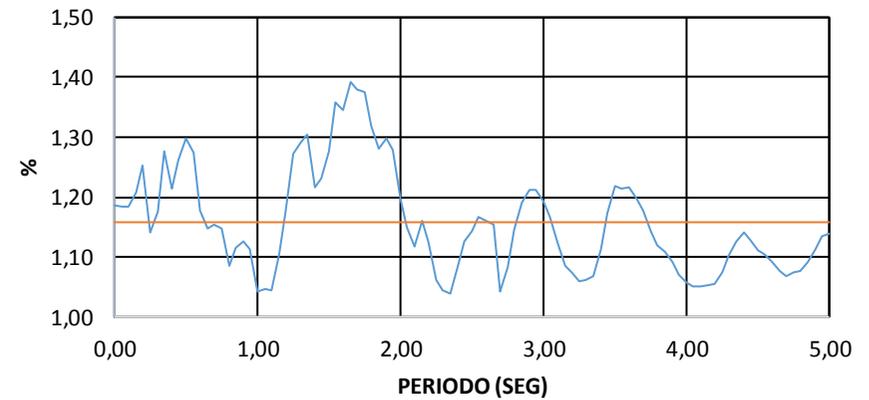
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (AIB2)



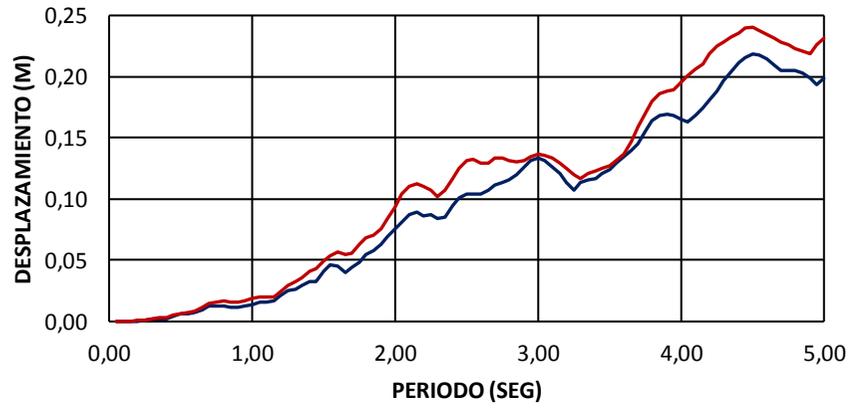
ESPECTRO DE VELOCIDAD (AIB2)



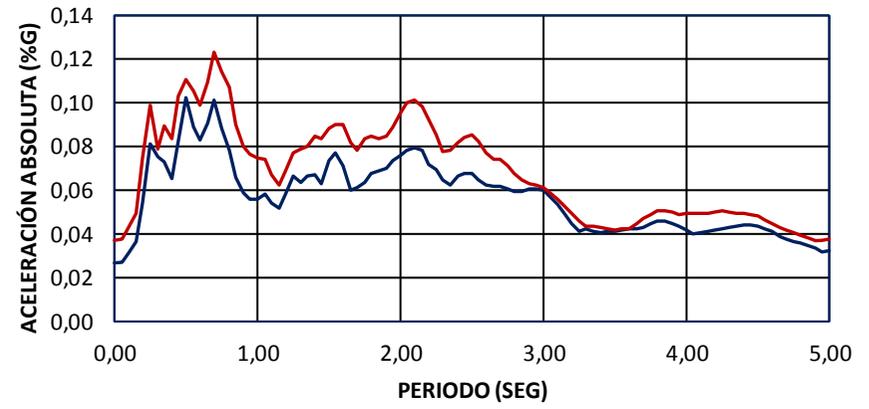
AIB2



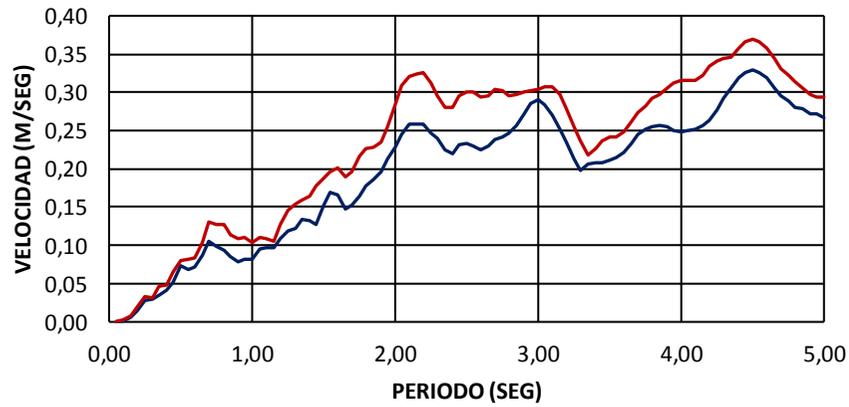
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (ALOR)



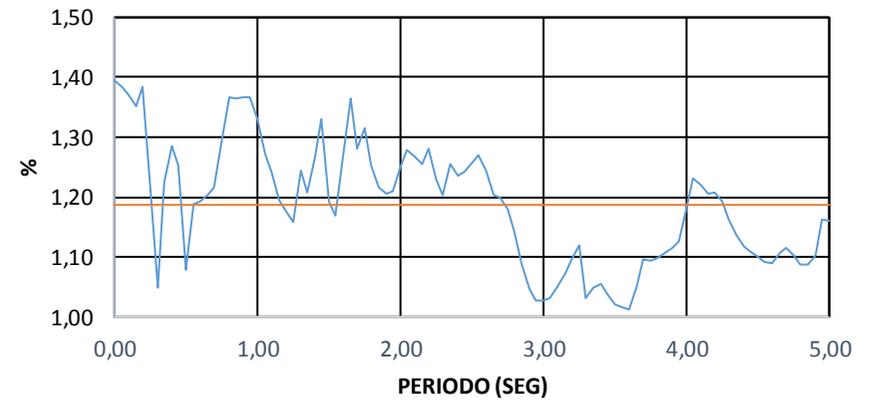
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (ALOR)



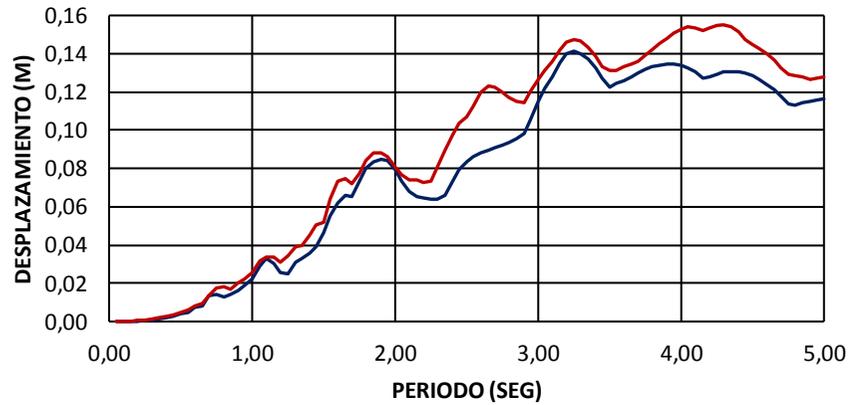
ESPECTRO DE VELOCIDAD (ALOR)



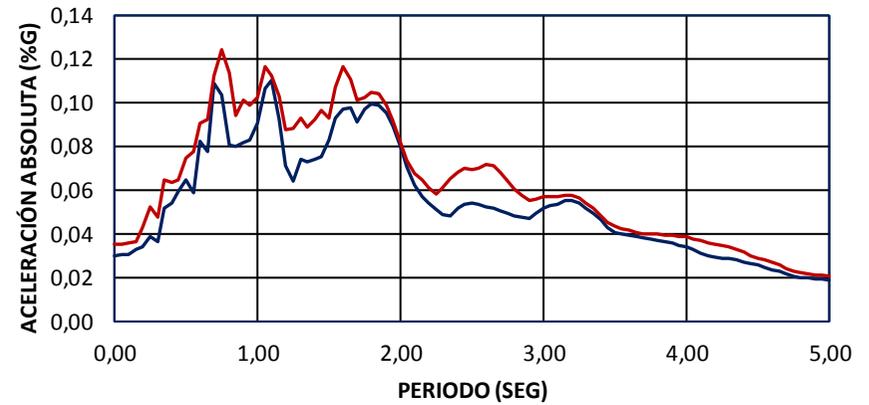
ALOR



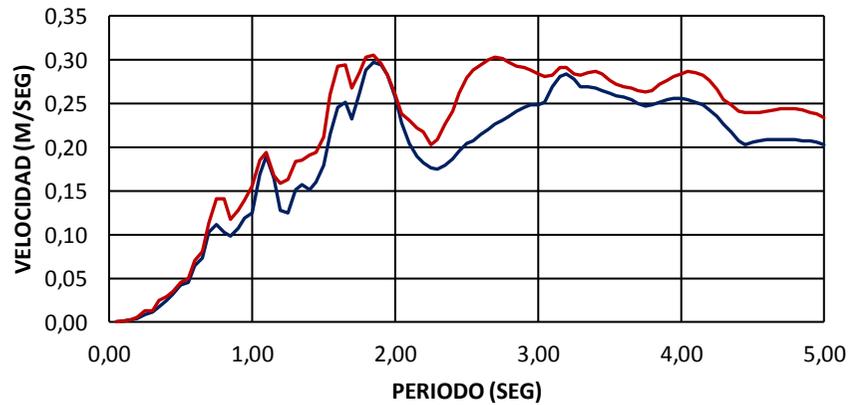
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (ACH1)



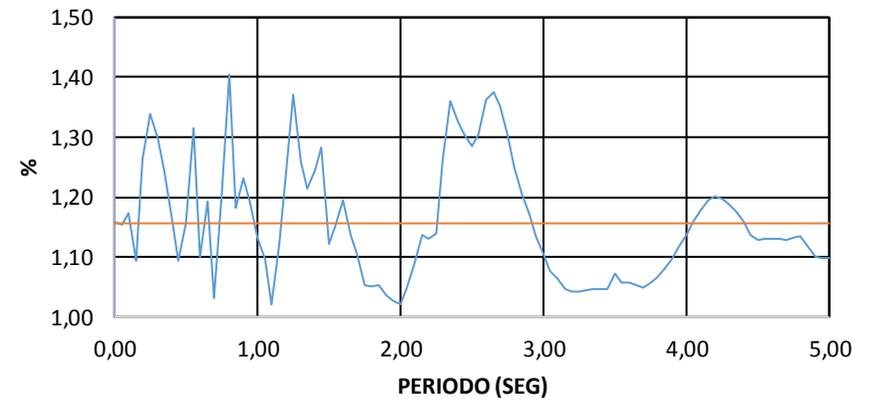
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (ACH1)



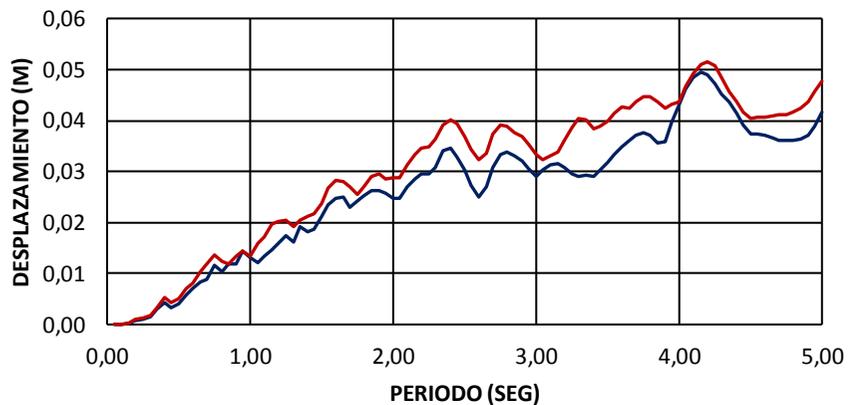
ESPECTRO DE VELOCIDAD (ACH1)



ACH1



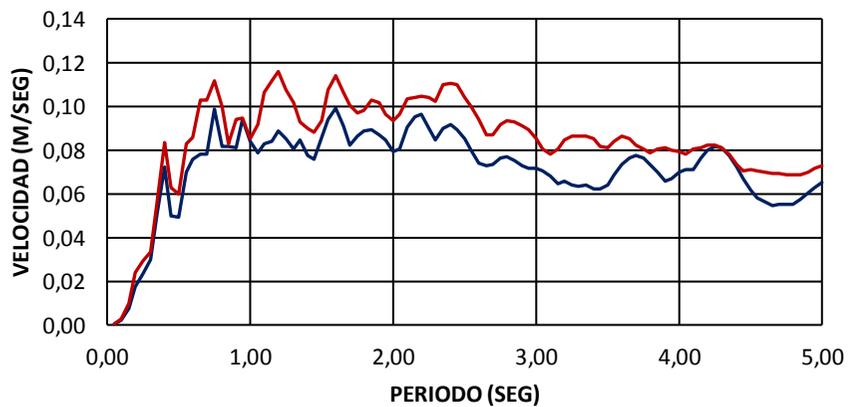
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (EPNL)



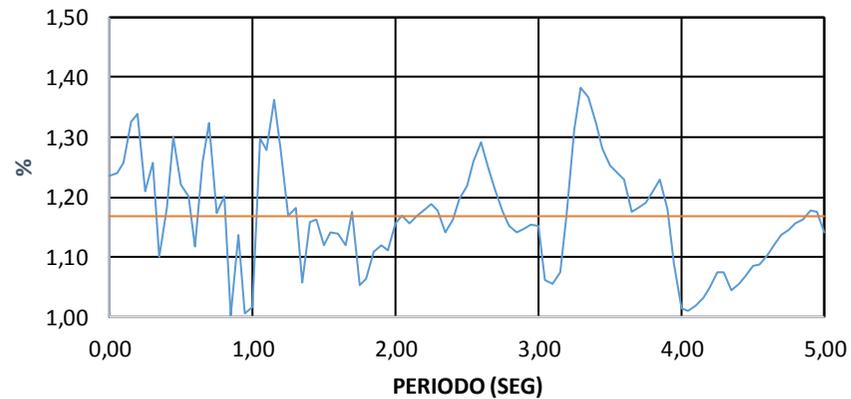
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (EPNL)



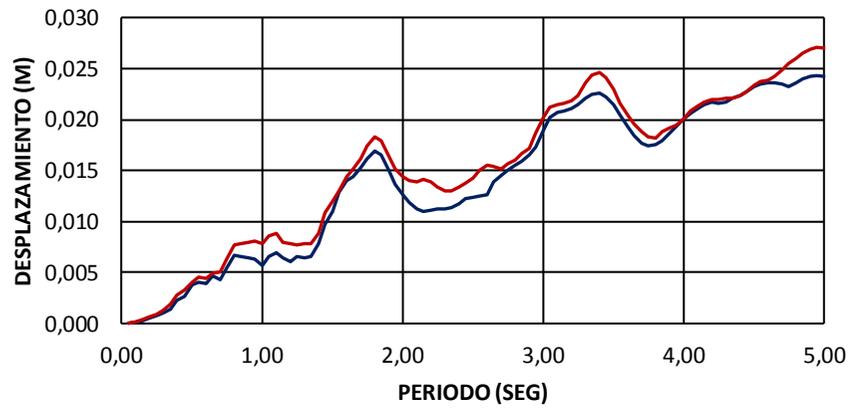
ESPECTRO DE VELOCIDAD (EPNL)



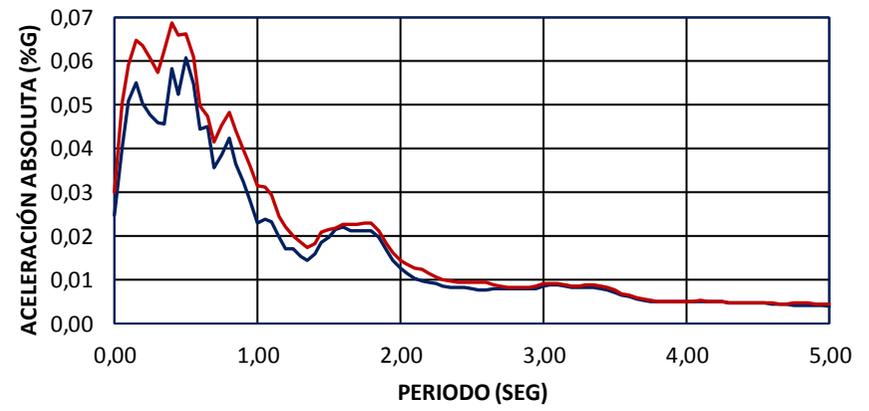
EPNL



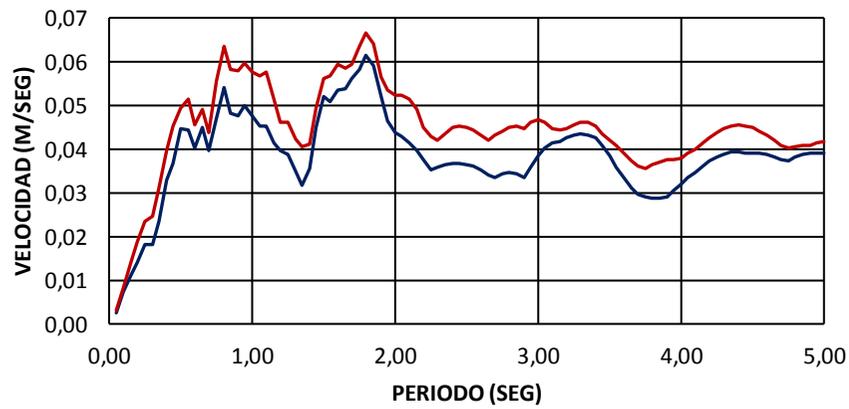
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (AGYE)



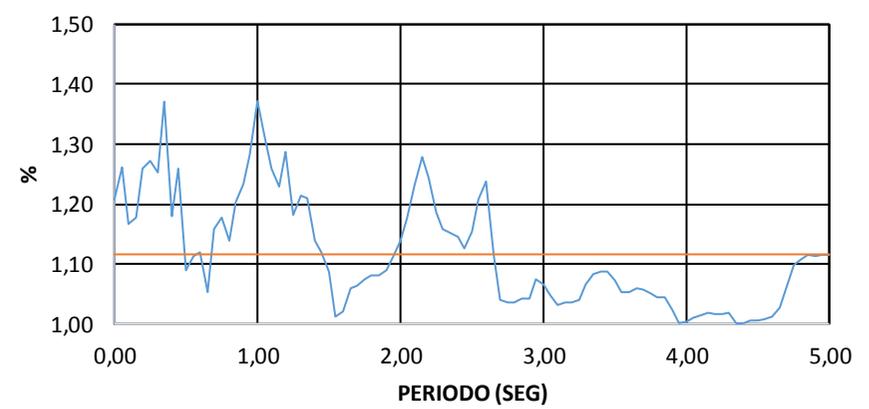
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (AGYE)



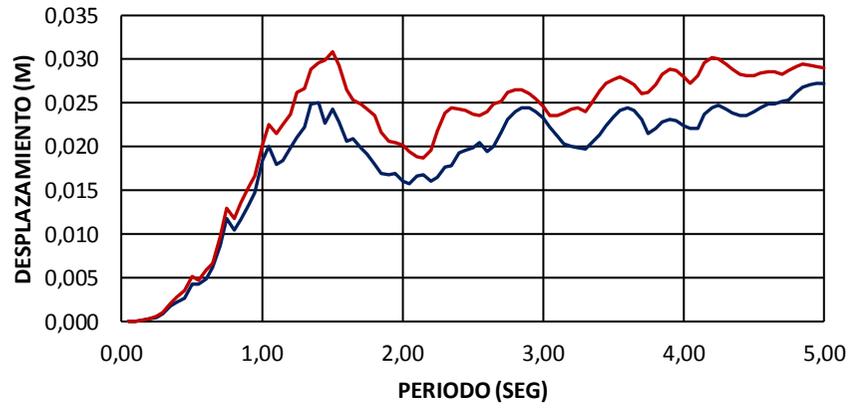
ESPECTRO DE VELOCIDAD (AGYE)



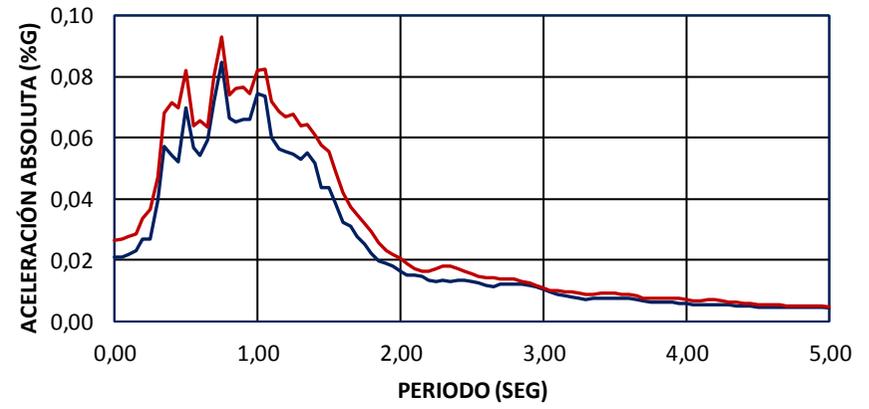
AGYE



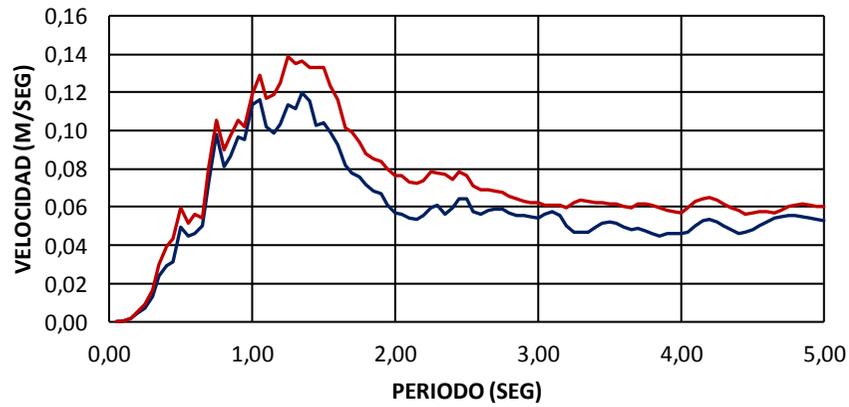
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (ATUL)



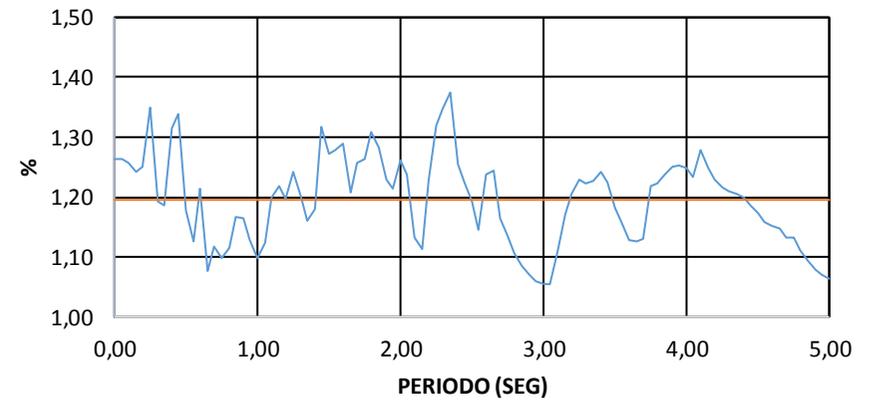
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (ATUL)



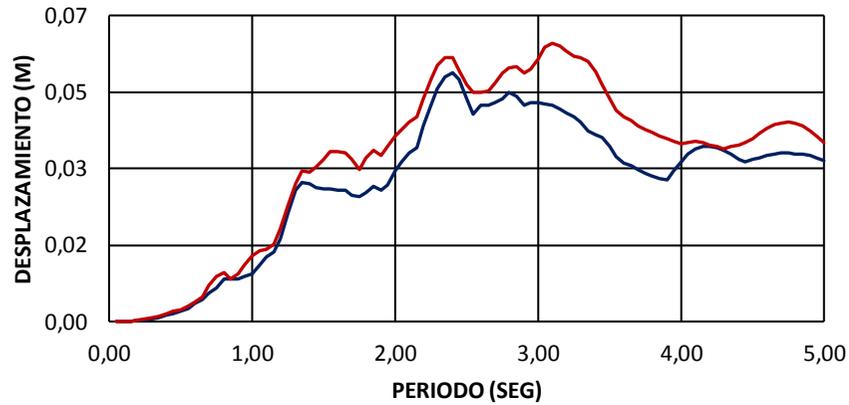
ESPECTRO DE VELOCIDAD (ATUL)



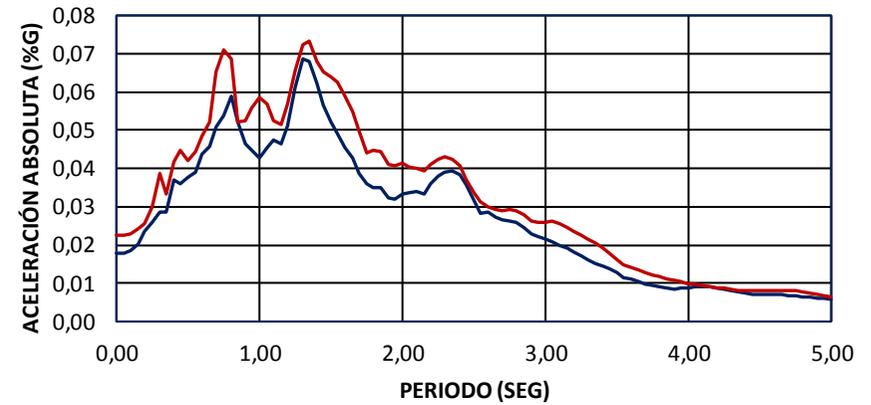
ATUL



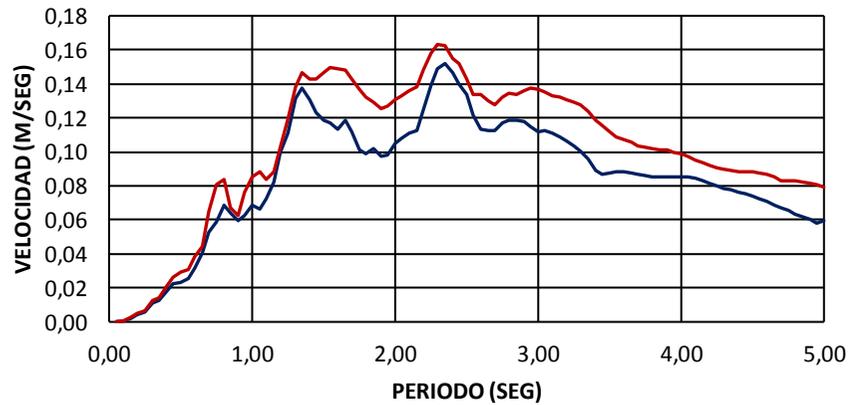
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (ALJ1)



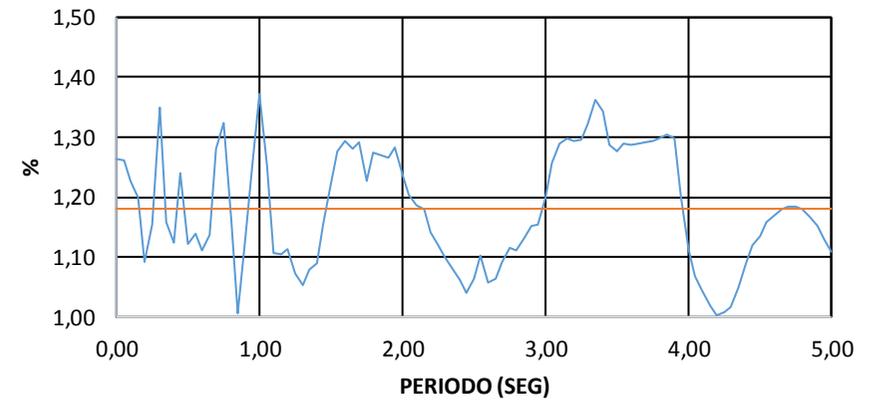
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (ALJ1)



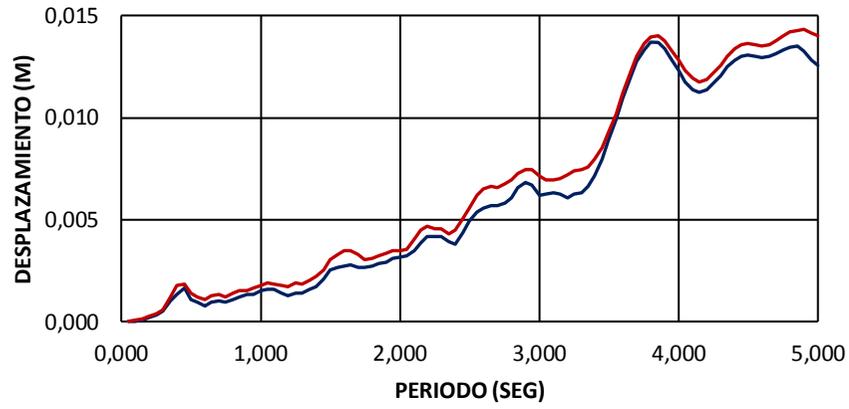
ESPECTRO DE VELOCIDAD (ALJ1)



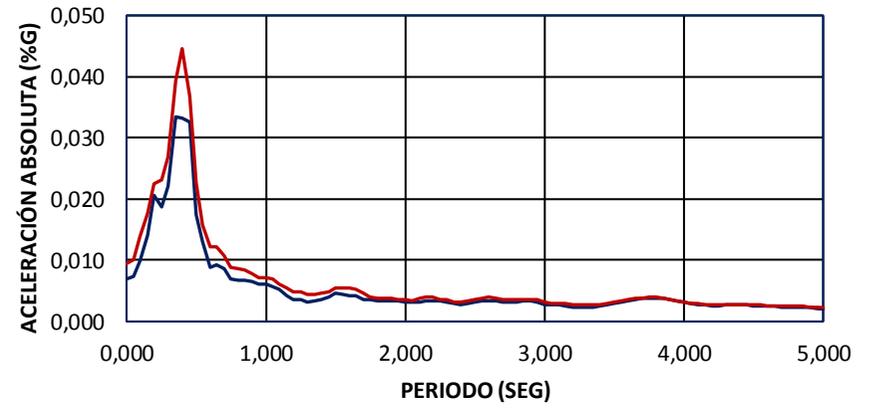
ALJ1



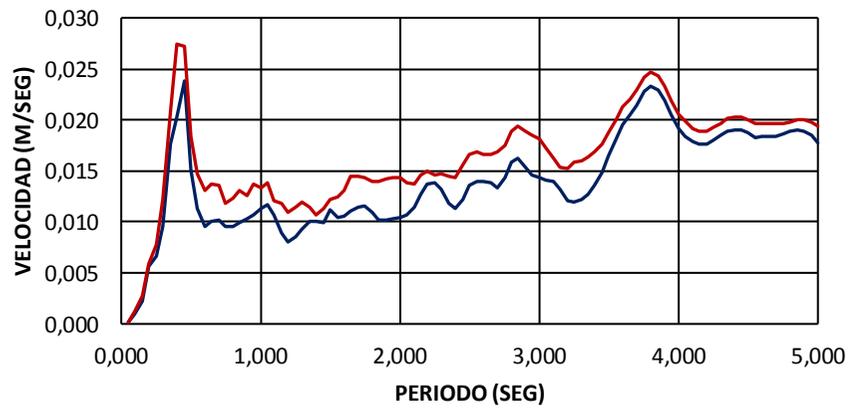
ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO (APS4)



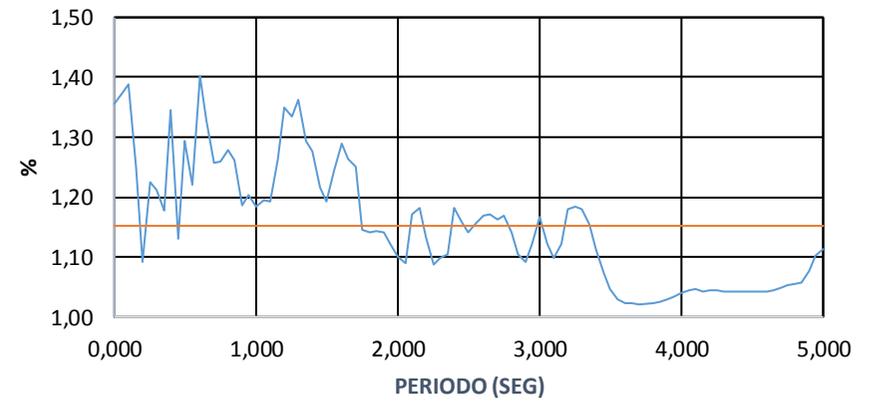
ESPECTRO ACELERACIÓN ABSOLUTA (APS4)



ESPECTRO DE VELOCIDAD (APS4)



APS4





DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Lascano Iñiguez, Gustavo Alejandro**, con C.C: # **0953663119** autor del trabajo de titulación: **Combinación de componentes horizontales de registros sísmicos considerando la dirección y tiempo donde se producen las aceleraciones máximas. Comparación con el método de combinación espectral SRSS (ASCE 7)** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **02** de **Marzo** de **2018**

f. _____

Nombre: **Lascano Iñiguez, Gustavo Alejandro**

C.C: **0953663119**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Combinación de componentes horizontales de registros sísmicos considerando la dirección y tiempo donde se producen las aceleraciones máximas. Comparación con el método de combinación espectral SRSS (ASCE 7)		
AUTOR	Gustavo Alejandro, Lascano Iñiguez		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Jaime Francisco, Hernández Barredo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	02 de marzo de 2018	No. DE PÁGINAS:	109
ÁREAS TEMÁTICAS:	Registros Sísmicos, Espectro de Respuesta, Combinación de Espectro		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Espectro de respuesta, aceleración, velocidad, desplazamiento, registro, componente y combinación.		

RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): En el presente trabajo de titulación se desarrolla una nueva metodología de combinación de componentes horizontales de registros sísmicos en donde se considera el tiempo y la dirección donde ocurren los máximos valores de respuesta.

Para el cálculo de la combinación de componentes horizontales de registros sísmicos, se desarrolló un programa en Matlab. El programa calcula la respuesta dinámica (aceleración, velocidad y desplazamiento) por medio del método de aceleración lineal de Newmark para cada dirección y las combina en el tiempo. Para la elaboración del espectro, el programa determina el máximo valor de respuesta ya combinada para cada periodo de vibración.

Se compararon los resultados del método propuesto con el especificado en la norma ASCE 7 (SRSS) por medio del factor F. El factor F se definió como la relación de la respuesta obtenida por el SRSS con el propuesto.

La evaluación de los resultados se centró en los factores F para los siguientes casos:

- PGA de la combinación de registros.
- Máxima diferencia de la respuesta de desplazamiento entre ambos métodos.
- El promedio de los factores F del espectro de aceleración absoluta entre los periodos 0 a 5.0 seg, a intervalos de 0.05 seg.



Los registros fueron clasificados según su PGA y la distancia de la estación sismográfica a la falla para determinar si estos parámetros influyen en las diferencias encontradas entre ambos métodos.

Finalmente se estudiaron casos donde se encontraron las mayores diferencias entre los métodos y los casos donde ambos métodos dan respuestas similares.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR:	CON	Teléfono: +593-4- 5014268
		E-mail: gustavo.lascano95@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	LA	Nombre: Clara Glas Cevallos
		Teléfono: +593-4 -2206956
	DEL	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		