

Caracterización de la componente vertical de los sismos moderados y fuertes en Colombia

María Angélica Fernández Wilches, Javier Alejandro Ardila Hurtado

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

José Miguel Benjumea Royero

Ph.D. en Ingeniería Civil y Ambiental

Codirector:

Gustavo Chio Cho

Ph.D. en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

A mis padres, Yanira y Felipe por brindarme su apoyo incondicional esforzándose día a día para ayudarme a alcanzar esta meta, por creer en mí y ser quienes más se alegraban con cada logro, por sus oraciones y sobre todas las cosas por el amor que he recibido de su parte.

A mi hermano Santiago por ser mi eterno compañero de vida, el hombre que a mis cinco años me enseñó a amar, a compartir y a jugar.

A mis abuelos Rebeca, José y Socorro por su apoyo y amor, y por ser un ejemplo de vida.

A Samantha, Javier y Diego por los grandes momentos compartidos, la ayuda en los momentos difíciles, las alegrías en los momentos de gloria y porque ocupan un lugar en mi corazón. Samantha, mi compañera de vida, de viaje, de universidad y de café; Javier, mi gran compañero de universidad y quien fácilmente se convirtió en mi amigo 'favorito'; y Diego mi compañero de risas, estudio y festivales. Los tres mis grandes amigos.

María Angélica Fernández Wilches

Dedicatoria

A mi madre Rosa, mi apoyo incondicional, por todo el amor y la confianza que ha depositado en mí, por todas sus oraciones y palabras reconfortantes en momentos complicados, pero más por ser la primera en la fila para celebrar y compartir conmigo las metas alcanzadas.

A mi padre Alejandro por todos los consejos y enseñanzas compartidas, por ser mi ejemplo a seguir e inculcarme el valor de la perseverancia y la superación personal.

A mis compañeras de vida, mis hermanas Eliana y Silvia, por siempre estar para mí, por apoyarme y alentarme en todo momento.

A mis grandes e incondicionales amigos y compañeros de universidad Diego, Samantha y especialmente Angélica, una mujer maravillosa que me ha acompañado durante toda la carrera, y quien puso todo su empeño y mejores cualidades para realizar este proyecto.

Finalmente, a toda mi familia y amigos que de una u otra manera aportaron en mi formación y contribuyeron con este gran logro.

Javier Alejandro Ardila Hurtado

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a Dios porque sin él nada de esto sería posible, por su compañía, ayuda y guía durante todo este proceso.

También queremos agradecer al Servicio Geológico Colombiano por proporcionarnos amablemente los datos necesarios para la realización de este proyecto.

Un agradecimiento especial a nuestro director de proyecto, el profesor José Miguel Benjumea y a nuestro codirector el profesor Gustavo Chio por todo el apoyo y dedicación brindada durante la realización de este proyecto de investigación y por ser una guía en este camino.

Finalmente, mil gracias a nuestros padres, hermanos y amigos quienes nos acompañaron y brindaron su apoyo incondicional durante esta etapa universitaria y quienes sin duda son lo más importante de nuestras vidas.

Angélica & Javier

Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Objetivos	16
1.1. Objetivo General	16
1.2. Objetivos Específicos	16
2. Parámetros para Caracterizar los Registros Sísmicos	17
3. Selección de Eventos y Registros Sísmicos	21
4. Código en Matlab para el Procesamiento de las Señales Sísmicas	24
4.1. Tratamiento de la señal	25
4.2. Procesamiento de la señal y obtención de parámetros	27
4.3. Verificación del código	30
5. Caracterización de las Componentes Triaxiales	33
5.1. Parámetros sísmicos	33
5.2. Respuestas espectrales	36
6. Análisis de Resultados	39
6.1. Adquisición y procesamiento de los registros sísmicos	39
6.2. Parámetros sísmicos por componentes	41
6.3. Componente Vertical vs Componente Horizontal	43

6.4. Respuestas espectrales	45
7. Conclusiones	48
Referencias.....	51
Apéndices.....	55

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Cocientes de aceleración vertical a horizontal propuestos	14
Tabla 2. Número total de sismos y registros seleccionados y clasificados por nivel de PGAH...	23
Tabla 3. Parámetros sísmicos obtenidos del código de Matlab para componente vertical del sismo de Mesetas.....	29
Tabla 4. Comparación de parámetros entre el código de Matlab y GEE para el sismo de Loma Prieta, estación Gilroy No. 1	31
Tabla 5. Comparación de parámetros entre el código de Matlab y SeismoSignal para el sismo de Loma Prieta, estación Gilroy No. 1	32
Tabla 6. Número de registros de acuerdo con la clasificación por distancia epicentral y tipo de suelo	36

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Comparación de diferentes escalas de magnitud con la escala de magnitud momento	24
Figura 2. Trazas de aceleración, velocidad y desplazamiento con y sin filtrado de la CV del sismo de Mesetas de 2019.....	27
Figura 3. Espectros de respuesta para la CV del sismo de Mesetas de 2019 obtenidos mediante el código en Matlab.....	29
Figura 4. Pico de aceleración de la CV vs Magnitud, clasificado por amplitud de PGAH	33
Figura 5. Pico de aceleración de la CV vs Distancia Epicentral, clasificado por amplitud del PGAH	34
Figura 6. Relación V/H en función de (a) magnitud, (b) distancia epicentral y (c) distancia hipocentral, clasificada por amplitud del PGAH	35
Figura 7. Espectros PSa individuales para la CV (grupo 0-15 km)	37
Figura 8. Espectros PSa verticales promedio, clasificados por distancia epicentral y tipo de suelo (R, Roca; S, Suelo).....	38
Figura 9. Espectros PSa verticales promedio, clasificados por amplitud del PGAH	38
Figura 10. Espectro de Fourier para el registro de Palestina, estación CPOST.....	40
Figura 14. Duración significativa de la CV vs Magnitud momento, clasificado por amplitud del PGAH.....	42

Figura 12. Intensidad característica vs PGA, en función de las componentes triaxiales.....	43
Figura 13. Trazas de aceleración de las tres componentes para el registro de Mesetas, Meta - 24/12/2019 14:03:05	44
Figura 14. Relación V/H promedio para espectros PSa, clasificados por distancia epicentral y tipo de suelo R (Roca) y S (Suelo).....	47
Figura 15. Relación V/H promedio para espectros PSa, clasificados por amplitud del PGAH ...	48

Lista de apéndices

	Pág.
Apéndice A. Características generales de los sismos en Colombia.....	55
Apéndice B. Código en Matlab y funciones complementarias.....	63
Apéndice C. Verificación del código en MATLAB usando el sismo de Loma Prieta de 1989 estación Gilroy No. 2	78
Apéndice D. Información obtenida con el código de MATLAB para las tres componentes de los 101 registros sísmicos	79
Apéndice E. Gráficos de variación de parámetros sísmicos en función de las características generales del sismo	102
Apéndice F. Gráficos de variación de espectros PSa en función de las características generales del sismo	128

Resumen

Título: Caracterización de la componente vertical de los sismos moderados y fuertes en Colombia*

Autores: María Angélica Fernández Wilches, Javier Alejandro Ardila Hurtado**

Palabras Clave: Componente vertical, componente horizontal, parámetros sísmicos, relación V/H, sismos en Colombia, Matlab, acelerogramas.

Descripción:

Esta investigación presenta la caracterización de la componente vertical de los sismos moderados y fuertes en Colombia desde el 1 de junio de 1993 hasta el 30 de abril de 2020, para ello fueron seleccionados y procesados 101 registros sísmicos con magnitudes de momento entre 4.0 y 7.0, registrados a menos de 50 km del plano de ruptura y con picos de aceleración horizontales (PGA_H) mayores a 0.02g. Para la obtención de los acelerogramas se recurrió al catálogo de aceleraciones del Servicio Geológico Colombiano (SGC), el cual agrupa estos registros en dos catálogos sísmicos: el primero de ellos entre el 1 de junio de 1993 y el 31 de diciembre de 2017, y el segundo desde el 1 de enero de 2018 hasta la fecha. Además, comprendió la programación y verificación de un código abierto en Matlab que permite el tratamiento y procesamiento de las señales sísmicas, así como la obtención de los parámetros relevantes para el estudio. Finalmente, se encontró que la importancia de la componente vertical depende principalmente de la distancia epicentral y magnitud del sismo, concluyendo que la relación V/H igual a 2/3 adoptada en varios códigos de diseño sismo resistente no siempre es válida para representar los efectos de la componente vertical en Colombia.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: José Miguel Benjumea Royero, Doctor en Ingeniería Civil y Ambiental. Codirector: Gustavo Chio Cho, Doctor en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.

Abstract

Title: Characterization of the vertical component of moderate and strong earthquakes in Colombia*

Authors: María Angélica Fernández Wilches, Javier Alejandro Ardila Hurtado**

Keywords: Vertical component, horizontal component, seismic parameters, V/H ratio, ground motions in Colombia, Matlab, accelerograms.

Description:

This investigation presents the characterization of the vertical component of moderate and strong earthquakes in Colombia from June the 1st, 1993 to April the 30th, 2020, for this purpose, 101 seismic records with moment magnitudes between 4.0 and 7.0, recorded at less than 50 km from the plane of rupture and with horizontal acceleration peaks (PGA_H) greater than 0.02g, were selected and processed. To obtain the accelerograms, the catalogue of accelerations of the Colombian Geological Service was used, which is divided into two seismic catalogs: the first between June the 1st, 1993 and December 31, 2017, and the second from January 1, 2018 to date. In addition, this investigation includes the programming of an open source code in Matlab that allows the treatment and processing of seismic signals, as well as obtaining the relevant parameters for the study. Finally, it was found that the importance of the vertical component depends mainly on the epicentral distance and magnitude of earthquake, concluding that the V/H ratio equal to 2/3 adopted in some seismic building codes is not always valid to represent the effects of the vertical component in Colombia.

* Degree work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Advisor: José Miguel Benjumea Royero. Ph.D. Co-advisor: Gustavo Chio Cho. Ph.D.

Introducción

Históricamente, las componentes horizontales de los sismos han generado daño sustancial en las estructuras, razón por la cual estas componentes han sido ampliamente caracterizadas y son un foco continuo de estudio. Por otra parte, la componente vertical de los sismos ha sido investigada en menor proporción. Esto se debe principalmente a que la mayoría de los registros de eventos sísmicos mundiales muestran que la aceleración vertical pico es significativamente menor que la horizontal (Newmark, 1973) y al hecho de que en las edificaciones existen factores de mayoración para las cargas verticales estáticas que brindan un margen de seguridad contra los movimientos verticales del suelo provocados por los sismos. (Elnashai & Papazoglou, 1997)

Los códigos actuales de diseño de edificaciones como el International Building Code 2018 (IBC) (International Code Council, 2000), la Norma de Construcción Sismorresistente Española: Parte general y edificación (NCSE-02) (Ministerio de Fomento, 2002, pág. 96), el Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente (NSR-10) (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010), entre otros, suponen que la aceleración vertical máxima es una fracción de la aceleración horizontal pico, generalmente conocida como V/H y asumida como $2/3$ (Newmark, 1973). Dicha estimación puede ser acertada e incluso conservadora cuando se calcula con base en un amplio espectro de registros sísmicos. No obstante, no todos los sismos están representados por esta relación. Por ejemplo, Bureau (Bureau, 1981) analizó 75 acelerogramas y encontró que para sismos con magnitudes mayores a 6.0 en la escala de Richter, registrados a distancias menores o iguales a 10 km desde el epicentro la relación entre la componente vertical y la componente

horizontal (V/H) superaba el valor de 1.0. Otros autores también han estudiado este fenómeno obteniendo resultados diferentes como se muestra en la Tabla 1.

En las últimas décadas, sismos como el de Loma prieta (1989) y Northridge (1994) en Estados Unidos y el de Kobe (1995) en Japón, despertaron el interés de los investigadores debido al alto e inesperado daño causado en las estructuras (Papazoglou & Elnashai) y porque algunos registros sísmicos de estos eventos mostraron aceleraciones verticales que superaban las horizontales. Esta última característica fue categorizada como el factor causal del daño estructural observado en algunos puentes y edificaciones (Elnashai & Papazoglou, 1997).

Tabla 1.

Cocientes de aceleración vertical a horizontal propuestos

Referencia	Características de los Registros	V/H
Newmark <i>et al.</i> , 1973	33 registros de EE. UU.	2/3
Kawashima <i>et al.</i> , 1985	Registros del Japón	1/5
Ambrasays y Simpson, 1995	104 registros mundiales, R<15km, M>6, Av>0.1g	1.75
Boomer y Martínez, 1996	130 registros, Av>0.2g	1.00
Mohammadioun, 1996	Suelos aluviales cercanos a la falla	0.75

Nota: Perea, T., and Esteva, L. (2005). “Componente Vertical De Registros Sísmicos En México Y Su Efecto En La Respuesta Sísmica No Lineal De Edificios”. *Revista de Ingeniería Sísmica*”, 79(72), 45–79.

Teniendo en cuenta que la caracterización de la componente vertical como un solo valor relativo (fracción) de la horizontal puede ser poco razonable en algunos casos, además de que algunos estudios han demostrado que la componente vertical puede causar daño y variaciones

importantes en la respuesta estructural de edificaciones (Cabrera S, 2013), (Vilera, Rivero, & Lobo, 2008, págs. 79-88) y puentes (Benjumea, 2019), (Wilson, Chen, & Mahmoud, 2015), resulta importante analizar las principales características de esta componente para poder establecer relaciones entre estas y su efecto en las estructuras y, a futuro, generar espectros de aceleración que puedan ser usados en el diseño.

En este trabajo se presenta el procedimiento realizado para caracterizar la componente vertical (en adelante, CV) de los sismos moderados y fuertes en Colombia, registrados por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) (2020) durante los últimos 27 años, así como la descripción del código creado en Matlab que se usó para dicho fin. Además, se discuten los resultados obtenidos a partir de un análisis de los parámetros sísmicos en función de las características generales del sismo. Esta investigación hace parte del proyecto avalado por la vicerrectoría de investigación y extensión de la Universidad Industrial de Santander titulado “Respuesta de puentes viga cajón durante construcción por voladizos sucesivos bajo la acción combinada de movimientos sísmicos horizontales y verticales. (Código VIE FM 2019-1).

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Analizar las características de la componente vertical de los sismos moderados y fuertes en Colombia.

1.2. Objetivos Específicos

- Definir, mediante revisión literaria, los parámetros relevantes para identificar las componentes horizontales y verticales de un sismo a partir de sus características en el dominio del tiempo y la frecuencia.
- Seleccionar, mediante revisión literaria, los sismos relevantes de magnitud moderada y fuerte que serán analizados en el proyecto.
- Desarrollar un código abierto en MATLAB que permita el tratamiento y procesamiento de las señales sísmicas, así como la obtención de parámetros relevantes para el estudio.
- Caracterizar las componentes triaxiales (dos horizontales y una vertical) de los sismos seleccionados teniendo en cuenta los parámetros establecidos.

2. Parámetros para Caracterizar los Registros Sísmicos

Al ser los sismos un fenómeno natural relevante en el diseño de las estructuras y el comportamiento de los suelos, varios investigadores han propuesto diversos parámetros para describir detalladamente un registro sísmico y así poder comparar de forma sistemática múltiples eventos.

En esta investigación se seleccionaron aquellos parámetros que se consideraron relevantes para la caracterización de los sismos, los cuales también han sido usados por otros autores como Kramer (1996, pág. 672) y Elnashai y Di Sarno. (2008)

Como primeros parámetros se encuentran las características generales del sismo, las cuales son reportadas por el SGC y sirven como variables en el análisis que se realizó entre las componentes del sismo. Dentro de este grupo se encuentran:

I. Magnitud del sismo: para este estudio se utilizó la magnitud de momento (M_w) al ser una escala que no presenta problemas de saturación para sismos de magnitudes altas como es el caso de la escala de magnitud local (Richter, M_L). (Kramer, 1996, pág. 672)

II. Distancia epicentral: distancia medida desde el epicentro del sismo hasta la estación que registró el sismo.

III. Distancia hipocentral: distancia medida desde el hipocentro hasta la estación que registró el sismo.

IV. Condiciones locales: en este parámetro se considera si la estación que registró el sismo se encuentra sobre suelo o roca, sin tener en cuenta la composición del suelo.

Los demás parámetros que se tuvieron en cuenta en esta investigación se enuncian a continuación:

V. PGA, PGV y PGD: por sus siglas en inglés, Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity y Peak Ground Displacement, corresponden al máximo valor absoluto de cada componente de aceleración, velocidad y desplazamiento, respectivamente. Estos parámetros dan una medida de las fuerzas inerciales que pueden desarrollarse en la estructura durante el evento sísmico y, en consecuencia, de su capacidad de daño. (Benito & Cabañas)

VI. Intervalo entre picos: son de utilidad para conocer el tiempo que hay entre los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento entre componentes del sismo, pues si los picos llegan muy seguidos pueden ocasionar amplificaciones en las respuestas espectrales de las estructuras. (Kim, Holub, & Elnashai, 2011)

VII. Aceleración y velocidad sostenida: son parámetros que dan una mejor percepción del daño que puede ocasionar un sismo, brindando información sobre la amplitud de múltiples ciclos de carga a los que va a estar sometida la estructura. En este estudio se usan los ciclos tres y cinco correspondientes al tercer y quinto valor de aceleración y velocidad en orden de máxima amplitud, como lo define Nuttli. (1973)

VIII. Duración efectiva: parámetro importante asociado a problemas de fatiga en las estructuras. Existen diferentes métodos para calcular la duración efectiva de un registro sísmico, entre ellos: duración entre intervalos, duración uniforme y duración significativa. Inicialmente se calcularon la duración entre intervalos y la duración significativa, sin embargo, para esta investigación se tuvo en cuenta solo la duración significativa propuesta por Trifunac y Brady (1975b), la cual es definida como el tiempo que tarda el sismo en liberar entre el 5% y el 95% de

su energía total. Se eligió la duración significativa como duración efectiva por ser aplicable tanto para sismos fuertes como para moderados, a diferencia de la duración entre intervalos que se ajusta mejor a sismos con aceleraciones pico más altas, pues está se define como el tiempo entre el primer y el último valor de aceleración que excede 0.05g], (Bolt, 1973) umbral de aceleración que no resulta conveniente en el estudio debido a que algunos registros sísmicos seleccionados (sección 3) presentaban aceleraciones pico mayores que 0.02g.

IX. Intensidad de Arias: es una medida de la capacidad de daño basada en la energía, reflejando la energía total contenida en el acelerograma. Se calcula como presenta la ecuación 1 (Kramer, 1996, pág. 672):

$$I_a (m/s) = \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_r} [a(t)]^2 dt \quad (1)$$

Donde:

$g = \text{gravedad } (m/s^2)$

$a = \text{aceleración del terreno } (m/s^2)$

$t_r = \text{duración total del registro } (s)$

X. Media cuadrática de aceleración (RMS, por sus siglas en inglés): incluye los efectos de amplitud y contenido frecuencial de un registro sísmico, proporciona un valor de la amplitud que está directamente relacionado con el contenido de energía y, por lo tanto, con las capacidades destructivas de la vibración. Es un parámetro sensible al método que se use para calcular la

duración efectiva del sismo. La media cuadrática de aceleración (a_{rms}) es definida mediante la ecuación 2 (Kramer, 1996, pág. 672):

$$a_{rms} (m/s^2) = \sqrt{\frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} [a(t)]^2 dt} \quad (2)$$

Donde:

$T_d =$ duración efectiva del sismo (s)

XI. Intensidad característica: se relaciona linealmente con un índice de daño estructural debido a deformaciones máximas y energía histerética absorbida (Ang, 1990). Se calcula como presenta la ecuación 3:

$$I_c = a_{rms}^{1.5} T_d^{0.5} \quad (3)$$

XII. Velocidad absoluta acumulada (CAV): este parámetro se correlaciona bien con el potencial daño estructural y se calcula como indica la ecuación 4 (Kramer, 1996, pág. 672):

$$CAV (m/s) = \int_0^{T_d} |a(t)| dt \quad (4)$$

XIII. Espectros de respuesta elásticos: Los espectros de respuesta describen la respuesta máxima de un oscilador de un solo grado de libertad a un movimiento de entrada particular en función de la frecuencia natural y el coeficiente de amortiguamiento del oscilador (Chopra, 2014). Dicha respuesta puede expresarse en términos de aceleración (S_a), pseudo aceleración (PS_a), velocidad (S_v), pseudo velocidad (PS_v) o desplazamiento (S_d), para las distintas frecuencias del movimiento.

XIV. Espectro de Fourier: este espectro muestra la distribución de la amplitud del sismo respecto a las diferentes frecuencias que lo componen, brindando información útil y clara de la composición frecuencial de la señal (Kramer, 1996, pág. 672). Del espectro de Fourier se obtiene el parámetro de la frecuencia asociada a la máxima amplitud de Fourier, el cual sirve como primera aproximación del contenido frecuencial de cada señal.

3. Selección de Eventos y Registros Sísmicos

Los registros sísmicos usados en esta investigación fueron obtenidos a partir de la base de datos del SGC, el cual agrupa estos registros en dos catálogos sísmicos: el primero de ellos comprende los eventos ocurridos desde el 1 de junio de 1993 hasta el 31 de diciembre de 2017, y el segundo desde el 1 de enero de 2018 hasta la fecha, siendo este último actualizado en tiempo real. Los datos pertenecientes al segundo catálogo no se pudieron obtener directamente de la base de datos on-line del SGC debido al proceso de actualización que llevaba a cabo el SGC en la fecha

en que se desarrollaba este proyecto. Por este motivo, dicha entidad proporcionó por medio de un servidor FTP los registros de aceleración para cada uno de los eventos sísmicos solicitados.

Para limitar el alcance de este trabajo, se incluyeron en el estudio aquellos sismos relevantes de magnitud moderada y fuerte en Colombia, desde el 1 de junio de 1993 hasta el 30 de abril del 2020. Se seleccionaron los sismos con una magnitud mayor o igual a 4.0 en la escala de momento, y se tuvo en cuenta la distancia entre la estación y el epicentro del sismo, de esta forma, las estaciones seleccionadas para el estudio se encontraban a no más de 50 km del epicentro, esto porque la literatura (Perea & Esteva, 2005), (Bozorgnia & Campbell, 2004), (Kim, Holub, & Elnashai, 2011) indica que a menor distancia epicentral son mayores las aceleraciones máximas de la CV. Adicionalmente se tuvieron en cuenta los registros en los que alguna de las componentes horizontales (Este-Oeste y Norte-Sur) tuviera una aceleración pico mayor o igual a 0.02g, con el fin de tener un mayor número de registros analizados. Por otro lado, el mecanismo de ruptura de falla no fue incluido en el análisis pues desafortunadamente el SGC no reporta esta información.

En total se seleccionaron y analizaron 77 eventos sísmicos diferentes y 101 registros sísmicos, cada uno con tres componentes de aceleración (dos horizontales y una vertical). Los registros fueron clasificados de acuerdo con el nivel de PGA horizontal (PGA_H), teniendo en cuenta que al menos una de las componentes horizontales estuviera dentro del mayor de los tres rangos definidos mostrados en la Tabla 2.

Estos registros tienen magnitudes de momento entre 4.0 y 6.4 y distancias epicentrales entre 3 km y 49.84 km. En el Apéndice A se pueden consultar las características generales (magnitud momento, distancia epicentral, profundidad, entre otras) de los registros y eventos sísmicos usados en esta investigación.

Tabla 2.

Número total de sismos y registros seleccionados y clasificados por nivel de PGAH

Rango de PGA (g)	# Sismos	# Registros
$0.02g \leq \text{PGAH} < 0.05g$	50	58
$0.05g \leq \text{PGAH} < 0.1g$	21	26
$\text{PGAH} \geq 0.10g$	13	17
Total	77	101

Es importante mencionar que el SGC usa diferentes escalas de magnitud para caracterizar los sismos como:

mb: Magnitud calculada a partir de la relación (A/T) en la amplitud de ondas de cuerpo sobre la CV después de aplicar un filtro Butterworth. Donde A es la amplitud del terreno en micrómetros, T es el período en segundos. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

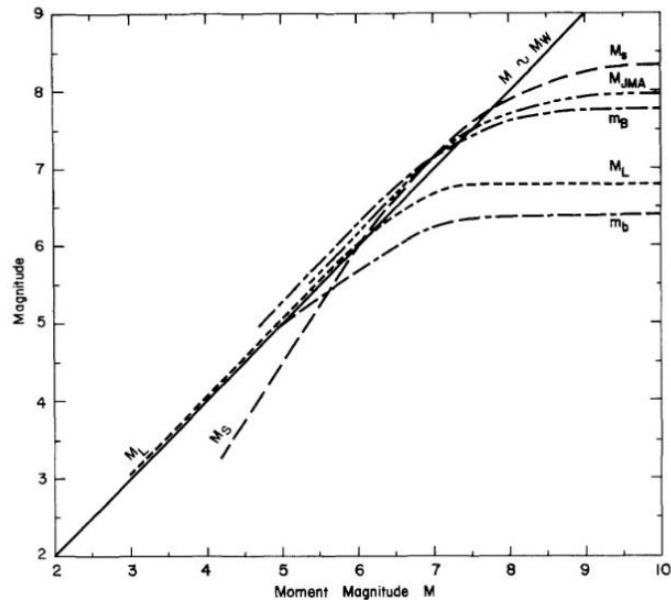
mB: Al igual que la magnitud mb, es medida sobre las ondas de cuerpo, pero para periodos más largos, lo que indica que las amplitudes se toman en sensores de banda ancha. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Mw(mB): Estimación de magnitud Mw basada en la magnitud mB a través de la regresión Mw vs. mB (Bormann & Saul, September/October 2008).

Por tal motivo, y con el fin de uniformizar los datos, se empleó el ábaco de la Figura 1 para transformar todas estas escalas de magnitud a la escala de magnitud momento (M_w).

Figura 1.

Comparación de diferentes escalas de magnitud con la escala de magnitud momento



Nota: Heaton, T.H.; Tajima, F.; and Mori, A.W. (1982). Estimating Ground Motions Using Recorded Accelerograms

4. Código en Matlab para el Procesamiento de las Señales Sísmicas

Se usó la herramienta Matlab R2020a (MathWorks, 2020) para desarrollar un código que permita el tratamiento y procesamiento de las señales sísmicas, así como la obtención de los parámetros descritos en la sección 2. En esta sección se describen generalidades del código y se muestra un ejemplo del tratamiento, procesamiento y obtención de parámetros para el sismo de Mesetas, Meta ($M_w = 6.0$, $PGA_{EW} = 0.223g$, $PGA_{NS} = 0.148g$, $PGA_{CV} = 0.266g$). El sismo ocurrió el 24 de diciembre de 2019, a las 14:03:05, y el registro sísmico seleccionado como ejemplo fue registrado por la estación CLEJA que estaba a una distancia epicentral de 18 km. El

código (script) de Matlab es presentado en el Apéndice B. Estrictamente hablando, el código desarrollado no es totalmente abierto, pues en algunos casos se usan funciones preconstruidas por Matlab. La denotación de código “abierto en Matlab” dada en este proyecto hace referencia a que el código está disponible para que sea modificado posteriormente en Matlab (o exportado a C o C++), de modo tal que sirva de base para trabajos futuros desarrollados por el Grupo de Investigación en Materiales y Estructuras de construcción (INME) de la Universidad Industrial de Santander.

El código generado permite seleccionar e importar los datos de aceleración (tres componentes) de un registro obtenido del archivo .ANC descargado de la base de datos del SGC. Una vez seleccionado el registro, el código genera tres vectores de aceleración, correspondientes a las componentes Norte-Sur (NS), Este-Oeste (EW) y Vertical (V), y otro vector de tiempo.

Las trazas de velocidad y desplazamiento de las tres componentes del registro son calculadas mediante integración de los datos de aceleración y velocidad, respectivamente, y posteriormente graficadas. Luego se obtiene el espectro de Fourier usando la función FFTsignal (desarrollada por los autores), la cual utiliza la transformada rápida de Fourier (comando “fft” en Matlab) para transformar los datos del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia y graficarlos.

4.1. Tratamiento de la señal

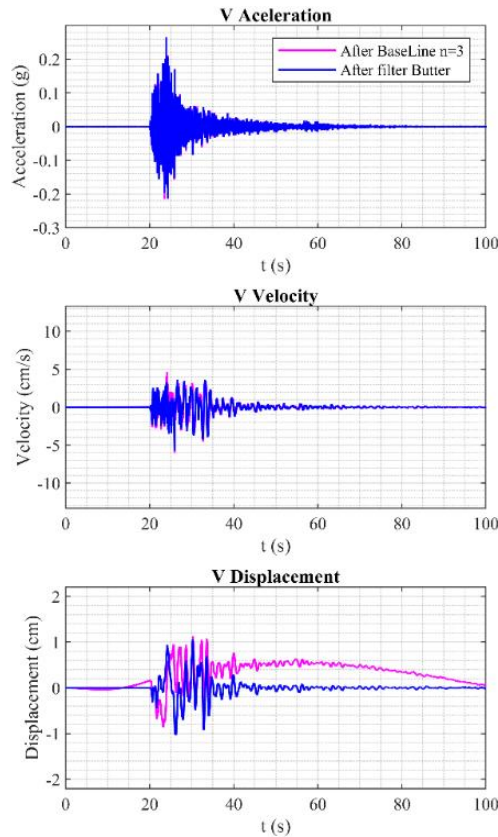
Para evitar errores en las trazas de velocidad y desplazamiento producto de un desfase en los valores del acelerograma respecto a la línea cero de aceleración, el código fue programado para realizar la corrección de línea base empleando el comando “detrend” de Matlab. Esta corrección consiste en ajustar un polinomio a la traza de aceleración y posteriormente sustraer este polinomio

a los valores de aceleración. Adicionalmente, para remover componentes frecuenciales no deseadas en el registro de aceleración (ej., ruido de alta y baja frecuencia) debido a factores externos al sismo, se realiza un filtrado pasa banda tipo Butterworth, por ser el tipo de filtro más utilizado y recomendado en la literatura (Boore, 2005). El comando de Matlab utilizado para aplicar el filtro es “butter”.

Para la corrección de línea base de todos los sismos se eligió un polinomio de grado 3, mientras las características del filtro fueron seleccionadas de forma particular para cada sismo. La elección de las frecuencias límite (o frecuencias de corte) del filtrado se hizo mediante inspección visual del espectro de Fourier y verificando que la traza de desplazamiento que resultara luego de aplicar el filtro fuera coherente y realista. El orden del filtro se mantuvo en $n=4$ para evitar cambios bruscos en la aplicación de los cortes de frecuencias. Típicamente, las frecuencias baja y alta de corte eran 0.2 Hz y 50 Hz, respectivamente. La Figura 2 muestra las trazas de aceleración, velocidad y desplazamiento para el sismo de Mesetas antes y después de aplicar un filtro pasa banda de 0.1 a 90 Hz.

Figura 2.

Trazas de aceleración, velocidad y desplazamiento con y sin filtrado de la CV del sismo de Mesetas de 2019



Un proceso similar al utilizado en este trabajo es aplicado en bases de datos internacionales como la NGA-West2 o NGA-East del Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER). (Ancheta, 2013)

4.2. Procesamiento de la señal y obtención de parámetros

Una vez realizado el tratamiento a las señales de aceleración, se obtienen las trazas corregidas de aceleración, velocidad y desplazamiento, así como el espectro de Fourier. De estos

datos se pueden obtener las respuestas pico y el instante de tiempo asociado para cada componente. Con las respuestas pico de aceleración se calcula la relación V/H, tomando H como la media geométrica de los picos máximos absolutos de aceleración (PGA) de las componentes horizontales (NS y EW) y V como el PGA de la CV.

El código genera y grafica los espectros de respuesta elásticos de pseudo aceleración, aceleración, pseudo velocidad, velocidad y desplazamiento mediante la función NewmarkRS (desarrollada por los autores), la cual emplea el método de Newmark para generar los espectros de respuesta para un sistema de un grado de libertad a partir de un amortiguamiento que puede ser modificado por el usuario. Para esta investigación se definió el amortiguamiento del sistema como el 5% del amortiguamiento crítico (Chopra, 2014). Para garantizar la estabilidad del método, la función NewmarkRS ajusta los parámetros α y β automáticamente en función del paso de tiempo de los registros de aceleración tal como lo describe Chopra (2014). La Figura 3 muestra los espectros de desplazamiento, pseudo velocidad y pseudo aceleración para el sismo de Mesetas de 2019. Es importante destacar que el espectro de respuesta de pseudo aceleración se graficó en escala semilogarítmica para tener una mejor apreciación del comportamiento en el rango de frecuencias altas.

Los demás parámetros mencionados como la intensidad de Arias, aceleración rms, CAV, entre otros, se calcularon generando líneas que siguieran los procedimientos y expresiones descritas en la sección 2 del presente documento. Los resultados de este procedimiento para la componente vertical del sismo de Mesetas se muestran en la Tabla 3. El lector interesado puede consultar los resultados de las otras dos componentes de este registro y de los demás registros en el Apéndice D.

Figura 3.

Espectros de respuesta para la CV del sismo de Mesetas de 2019 obtenidos mediante el código en Matlab

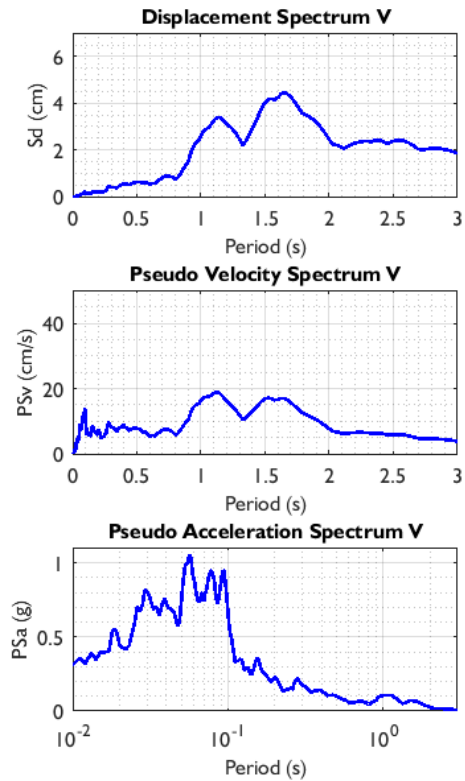


Tabla 3.

Parámetros sísmicos obtenidos del código de Matlab para componente vertical del sismo de Mesetas

<i>Parámetro sísmico</i>	<i>CV</i>
PGA (g)	0.266
Tiempo asociado a PGA (s)	23.905
PGV (cm/s)	5.744
Tiempo asociado a PGV (s)	25.915
PGD (cm)	1.052

Tabla 3.*(Continuación)*

<i>Parámetro sísmico</i>	<i>CV</i>
Aceleración sostenida 3 ciclo (g)	0.212
Aceleración sostenida 5 ciclo (g)	0.202
Velocidad sostenida 3 ciclo (cm/s)	5.568
Velocidad sostenida 5 ciclo (cm/s)	5.369
Tiempo asociado a PGD (s)	30.225
Aceleración rms (g)	0.0441
Intensidad de Arias (m/s)	52.1
Intensidad característica	0.367
CAV (cm/s)	0.4722
Duración significativa (s)	15.63

4.3. Verificación del código

El código programado en Matlab fue sometido a una verificación en dos etapas con el objetivo de dar veracidad a los parámetros calculados y lograr credibilidad suficiente.

Verificación para el sismo de Loma Prieta registrado en las estaciones Gilroy No. 1 y Gilroy No. 2 (1989, Mw=6.9)

Para la primera etapa, se usaron los resultados de los parámetros del sismo de Loma Prieta reportados por Kramer (1996, pág. 672). Los registros para la componente EW de las estaciones Gilroy No. 1 y Gilroy No. 2 fueron descargados de la base de datos del Strong-Motion Virtual Data Center (VDC) (Strong-Motion Virtual Data Center, 2020) y procesados en el código de

Matlab. Los resultados de la comparación para la estación Gilroy No. 1 se muestra en la Tabla 4, mientras que los resultados para la estación Gilroy No. 2 se presentan en el Apéndice C.

Tabla 4.

Comparación de parámetros entre el código de Matlab y GEE para el sismo de Loma Prieta, estación Gilroy No. 1

<i>Parámetro sísmico</i>	<i>Matlab</i>	<i>GEE</i>	<i>% Error</i>
PGA (g)	0.442	0.442	0.00%
PGV (cm/s)	33.705	33.7	0.01%
PGD (cm)	8.538	8.5	0.45%
AMS* Ciclo 3 (g)	0.434	0.434	0.00%
AMS Ciclo 5 (g)	0.418	0.418	0.00%
VMS** Ciclo 3 (cm/s)	31.611	31.6	0.03%
VMS Ciclo 5 (cm/s)	29.915	29.9	0.05%
Aceleración rms*** (g)	0.105	0.112	6.25%
Intensidad de Arias (m/s)	1.677	1.667	0.60%

(*) AMS: Aceleración Máxima Sostenida

(**) VMS: Velocidad Máxima Sostenida

(***) Aceleración rms calculada tomando la duración del sismo como la duración significativa

La segunda parte de la verificación se hizo usando una licencia de prueba del software comercial SeismoSignal (2020), desarrollado por la compañía SeismoSoft para el procesamiento de señales sísmicas. Es importante mencionar que para poder realizar la comparación entre parámetros de intensidad y aceleración rms, los cuales dependen directamente de la duración

asociada al sismo (sección 2), se calcularon estos parámetros con la duración total del registro (t_r) debido a que así lo calcula SeismoSignal. Los resultados se encuentran en la Tabla 5.

Tabla 5.

Comparación de parámetros entre el código de Matlab y SeismoSignal para el sismo de Loma Prieta, estación Gilroy No. 1

<i>Parámetro sísmico</i>	<i>Matlab</i>	<i>Seismo-Signal</i>	<i>% Error</i>
PGA (g)	0.442	0.442	0.00%
Tiempo asociado a PGA (s)	3.92	3.92	0.00%
PGV (cm/s)	33.705	33.711	0.02%
Tiempo asociado a PGV (s)	3.78	3.78	0.00%
PGD (cm)	8.538	8.515	0.27%
Tiempo asociado a PGD (s)	3.64	3.64	0.00%
Aceleración rms (g)	0.052	0.052	0.00%
Intensidad de Arias (m/s)	1.677	1.677	0.00%
Intensidad característica	0.075	0.075	0.00%
CAV (cm/s)	742.689	742.89	0.03%
Duración significativa (s)	3.7	3.7	0.00%

Con base en los resultados mostrados en las Tablas 4 y 5 (y los reportados en el Apéndice C) se comprueba la funcionalidad del código y la veracidad de los resultados calculados.

5. Caracterización de las Componentes Triaxiales

5.1. Parámetros sísmicos

Para la caracterización de las tres componentes sísmicas se exportaron y organizaron mediante tablas en el software Excel los datos de las aceleraciones (corregidas) y los parámetros obtenidos del código de Matlab. Con el fin de observar la variación entre los picos absolutos de aceleración de cada componente, se generaron gráficas en las cuales se representa la variación del PGA (Peak Ground Acceleration) de cada componente en función de características generales del sismo como magnitud y distancias epicentral e hipocentral. Un ejemplo de esto se muestra en la Figura 4, donde se observa un aumento del PGA de la CV con la magnitud del sismo, y en la Figura 5, la cual muestra que los mayores PGA de esa componente se encuentran a menores distancias epicentrales. Las tablas y gráficos de las otras componentes se pueden consultar en los Apéndices D y E.

Figura 4.

Pico de aceleración de la CV vs Magnitud, clasificado por amplitud de PGAH

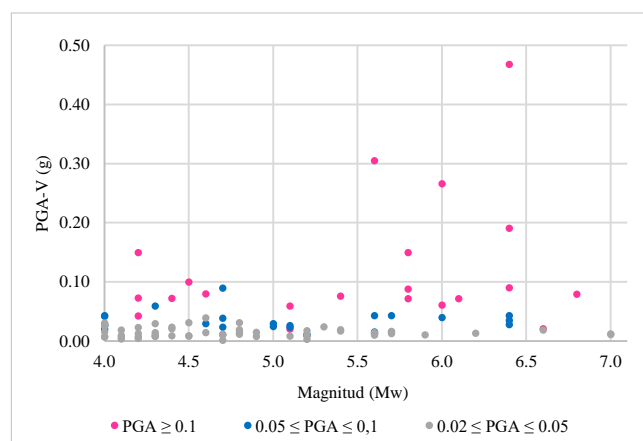
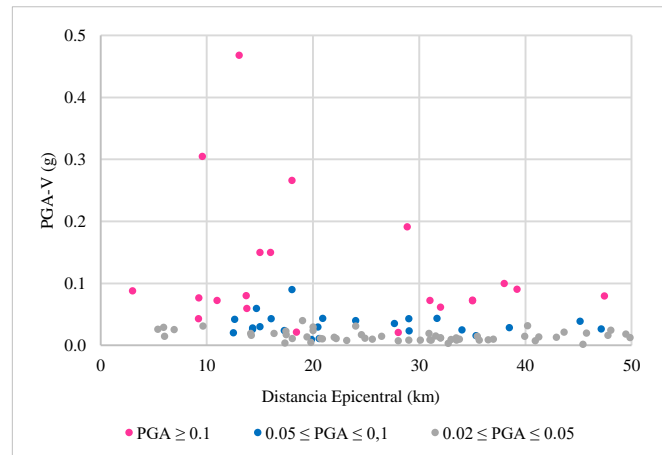


Figura 5.

Pico de aceleración de la CV vs Distancia Epicentral, clasificado por amplitud del PGAH

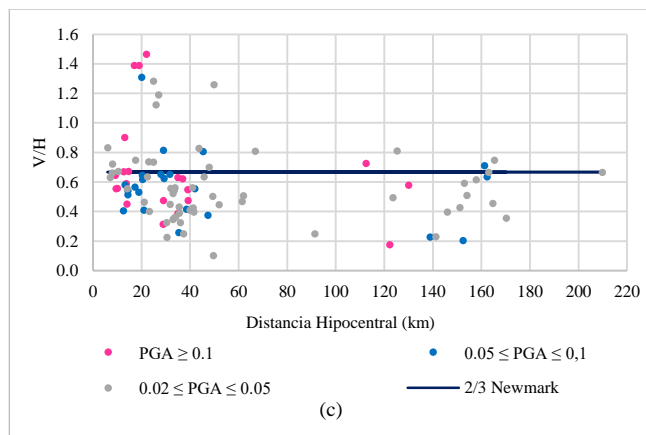
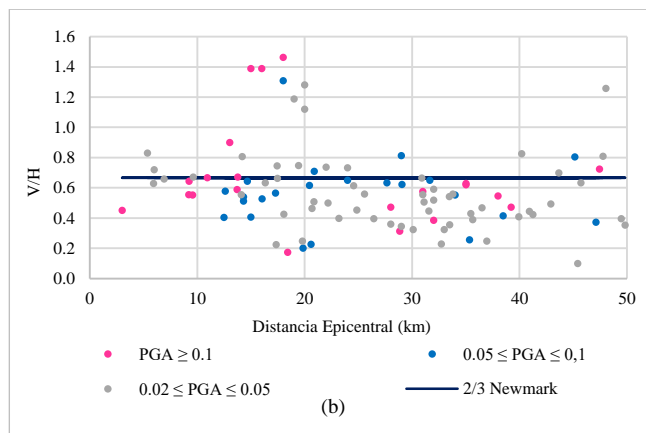
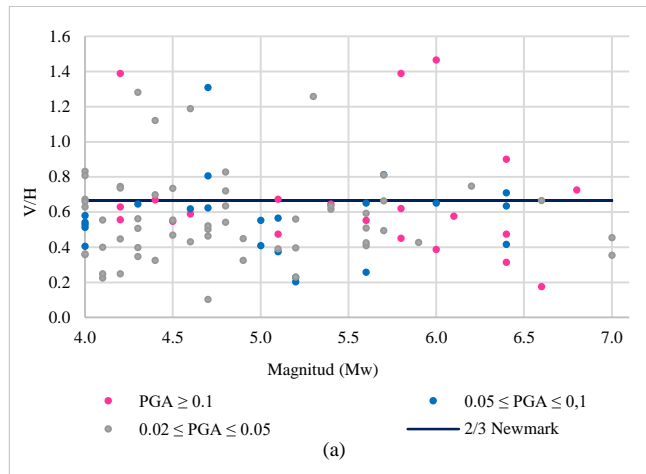


Para la comparación entre los parámetros de la CV y la componente horizontal (en adelante CH), se graficaron los cocientes entre las dos componentes para cada uno de los parámetros sísmicos descritos en la sección 2. La componente CH fue representada en todos los casos como la media geométrica de los parámetros de las componentes ortogonales Este-Oeste y Norte-Sur, por ser esta una definición ampliamente usada por varios autores, por ejemplo, para la definición de ecuaciones de predicción de parámetros sísmicos (ground motion prediction equations, GMPEs) (Beyer & Bommer, s.f.), comúnmente conocidas como ecuaciones de atenuación

Así como para el análisis entre componentes individuales, se realizaron graficas en las que se representa la relación entre V/H y las características generales de los sismos y registros (magnitud, distancia epicentral y distancia hipocentral). Estas gráficas son claves para evaluar si la relación $V/H=2/3$ se ajusta a los sismos de Colombia analizados en esta investigación. Los resultados para los 101 registros, organizados en función del nivel de PGAH, se muestran en la figura 6. En dicha gráfica también se incluye la relación $V/H=2/3$ propuesta por Newmark (1973).

Figura 6.

Relación V/H en función de (a) magnitud, (b) distancia epicentral y (c) distancia hipocentral, clasificada por amplitud del PGAH



Los procedimientos descritos anteriormente se realizaron para todos los parámetros seleccionados en este estudio y los resultados obtenidos pueden ser consultados en el Apéndice E (Figuras E-7 a E-26).

5.2. Respuestas espectrales

Se realizó también un análisis de las respuestas espectrales de pseudo aceleración (PSa) vertical y horizontal para los 101 registros sísmicos. Buscando concordancia con el enfoque establecido para las respuestas máximas en el dominio del tiempo (sección 5.1), la pseudo aceleración espectral horizontal se tomó como la media geométrica de las respuestas espectrales de las componentes horizontales EW y NS.

Para caracterizar los espectros de respuesta se decidió dividirlos por grupos y observar su comportamiento en función de otros parámetros como la distancia epicentral, el tipo de suelo y el PGAH. En la Tabla 6 se muestra el número de registros clasificados por distancia epicentral y tipo de suelo. La clasificación por PGAH se hizo como muestra la Tabla 2.

Tabla 6.

Número de registros de acuerdo con la clasificación por distancia epicentral y tipo de suelo

Dist. Epicentral	Suelo	Roca	Subtotal
0-15 km	9	13	22
15-30 km	22	16	38
30-50 km	21	20	41
Total			101

Cada uno de los espectros de pseudo aceleración fue graficado individualmente y agrupado de acuerdo con la distancia epicentral como se muestra en el Apéndice F. Posteriormente, se obtuvo el promedio de cada grupo de datos para luego obtener graficas comparativas y tener una mejor noción visual de los cambios en los espectros. Las Figuras 7 a 9 muestran un ejemplo de esto.

Los pasos descritos anteriormente se repitieron para la relación V/H de los espectros PSa de cada registro con el fin de observar si el valor de $2/3$ asumido en varias normas de diseño, incluido el reglamento NSR-10, es adecuado para los sismos analizados y es independiente del periodo natural de vibración de la estructura. El análisis de estos resultados se discute en la sección 6.4.

Figura 7.

Espectros PSa individuales para la CV (grupo 0-15 km)

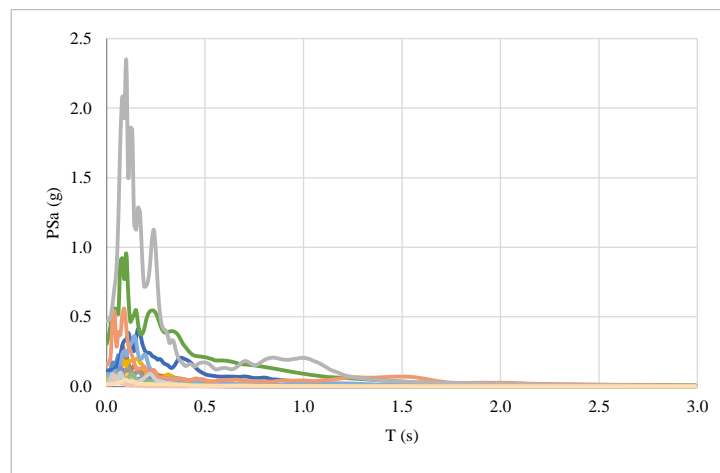


Figura 8.

Espectros PSa verticales promedio, clasificados por distancia epicentral y tipo de suelo (R, Roca; S, Suelo)

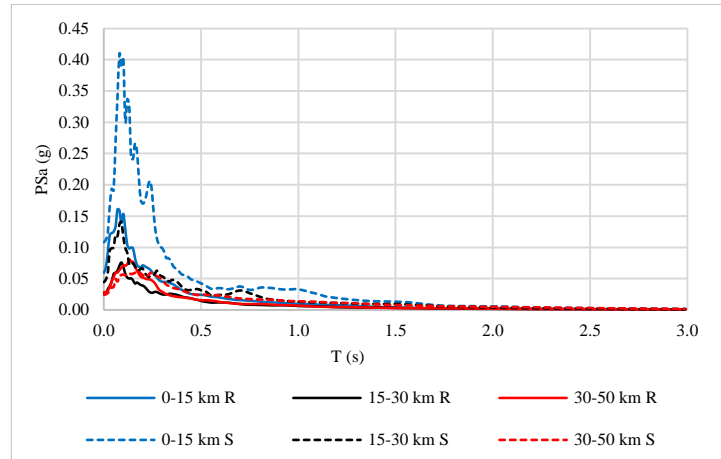
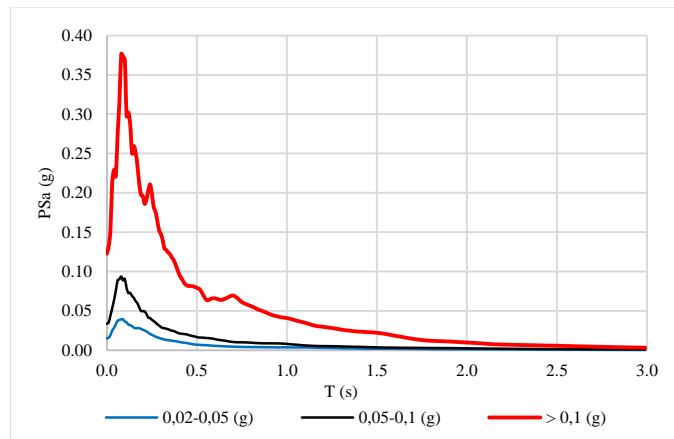


Figura 9.

Espectros PSa verticales promedio, clasificados por amplitud del PGAH



6. Análisis de Resultados

Los principales hallazgos obtenidos a partir de los resultados presentados en las secciones anteriores y en los Apéndice D a E, se discuten a continuación.

6.1. Adquisición y procesamiento de los registros sísmicos

Como primer análisis se debe hacer mención a la cantidad de datos usados para esta investigación, puesto que se esperaba obtener un mayor número de registros para eventos sísmicos moderados y fuertes en los 27 años de información recolectada por el SGC; sin embargo, solo 101 de estos registros cumplieron con los criterios de selección, los cuales tuvieron que ser suavizado en algunos casos (ej., nivel mínimo de PGAH) para tener una base de datos suficientemente amplia. Lo anterior puede ser producto de la falta de estaciones acelerográficas cercanas a las fallas, lugares que son críticos frente a la ocurrencia de un sismo. Un aumento en la cantidad de estaciones y una buena distribución podrían aportar datos importantes en el futuro.

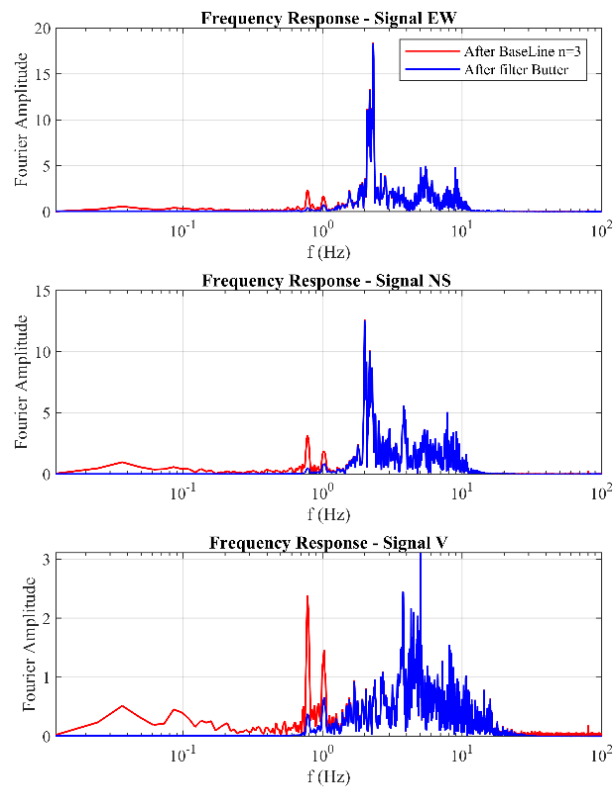
Otro aspecto importante para mencionar es que en las estaciones CPOST y CPTEJ (Apéndice A) se detectaron frecuencias con amplitudes de Fourier considerablemente altas en comparación con la amplitud pico, las cuales no hacen parte de la señal sísmica. Estas amplitudes se encontraban en las frecuencias cercanas a 1 Hz para las estaciones CPOST, en las frecuencias cercanas a 1 Hz y a 30 Hz para las estaciones CPTEJ, y en las frecuencias cercanas a 19 Hz para las estaciones BAR2. Con el objetivo de comprobar que estos comportamientos eran propios de las estaciones y no de los sismos, se consultaron otros sismos registrados por estas estaciones y se observó el mismo comportamiento. Por lo tanto, los filtros pasa banda se ajustaron para eliminar

estas frecuencias indeseadas. Un ejemplo de esto se muestra en la Figura 10 para el registro de Palestina, Caldas ocurrido el 13 de septiembre de 2008 a las 9:32:01, registrado por la estación CPOST.

También se decidió eliminar el sismo de Sotar, Cauca, ocurrido el 18 de agosto de 2004 a las 07:06:49, para las estaciones CPOP3 y CPOP4 pues los datos de la CV en estas estaciones mostraban valores intermitentes de aceleración nula.

Figura 10.

Espectro de Fourier para el registro de Palestina, estación CPOST



6.2. Parámetros sísmicos por componentes

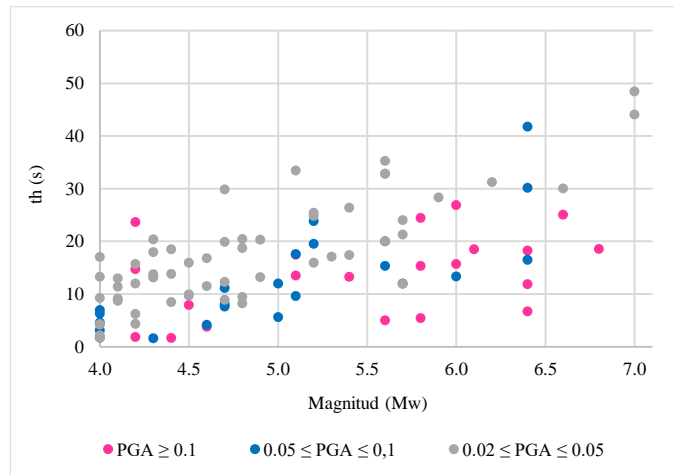
De las gráficas para las respuestas pico (Figura E-1 del Apéndice E) se observó que las aceleraciones pico de las tres componentes aumentan con la magnitud del sismo. Además, se observó que las estaciones que se encuentran más cercanas a la falla registraron mayores niveles de intensidad de PGA, como es el caso de los sismos de Mesetas (Meta), los cuales se abordarán luego con mayor detalle. Estas dos observaciones concuerdan con las respuestas esperadas al emplear ecuaciones de atenuación nacionales o internacionales.

Respecto a las gráficas de frecuencia asociada a la amplitud máxima de Fourier, en las Figuras 5-17 (a), (b) y (c) del Apéndice E, se evidencia principalmente en las componentes horizontales que los registros sísmicos con frecuencias más altas están asociados a magnitudes momento más bajas.

En la Figura E-9 (Apéndice E) se observó que, para todas las componentes, los sismos con menor PGA, especialmente los registros con PGA entre 0.02g y 0.05g, presentaron las mayores duraciones significativas. Este comportamiento se puede explicar debido a que la baja amplitud de aceleración puede confundirse con componentes frecuenciales asociadas a amplitudes bajas que no hacen parte de la señal sísmica y extender su duración. De estas graficas también se evidenció que la duración significativa del sismo sí se ve afectada por los parámetros generales como magnitud, distancia epicentral y distancia hipocentral, ya que a medida que aumenta la magnitud de estos parámetros la duración significativa es mayor, un ejemplo de este comportamiento de la duración significativa se muestra en la Figura 11 para el parámetro de magnitud momento.

Figura 14.

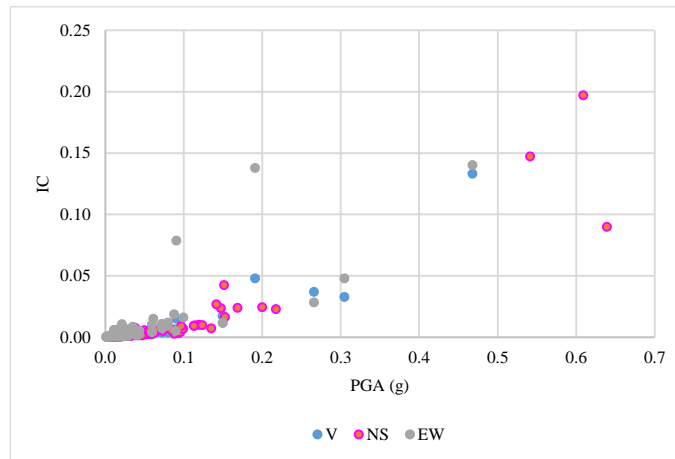
Duración significativa de la CV vs Magnitud momento, clasificado por amplitud del PGAH



En cuanto a los parámetros de la intensidad de Arias, aceleración rms, intensidad característica, CAV y las respuestas sostenidas, se observa (Figuras E-11, E-13, E-15, E-17, E-19, E-21, E-23 y E-25 del Apéndice E) un comportamiento similar en los gráficos de estos parámetros en función de la magnitud y distancia hipocentral. En cada uno de los gráficos y para cada una de las tres componentes sísmicas todos los parámetros aumentan con M_w , también, se observa que los mayores valores de estos seis parámetros se encuentran en las distancias hipocentrales más bajas (menores a 50 km). Además, es importante mencionar que la magnitud de los parámetros mencionados aumenta en función del PGA, es decir, a mayor PGA mayor intensidad de Arias, aceleración rms, CAV, intensidad característica y respuestas sostenidas. Un ejemplo de este comportamiento para el parámetro de intensidad característica se observa en la Figura 12 y en el Apéndice E.

Figura 12.

Intensidad característica vs PGA, en función de las componentes triaxiales



6.3. Componente Vertical vs Componente Horizontal

La relación V/H para los sismos de Colombia es uno de los aspectos claves y motivadores de la ejecución de este trabajo. Los resultados obtenidos mostraron que esta relación se ajusta en gran parte de los datos (75/101) al valor de $2/3$ propuesto por Newmark; sin embargo, algunos registros sísmicos (26/101) presentan cocientes mayores a $2/3$ e incluso otros (8/101) superan el valor de 1.

Dentro de los 101 registros seleccionados se destaca el evento sísmico de Mesetas, Meta ocurrido entre el 24 y el 27 de diciembre de 2019. Los ocho sismos de este evento tienen registros con componentes verticales que no se ajustan a la relación $V/H=2/3$ planteada por Newmark sino que superan la CH (media geométrica) en más de 1 unidad, con valores entre 1.12 y 1.47. El sismo principal del evento ocurrió el 24 de diciembre del 2019 a las 14:03:05, tuvo magnitud $M_w = 6.0$, profundidad cercana a 20 km, y fue clasificado con una intensidad macrosísmica máxima de 6 correspondiente a “daño leve” según la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98), lo cual indica

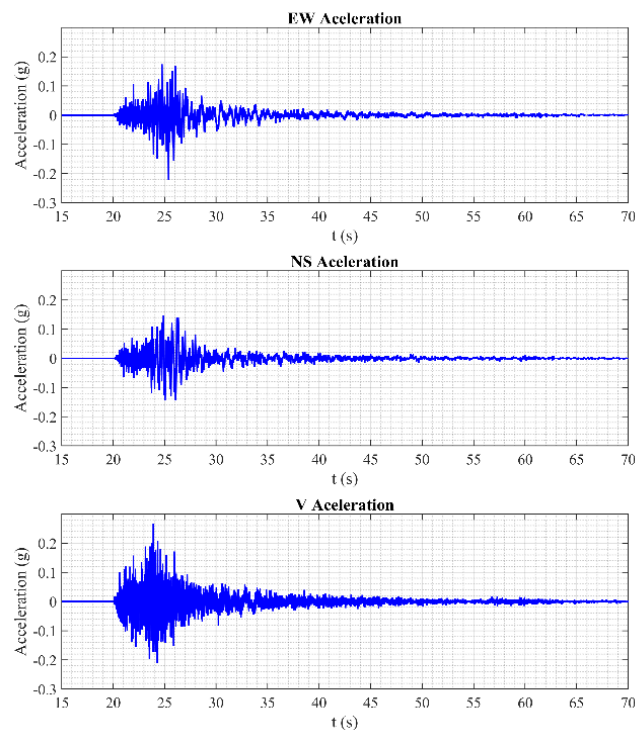
que algunas personas perdieron el equilibrio, hubo caída de objetos y daños leves no estructurales como grietas en muros. (Kramer, 1996, pág. 672)

Los ocho sismos mencionados anteriormente fueron registrados por la estación CLEJA (Lejanías, Meta), cuya ubicación hizo que las distancias epicentrales no fueran mayores a 20 km, valor relativamente cercano a la falla; las magnitudes de momento de estos eventos variaron entre 4.2 y 6.0 y la aceleración máxima registrada fue de 0.266g, correspondiente a la CV. También es importante mencionar que la geología superficial sobre la cual se encuentra la estación CLEJA se clasifica como suelo. Las trazas de aceleración de las tres componentes EW, NS y CV para la estación CLEJA del sismo de Mesetas se presentan en la Figura 13.

Figura 13.

Trazas de aceleración de las tres componentes para el registro de Mesetas, Meta - 24/12/2019

14:03:05



Como se mencionó anteriormente, 26 de los 101 registros sísmicos analizados tuvieron una relación V/H mayor a 2/3, lo que representa aproximadamente un 26% de los sismos analizados. Las características asociadas a estos registros refuerzan lo encontrado para los sismos de Mesetas, puesto que aproximadamente el 81% de los registros con V/H mayor a 2/3 tienen profundidades menores a 20 km y el 77% fueron registrados por estaciones con distancias epicentrales menores a 30 km; en cuanto a la geología local asociada a la estación no se llega a establecer una tendencia clara pues la mitad de los 26 registros están ubicados sobre suelo y el resto sobre roca. Se recomienda analizar con más detalle la composición geológica para dar un juicio más apropiado sobre esta característica.

Los principales hallazgos de los parámetros restantes son:

- La duración significativa del sismo para la CV es casi siempre mayor que la CH, es decir, el cociente de las duraciones de la CV y la CH es mayor a 1 para el 77% del total de registros (Figura E-16 del Apéndice E).

- A excepción de algunos sismos como los de Mesetas, para los demás parámetros se observan (Apéndice E) un comportamiento similar en el que la relación entre la CV y la CH es menor a 1 en el 91% de los casos para la intensidad de Arias, el 92% para la aceleración rms, el 92% para el CAV, el 86% para la intensidad característica y el 91% para las respuestas sostenidas.

6.4. Respuestas espectrales

La Figura 8 muestra la relación V/H promedio para espectros PSa, clasificados por distancia epicentral y tipo de suelo R (Roca) y S (Suelo). Se evidencia de esta figura y de las Figs.

F-1 a F-5 en el Apéndice F, que las componentes CV y CH asociadas a estaciones acelerográficas ubicadas sobre suelo tienen una mayor amplitud de la respuesta espectral que los que están ubicados sobre roca, en especial en la zona de periodos cortos (menores a 0.5 s). Este resultado es consistente con lo reportado por otros autores como (Bozorgnia & Campbell, 2004) y (Bozorgnia, Niazi, & Campbell, s.f.).

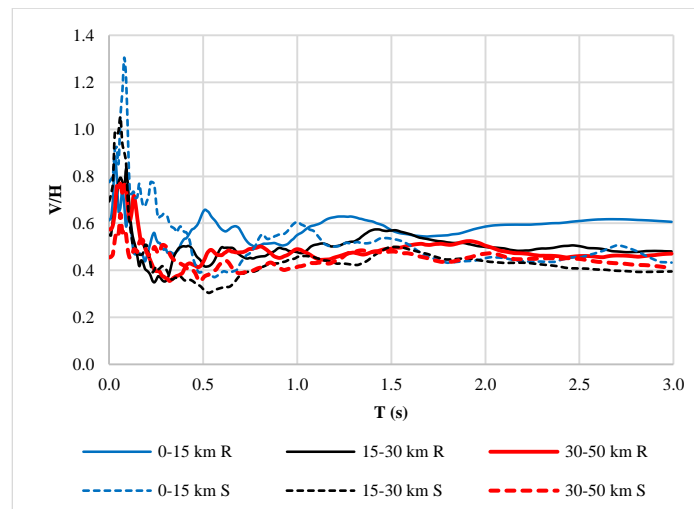
Es también notable la influencia de la distancia epicentral en la pseudo aceleración espectral de la CV, tal como se observa en la Figura 8, en donde para las distancias menores a 15 km las amplitudes del espectro de respuesta son relativamente altas (mayores a 0.08g). Esto también ocurre para los registros con PGAH mayor a 0.1g (Figura 9). En ambos casos, la CV tiene amplitudes altas o relativamente altas en los periodos cortos y cae abruptamente en los periodos naturales mayores a 0.5 s, mientras que la CH se mantiene con amplitudes altas en un espectro más amplio de periodos intermedios (Figs. 6-1 a 6-4). Este comportamiento obedece a las diferencias en el contenido frecuencial de cada componente, pues como se mencionó anteriormente (sección 6.2) y como se puede apreciar en la Fig. 13, la CV generalmente está compuesta por ondas de altas frecuencias, indicando que el efecto de esta componente será mayor en estructuras con periodos de vibración vertical cortos (0 – 0.5 s).

En cuanto a la relación V/H entre respuestas espectrales, se observa de la Figura 14 que para los periodos cortos se tienen cocientes superiores a 2/3 e incluso mayores a 1 para las estaciones que están sobre suelo, intensificándose este comportamiento en las estaciones cercanas a la falla. Para los periodos mayores a 0.5 s, el cociente V/H es cuasi-constante y oscila entre 0.4 y 0.6, perdiendo importancia los factores de distancia epicentral y tipo de suelo. Estos resultados indican que usar una relación V/H igual a 2/3 subestimaría los efectos de la CV en las estructuras

con periodos de vibración vertical cortos, en especial cuando la estructura es cercana a una falla activa.

Figura 14.

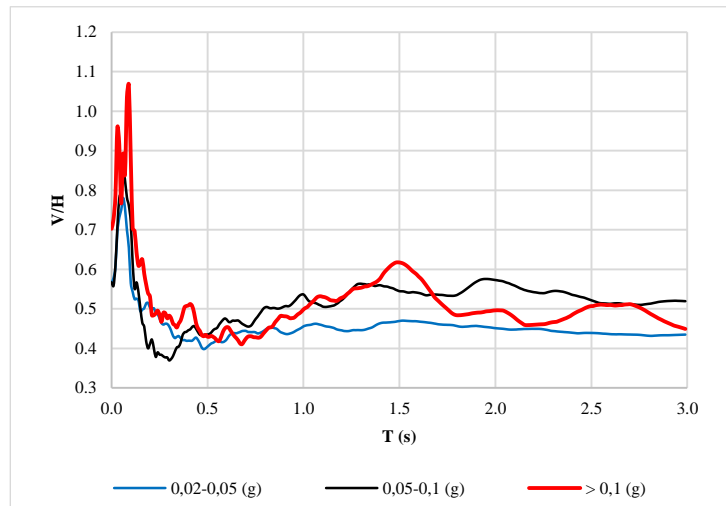
Relación V/H promedio para espectros PSa, clasificados por distancia epicentral y tipo de suelo R (Roca) y S (Suelo)



De la clasificación por amplitud de PGA mostrada en la Figura 15, los hallazgos importantes se observan en el rango de periodos de 0 a 0.2 segundos, donde la componente vertical supera el valor de $2/3$ propuesto en el reglamento NSR-10 para tener en cuenta los efectos de la CV. Este comportamiento es más prominente para los sismos con PGAH mayor a 0.1g.

Figura 15.

Relación V/H promedio para espectros PSa, clasificados por amplitud del PGAH



7. Conclusiones

Las principales conclusiones obtenidas a partir del estudio son:

1. Los parámetros usados para la caracterización de los sismos fueron adecuados y brindaron información valiosa sobre el comportamiento de las componentes triaxiales. Se resaltan los parámetros PGA, la relación V/H, duración efectiva y los espectros de respuesta PSa, los cuales muestran la influencia de las características generales del sismo.

2. En total, 101 registros sísmicos, con fechas entre el 1 de enero de 1993 y el 30 de abril del 2020, cumplieron con los criterios de selección para realizar la caracterización de los sismos moderados y fuertes en Colombia. Estos criterios consistieron en seleccionar los registros con

magnitud momento mayores a 4.0, con distancias epicentrales menores a 50 km y que tuvieran PGAH mayor a 0.02g.

3. Con base en la validación mediante el software comercial SeismoSignal, el código desarrollado en Matlab resultó satisfactorio para el tratamiento, procesamiento y obtención de parámetros de las señales sísmicas, aportando resultados confiables y precisos.

4. El PGA de la componente vertical de los sismos en Colombia toma importancia en los sitios con distancias epicentrales cortas (menores a 20 km), ya que a medida que disminuye la distancia epicentral se evidencian aumentos en las aceleraciones del suelo que llegan a superar los de las componentes horizontales. Factores como distancias hipocentrales cortas a intermedias (menores a 50 km) y magnitudes moderadas y altas del sismo ($M_w > 5.5$) también tienen una incidencia importante en estas amplificaciones.

5. A partir de los espectros de respuesta se evidencia que la componente vertical puede afectar significativamente las estructuras con periodos cortos de vibración, observándose amplitudes espectrales considerables para sistemas con periodos menores a 0.2 segundos. Estos efectos son más notables cuando se trata de sismos de fuente cercana (distancia epicentral menor a 15 km) y niveles de magnitudes que generen PGAH mayores a 0.1g.

6. Las amplificaciones en los periodos cortos de vibración de los espectros de respuesta también se ven fuertemente influenciadas por la geología superficial del lugar, ya que se evidencian mayores amplitudes cuando las estaciones se encuentran ubicadas sobre suelo que sobre roca. Estos resultados son consistentes con lo reportado en la literatura para otros ambientes sismo-tectónicos internacionales.

7. La relación $V/H=2/3$ adoptada en varios códigos de diseño sismo resistente, entre ellos la NSR-10, no siempre es válida para representar los efectos de la componente vertical, esto debido a factores como:

- Las amplificaciones de las aceleraciones de la componente vertical en los sismos cercanos a la falla en donde incluso en algunos casos superan a la componente vertical.

- La diferencia en el contenido frecuencial de las señales sísmicas, mientras la componente vertical tiene un alto contenido frecuencial (periodos cortos) las aceleraciones horizontales generalmente están asociadas a frecuencias medias.

- Las diferencias observadas en los espectros de respuesta de pseudo aceleración, en donde para periodos entre 0 - 0.2 segundos la relación V/H es mayor a los $2/3$ e incluso llega a superarla en más de 1 unidad, adicionalmente la forma del espectro muestra que la CV afecta fuertemente las estructuras en una estrecha banda de periodos cortos para luego atenuarse rápidamente, mientras que la CH afecta en menor medida en una banda de periodos más amplia.

Referencias

- Alemdar, B, et al. *Near-fault vertical ground motion effects on the response of balanced cantilever bridges*. Volume 173 Issue 1, March, 2020, pp. 17-33. Bridge Engineering.
- Ancheta, et al. *PEER NGA-West2 Database*. Pacific Earthquake Engineering Research Center. 2013.
- Ang, A.H.S. *Reliability bases for seismic safety assessment and design, Proceedings, Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Earthquake Engineering Research Institute, Palm Springs, Vol. I, pp. 29-45, 1990.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Tomo 2*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica
- Benito, B and Cabañas, L. *Caracterización del Movimiento del Suelo en Ingeniería Sísmica*. E.U.I.T. de Topografía (UPM).
- Benjumea, José. *Experimental and Analytical Seismic Studies of a Two-Span Bridge System with Precast Concrete Elements and ABC Connections* [PhD Thesis]. University of Nevada, Reno, 2019.
- Beyer, K, Bommer, J. *Relationships between Median Values and between Aleatory Variabilities for Different Definitions of the Horizontal Component of Motion*. Bulletin of the Seismological Society of America; 96 (4A): 1512–1522. doi: <https://doi.org/10.1785/0120050210>
- Bolt, B.A. *Duration of strong ground motions*. Proceedings of the 5th World Conference on Earthquake Engineering, 1, 1304 – 1313, 1973.

- Boore, D.M, and Bommer, J.J, (2005). *Processing of strong-motion accelerograms: needs, options and consequences*. vol. 25, pp. 93-115
- Bormann, P. and Saul, J. (September/October 2008). *The New IASPEI Standard Broadband Magnitude m_B* . GFZ German Research Centre for Geosciences. Seismological Research Letters Volume 79, Number 5.
- Bozorgnia Y, Niazi M, Campbell KW. (1995). *Characteristics of Free-Field Vertical Ground Motion during the Northridge Earthquake*. Earthquake Spectra. 11(4):515-525.
doi:10.1193/1.1585825
- Bozorgnia, Y. and Campbell, K. W. (2004). *The Vertical-To-Horizontal Response Spectral Ratio And Tentative Procedures For Developing Simplified V/H And Vertical Design Spectra*. Journal of Earthquake Engineering, Vol. 8, No. 2. 175–207
- Bureau, D. J. (1981). *Near-source peak ground accelerations (abstract)*. Earthquake Notes 52, 81.
- Cabrera S, Oscar. (2013). *Incidencia de la componente vertical sísmica en el comportamiento estructural de una edificación en mampostería estructural*. [Tesis de Maestría]. Universidad del Valle. Colombia.
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de estructuras*. Cuarta edición. University of California at Berkeley, pp. 756.
- Elnashai, A. S. and Di Sarno, L. (2008). *Fundamentals of Earthquake Engineering*. Wiley; 1st Edición, United Kingdom.
- Elnashai, A. S. and Papazoglou, A. J. (1997). *Procedure and Spectra for Analysis of RC Structures Subjected to Strong Vertical Earthquake Loads*. Journal of Earthquake Engineering, 1:1, 121-155, DOI: 10.1080/13632469708962364
- Heaton, T.H, Tajima, F., and Mori, A. W. (1982). *Estimating Ground Motions Using Recorded*

Accelerograms.

- International Code Council., Building Officials and Code Administrators International., International Conference of Building Officials., & Southern Building Code Congress International. (2000). *International building code*. Falls Church, Va: International Code Council.
- Kim, S. J., Holub, C. J., and Elnashai, A. S. (2011). *Analytical assessment of the effect of vertical earthquake motion on RC bridge piers*. Journal of Structural Engineering, 137(2), 252–260
- Kim, S. J., Holub, C. J., and Elnashai, A. S. (2011). *Seismic Assessment Of Rc Structures Considering Vertical Ground Motion*, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2008.
- Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. University of Washington. pp. 672.
- MathWorks. (15 de octubre de 2020). *Matlab*. Obtenido de <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>.
- Ministerio de Fomento. (2002). *Real Decreto 997/2002 por el que se aprueba la Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación (NCSE-02)*. Madrid, Boletín Oficial del Estado, 27 de septiembre de 2002, 96 p.
- Newmark, N. M. (1973). *A study of vertical and horizontal spectra, Report WASH1255*, Washington, D.C., U.S. Atomic Energy Commission, Directorate of Licensing
- Nuttli, O.W. (1973). *Seismic wave attenuation and magnitude relations for eastern North America*, Journal of Geophysical Research, Vol. 78, pp. 876-885.
- Papazoglou, A. J. and Elnashai, A. S. (1996). "Analytical and field evidence of the damaging effect of vertical earthquake ground motion," Earth. Eng. and Struct. Dyn. 25, 1109-1137.

- Perea, T., and Esteva, L. (2005). Componente Vertical De Registros Sísmicos En México Y Su Efecto En La Respuesta Sísmica No Lineal De Edificios. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 79(72), 45–79.
- SEISMOSOFT. *Software Solutions*. Obtenido de <https://seismosoft.com/products/seismosignal/> [citado 15 de octubre de 2020].
- Servicio Geológico Colombiano. *Catálogo de aceleraciones, SGC: Servicio Geológico colombiano*. [citado 15 de Octubre de 2020].
- Strong-Motion Virtual Data Center (VDC). *CSMIP: Gilroy Array Sta 1, CA. Gavilan College, Water Tank*. Obtenido de <https://strongmotioncenter.org/vdc/scripts/stnpage.plx?stations=563> [citado 15 de octubre de 2020].
- Trifunac, M. D. and Brady, A. G. (1975b) *A study of the duration of strong earthquake ground motion*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol., 65, pp. 581-626.
- Vilera, L., Rivero, P., and Lobo, W. (diciembre-marzo, 2008). Efectos sísmicos de la componente vertical en edificios aporricados de acero. *Revista Ciencia e Ingeniería*. Vol. 29, No. 1, pp. 79-88,. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/5075/507550781011.pdf>
- Wilson, T., Chen, S., & Mahmoud, H. (2015). *Analytical case study on the seismic performance of a curved and skewed reinforced concrete bridge under vertical ground motion*. Colorado State University, United States.

Apéndices

Apéndice A. Características generales de los sismos en Colombia.

Tabla A- 1. Características generales reportadas por el SGC de los sismos con $PGAH \geq 0.1g$.

ID	Sismo	MI	Mw	Prof. [km]	Código estación	Geología	Topografía	Dist. Epicentral [km]	Dist. Hipocentral [km]
1	Calima, Valle del Cauca 8/02/1995 18:40:25	6.6	6.8	102	CTRUJ	Roca	Ondulada	47.438	112.492
2	Risaralda, Caldas 19/08/1995 21:43:33	6.5	6.6	120.9	CANSE	Roca	Ondulada	18.429	122.297
3	Ricaurte, Narino 18/07/1998 23:51:28		4.6	0	CRICA	Suelo	Ondulada	13.698	13.698
4	Cordoba, Quindio 25/01/1999 18:19:17	6.3	6.4	0	CCAST	Suelo	Plana	39.202	39.202
5	Cordoba, Quindio 25/01/1999 18:19:17	6.3	6.4	0	CARME	Suelo	Plana	13.023	13.023
6	Cordoba, Quindio 25/01/1999 18:19:17	6.3	6.4	0	CFLAN	Suelo	Plana	28.854	28.854
7	Toro, Valledel Cauca 8/03/2005 15:59:43	5.2	5.1	5	CVERS	Suelo	Ondulada	13.766	14.646
8	Quetame, Cundinamarca 24/05/2008 19:20:44	5.7	5.6	0.3	CQUET	Roca	Ondulada	9.571	9.576
9	Fómeque, Cundinamarca 24/05/2008 19:23:04	4.5	4.4	6.3	CQUET	Roca	Ondulada	10.941	12.625
10	Quetame, Cundinamarca 25/05/2008 9:39:53	4.3	4.2	4	CQUET	Roca	Ondulada	9.210	10.041
11	Colombia, Huila 6/02/2017 13:02:44		5.4	0	CCOLO	Suelo	Ondulada	9.243	9.243

ID	Sismo	MI	Mw	Prof. [km]	Código estación	Geología	Topografía	Dist. Epicentral [km]	Dist. Hipocentral [km]
12	Mar Caribe 18/08/2018 19:39:09		5.8	14	CAP2	Roca	Ondulada	3.000	14.000
13	Mar Caribe 4/10/2018 19:59:41		5.1	4	PRV	Roca	Ondulada	28	29
14	Océano Pacífico 23/11/2018 17:40:47		4.5	11	PTA	Roca	Ondulada	38.000	39.000
15	Versalles, Valle del Cauca 23/03/2019 19:21:17		6.1	126	PAL	Roca	Montañosa	31	130
16	Mesetas, Meta 24/12/2019 19:03:52		6	13	CLEJA	Suelo		18.000	22.000
17	Mesetas, Meta 24/12/2019 19:03:52		6	13	URMC	Suelo		32.000	35.000
19	Mesetas, Meta 24/12/2019 19:15:43	4.3	4.2	6	CLEJA	Suelo		16.000	17.000
18	Mesetas, Meta 24/12/2019 19:15:43	4.3	4.2	6	URMC	Suelo		35.000	35.000
20	Mesetas, Meta 24/12/2019 19:19:04		5.8	12	CLEJA	Suelo		15	19
21	Mesetas, Meta 24/12/2019 19:19:04		5.8	12	URMC	Suelo		35	37

Tabla A- 2. Características generales reportadas por el SGC de los sismos con $0.05g \leq PGAH \leq 0.1g$.

ID	Sismo	MI	Mw	Prof. [km]	Código estación	Geología	Topografía	Dist. Epicentral [km]	Dist. Hipocentral [km]
22	Cordoba, Quindio 25/01/1999 18:19:17	6.3	6.4	0	CBOCA	Roca	Plana	38.483	38.483
23	El Calvario, Meta 1/06/1999 21:42:13	5.2	5.1	0.6	CVIL1	Roca	Plana	17.270	17.280
24	Toro, Valle del Cauca 8/03/2005 15:59:43	5.2	5.1	5	CPOST	Suelo	Plana	47.127	47.391
25	Cordoba, Quindio 22/06/2005 8:07:54	4.1	4	1.7	CPOST	Suelo	Plana	14.305	14.406
26	Cordoba, Quindio 22/06/2005 8:07:54	4.1	4	1.7	CCALA	Roca	Ondulada	12.480	12.595
27	Cordoba, Quindio 22/06/2005 8:07:54	4.1	4	1.7	CARME	Suelo	Plana	14.305	14.406
28	Ricaurte, Narino 25/11/2006 13:50:04	4.8	4.7	4	CSAMA	Roca	Ondulada	29.041	29.315
29	Fómeque, Cundinamarca 24/05/2008 17:08:15	4.1	4	4	CQUET	Roca	Ondulada	12.595	13.215
30	Quetame, Cundinamarca 24/05/2008 19:20:44	5.7	5.6	0.3	CBOG2	Suelo	Ondulada	35.348	35.349
31	Quetame, Cundinamarca 24/05/2008 19:20:44	5.7	5.6	0.3	CVIL1	Roca	Plana	31.660	31.661
32	El Calvario, Meta 24/05/2008 20:08:02	4.4	4.3	14	CQUET	Roca	Ondulada	14.666	20.275
33	El Calvario, Meta 24/05/2008 20:21:31	4	4	9.9	CQUET	Roca	Ondulada	16.036	18.846
34	Palestina, Caldas 13/09/2008 9:32:01	5.3	5.2	137.4	CPER2	Suelo	Plana	20.583	138.933
35	Caloto, Cauca 18/12/2009 14:30:03	5.3	5.2	151.2	CPTEJ	Suelo	Ondulada	19.858	152.498

ID	Sismo	MI	Mw	Prof. [km]	Código estación	Geología	Topografía	Dist. Epicentral [km]	Dist. Hipocentral [km]
36	Cumbal, Narino 29/10/2014 14:52:10		4.6	0.1	CCUMB	Roca	Ondulada	20.445	20.445
37	Los Santos, Santander 10/03/2015 20:55:44		6.4	160	CGIR2	Roca	Plana	20.886	161.357
38	Los Santos, Santander 10/03/2015 20:55:44		6.4	160	CBUCF	Roca	Ondulada	27.649	162.371
39	Juradó, Choco 12/10/2015 4:35:40		4.7	4.4	CPTAR	Roca	Ondulada	45.138	45.352
40	Mar Caribe 29/10/2018 21:31:18		5	15	CAP2	Roca	Ondulada	15.000	21.000
41	Mar Caribe 25/11/2018 3:40:50		6	14	PRV	Roca	Ondulada	24.000	28.000
42	Mar Caribe 25/11/2018 20:56:35		5.7	1	PRV	Roca	Ondulada	29.000	29.000
43	Juradó, Chocó 24/05/2019 16:12:46		5	25	PTA	Roca	Ondulada	34	42
44	Mesetas, Meta 25/12/2019 2:11:22		4.7	10	CLEJA	Suelo		18.000	20.000

Tabla A- 3. Características generales reportadas por el SGC de los sismos con $0.02g \leq PGAH \leq 0.05g$.

ID	Sismo	MI	Mw	Prof. [km]	Código estación	Geología	Topografía	Dist. Epicentral [km]	Dist. Hipocentral [km]
45	Salgar, Antioquia 7/02/1994 12:50:15	4.7	4.6	0	CANDE	Roca	Ondulada	35.459	35.459
46	San José Del Palmar, Choco 28/02/1994 4:55:13	4.8	4.7	20	CANSE	Roca	Ondulada	45.421	49.629
47	Fresno, Tolima 16/12/1995 13:02:19	4.3	4.2	1.9	CVHER	Roca	Ondulada	17.433	17.536
48	Sipi, Choco 19/02/1997 18:25:14	5.8	5.7	115.9	CROLD	Roca	Ondulada	42.911	123.589

ID	Sismo	MI	Mw	Prof. [km]	Código estación	Geología	Topografía	Dist. Epicentral [km]	Dist. Hipocentral [km]
49	Sipi, Choco 19/02/1997 18:25:14	5.8	5.7	115.9	CTRUJ	Roca	Ondulada	47.762	125.356
50	Genova, Quindio 11/12/1997 7:56:29	6.5	6.6	207.5	CSEVI	Roca	Ondulada	30.896	209.788
51	El Calvario, Meta 10/06/1999 3:21:59	4.8	4.7	4	CVIL1	Roca	Plana	20.676	21.059
52	Zapatoca, Santander 8/11/1999 5:51:20	6.2	6.2	164.2	CBUC5	Suelo	Plana	19.422	165.345
53	Galeras, Narino 30/07/2000 14:35:35	4.1	4	2.9	CPAS2	Roca	Ondulada	5.361	6.095
54	Los Santos, Santander 12/09/2000 10:54:13	5.9	5.9	150	CBUC5	Suelo	Plana	18.049	151.082
55	Colombia, Huila 22/01/2003 15:55:35	5.3	5.2	0	CCOLO	Suelo	Ondulada	33.787	33.787
56	Sotara, Cauca 18/08/2004 7:06:49	5.2	5.1	0.1	CPOP2	Suelo	Plana	35.646	35.646
57	Los Santos, Santander 25/02/2005 6:41:24	5.8	5.7	162.1	CBUC5	Suelo	Plana	17.455	163.036
58	Purace, Cauca 6/03/2007 13:05:08	5	4.9	4	CPOP3	Suelo	Plana	31.546	31.799
59	Purace, Cauca 6/03/2007 13:05:08	5	4.9	4	CPOP4	Suelo	Plana	30.085	30.35
60	Los Santos, Santander 17/02/2008 21:15:03	5.7	5.6	152.6	CBUC5	Suelo	Plana	20.864	154.02
61	Quimbaya, Quindio 31/03/2008 23:15:24	4.4	4.3	32.1	CPER2	Suelo	Plana	26.439	41.586
62	Quimbaya, Quindio 31/03/2008 23:15:24	4.4	4.3	32.1	CARME	Suelo	Plana	25.568	41.038
63	Quetame, Cundinamarca 24/05/2008 19:20:44	5.7	5.6	0.3	CREAC	Suelo	Edificio	41.248	41.249

ID	Sismo	MI	Mw	Prof. [km]	Código estación	Geología	Topografía	Dist. Epicentral [km]	Dist. Hipocentral [km]
64	Quetame, Cundinamarca 24/05/2008 19:20:44	5.7	5.6	0.3	CBOG1	Suelo	Plana	39.925	39.926
65	El Calvario, Meta 24/05/2008 20:36:06	4.1	4	3.9	CQUET	Roca	Ondulada	9.621	10.381
66	Quetame, Cundinamarca 28/05/2008 3:12:06	4	4	4	CQUE2	Suelo	Ondulada	5.926	7.15
67	Quetame, Cundinamarca 28/05/2008 3:12:06	4	4	4	CQUET	Roca	Ondulada	6.91	7.984
68	Palestina, Caldas 13/09/2008 9:32:01	5.3	5.2	137.4	CPOST	Suelo	Plana	49.455	146.029
69	Palestina, Caldas 13/09/2008 9:32:01	5.3	5.2	137.4	CANSE	Roca	Ondulada	32.707	141.239
70	Cajamarca, Tolima 9/11/2008 8:00:55	4.1	4	4.1	CARME	Suelo	Plana	33.492	33.492
71	Sotara, Cauca 6/06/2010 20:37:50	4.2	4.1	1.5	CPOP5	Suelo	Plana	23.172	23.22
72	San Pelayo, Cordoba 7/07/2010 20:38:54	4.2	4.1	25	CMONT	Suelo	Ondulada	17.345	30.428
73	Ansermanuevo, Valle 1/06/2011 22:58:00	4.5	4.4	19.8	CVERS	Suelo	Ondulada	43.646	47.927
74	Guaitarilla, Nariño 9/02/2013 14:16:05	6.4	7	162.8	CSAMA	Roca	Ondulada	24.866	164.688
75	Guaitarilla, Nariño 9/02/2013 14:16:05	6.4	7	162.8	CRICA	Suelo	Ondulada	49.836	170.257
76	Uribia, Guajira 27/02/2013 18:49:19	4.5	4.3	53.6	CURIB	Roca	Ondulada	31.125	61.982
77	Los Santos, Santander 7/02/2014 20:37:11		5.4	156	CGIR2	Roca	Plana	24.546	157.919
78	Bahia Solano, Chocó 7/10/2014 6:05:55	4	4.8	15.5	CBSOL	Suelo	Plana	16.315	22.504

ID	Sismo	MI	Mw	Prof. [km]	Código estación	Geología	Topografía	Dist. Epicentral [km]	Dist. Hipocentral [km]
79	Maicao, Guajira 9/05/2015 14:31:52		4.8	17.2	CURIB	Roca	Ondulada	40.201	43.726
80	Uribe, Guajira 31/05/2015 18:41:59		4	65.3	CURIB	Roca	Ondulada	14.186	66.823
81	Cordoba, Quindio 21/08/2015 14:16:16		4.1	0.9	CARME	Suelo	Plana	14.109	14.138
82	Acandi, Choco 16/11/2015 13:11:55		4.2	32.1	CCAPU	Roca	Ondulada	40.915	52.004
83	Jurado, Choco 13/03/2016 20:43:13		4.1	5.6	PTA	Roca	Ondulada	36.963	37.385
84	Colombia, Huila 31/10/2016 0:20:12		5.3	13.2	CPRAD	Roca	Escarpada	48.044	49.824
85	Baudo, Choco 6/12/2016 4:51:01		4.7	44	PIZC	Roca	Ondulada	22.177	49.273
86	Colombia, Huila 6/02/2017 13:02:44		5.4	0	CPRAD	Roca	Escarpada	45.727	45.727
87	Ginebra, Valle 29/04/2017 10:06:34		4.5	49.5	YOT	Roca	Ondulada	36.49	61.496
88	Rivera, Huila 11/11/2017 14:45:20		4.8	2	CNEIV	Suelo	Plana	33.474	33.534
89	El Cairo, Valle 16/11/2017 0:56:07		4.2	89.2	PAL	Roca	Montañosa	19.794	91.37
90	Dabeiba - Antioquia 20/06/2018 20:12:13	4.8	4.8	5	DBB	Roca	Montañosa	6	8
91	Océano Pacífico 27/07/2018 6:01:05		4.5	10	SOL	Suelo	Plana	31	32
92	Los Santos - Santander 7/08/2018 15:53:59	5.6	5.6	150	BAR2	Roca	Ondulada	32	153
93	Océano Pacífico 15/11/2018 13:19:12		4.4	14	SOL	Suelo	Plana	33	36

ID	Sismo	MI	Mw	Prof. [km]	Código estación	Geología	Topografía	Dist. Epicentral [km]	Dist. Hipocentral [km]
94	Área de Influencia Volcán Chiles 14/02/2019 6:24:41	4.6	4.5	8	CUM	Suelo	Ondulada	24	25
95	Ecuador, Region Fronteriza 27/09/2019 13:44:35	4.3	4.2	6	CUM	Suelo	Ondulada	22	23
96	Mesetas, Meta 25/12/2019 2:11:22		4.7	10	URMC	Suelo		32	33
97	Mesetas, Meta 26/12/2019 3:48:29	4.7	4.6	19	CLEJA	Suelo		19	27
98	Mesetas, Meta 26/12/2019 5:03:56		4	18	URMC	Suelo		28	34
99	Mesetas, Meta 26/12/2019 10:52:19		4.3	15	URMC	Suelo		29	33
100	Mesetas, Meta 26/12/2019 10:52:19		4.3	15	CLEJA	Suelo		20	25
101	Mesetas, Meta 27/12/2019 3:20:38		4.4	16	CLEJA	Suelo		20	26

Apéndice B. Código en Matlab y funciones complementarias.

Código en Matlab

```

%% Seismic Data Processing SedPro
% Analysis of Colombian ground motion records
% Javier Ardila & Angélica Fernández
% Project advisors : Professors José Benjumea & Gustavo Chio
% UIS - Civil Engineering

close all; clc; clear;
disp('----- SEISMIC DATA PROCESSING SedPro -----');
set(0,'defaultAxesFontName', 'Times New Roman');
set(0,'defaultTextFontName', 'Times New Roman');

%% Scale Factor

ScaleFactor=1.0;    %Amplitude Scale Factor
dt=0.0050;         %Recorded Time Step affected by the time scale factor(s)
gravity= 981;      %cm2/s

%% Input Components

% Dialog box to select the file
[file,route]=uigetfile('*.','OPEN FILE');
if file==0
    return;
else
% Open the file and read 3 columns of data after 20 header lines
% * .ANC file of the Servicio Geológico Colombiano, SGC
fid =fopen([route file],'r');
A=textscan(fid,'%f %f %f','headerlines',20);
A=cell2mat(A);fclose(fid);display(A);
end
lectural=A;
[NR,NC]=size(lectural);           %NC- number
of columns, NR- number of rows
gmtd=dt*(NR-1);                  %Ground record
duration
accelEW=lectural(:,1)/gravity*ScaleFactor;    %Unprocessed
EW component acceleration
accelV=lectural(:,2)/gravity*ScaleFactor;    %Unprocessed
NS component acceleration
accelNS=lectural(:,)/gravity*ScaleFactor;    %Unprocessed
V component acceleration
ndata=[max(size(accelEW)) max(size(accelNS)) max(size(accelV))]; %Data number
of each component
tiempo(:,1)=0:dt:dt*(ndata(1)-1);           %Time Vector
(s)
accelmax=max(abs([accelEW;accelV;accelNS])); %Plot limit
values AAAAAAAAAA

% Plot unprocessed accelerations

```

```

figure(1)
set(gcf, 'color', 'w');
subplot(231)
plot(tiempo,acceleEW,'k','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Acceleration (g)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-
accelemax accelemax]);
title('Unprocessed EW Component');
subplot(232)
plot(tiempo,acceleNS,'k','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Acceleration (g)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-
accelemax accelemax]);
title('Unprocessed NS Component');
subplot(233)
plot(tiempo,acceleV,'k','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Acceleration (g)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-
accelemax accelemax]);
title('Unprocessed V Component');

%% BASELINE CORRECTION

nBL=3; %Polynomial grade
acceleEW=detrend(acceleEW,nBL); %Baseline correction of EW
component acceleration
acceleNS=detrend(acceleNS,nBL); %Baseline correction of NS
component acceleration
acceleV=detrend(acceleV,nBL); %Baseline correction of V
component acceleration
accelemax=max(abs([acceleEW;acceleV;acceleNS])); %Plot limit values

% Plot accelerations with baseline correction
figure(1)
subplot(234); plot(tiempo,acceleEW,'r','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Acceleration (g)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-
accelemax accelemax]);
title('Baseline Correction EW Component');
subplot(235); plot(tiempo,acceleNS,'r','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Acceleration (g)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-
accelemax accelemax]);
title('Baseline Correction NS Component');
subplot(236); plot(tiempo,acceleV,'r','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Acceleration (g)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-
accelemax accelemax]);
title('Baseline Correction V Component');

%% Numerical Integration of Components

% Variable declaration
maccel=[acceleEW acceleNS acceleV]; %Acceleration matrix
vel_trap=zeros(size(maccel)); %Velocity matrix
disp_trap=zeros(size(maccel)); %Displacement matrix
area=zeros(size(tiempo));
% Integration
for n=1:3
vel_trap(1,n)=0;
for i=2:max(size(tiempo))

```

```

    area(i)=1/2*(maccel(i-1,n)+maccel(i,n))*dt*gravity;      %Area under curve
using trapezoidal method
    vel_trap(i,n)=vel_trap(i-1,n)+area(i);                %Accumulated area
end
disp_trap(1,n)=0;
for i=2:max(size(tiempo))
    area(i)=1/2*(vel_trap(i-1,n)+vel_trap(i,n))*dt;      %Area under curve using
trapezoidal method
    disp_trap(i,n)=disp_trap(i-1,n)+area(i);            %Accumulated area
end
end

% Plot limit values
accelmax=max(max(abs(maccel)));
velomax=max(max(abs(vel_trap)));
dispmax=max(max(abs(disp_trap)));

% Plot time series
figure(2)
set(gcf,'color','w');
subplot(331)
plot(tiempo,maccel(:,1),'m','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Acceleration (g)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-
accelmax accelmax]);
title('EW Aceleration');
subplot(332)
plot(tiempo,maccel(:,2),'m','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Acceleration (g)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-
accelmax accelmax]);
title('NS Aceleration');
subplot(333)
plot(tiempo,maccel(:,3),'m','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Acceleration (g)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-
accelmax accelmax]);
title('V Aceleration');

subplot(334)
plot(tiempo,vel_trap(:,1),'m','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Velocity (cm/s)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-velomax
velomax]);
title('EW Velocity');
subplot(335)
plot(tiempo,vel_trap(:,2),'m','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Velocity (cm/s)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-velomax
velomax]);
title('NS Velocity');
subplot(336)
plot(tiempo,vel_trap(:,3),'m','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Velocity (cm/s)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-velomax
velomax]);
title('V Velocity');

subplot(337)
plot(tiempo,disp_trap(:,1),'m','linewidth',1); grid on; grid minor;

```

```

xlabel('t (s)');ylabel('Displacement (cm)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-
dispmax dispmax]);
title('EW Displacement');
subplot(338)
plot(tiempo,disp_trap(:,2),'m','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Displacement (cm)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-
dispmax dispmax]);
title('NS Displacement');
subplot(339)
plot(tiempo,disp_trap(:,3),'m','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Displacement (cm)');xlim([0 max(tiempo)]); ylim([-
dispmax dispmax]);
title('V Displacement');

%% Fourier Spectra of Accelerations

fs=1/dt; %Hz
nplot=3;
colorea='r';
FFTsignal(maccel,fs,nplot,colorea); %Function to determine fourier spectra of
accelerations

%% FILTER

% (1)LowPass [cutin]; (2)HighPass [cutout]; (3)BandPass [cutin cutout];
(4)BandStop [cutin cutout]
filterconfiguration= 'bandpass';
cutin= 0.1; %Hz
cutout= 90; %Hz
norder= 4; %Order

switch filterconfiguration
case 'lowpass'
[b,a] = butter(norder,cutout/(fs/2),'low'); %Filter type Butterworth
acceleW_Filt= filter(b,a,acceleW);
accelNS_Filt= filter(b,a,accelNS);
accelV_Filt= filter(b,a,accelV);
case 'highpass'
[b,a] = butter(norder,cutin/(fs/2),'high'); %Filter type Butterworth
acceleW_Filt= filter(b,a,acceleW);
accelNS_Filt= filter(b,a,accelNS);
accelV_Filt= filter(b,a,accelV);
case 'bandpass'
[b,a] = butter(norder,[cutin cutout]/(fs/2),'bandpass'); %Filter type
Butterworth
acceleW_Filt= filter(b,a,acceleW);
accelNS_Filt= filter(b,a,accelNS);
accelV_Filt= filter(b,a,accelV);
otherwise
[b,a] = butter(norder,[cutin cutout]/(fs/2),'stop'); %Filter type
Butterworth
acceleW_Filt= filter(b,a,acceleW);
accelNS_Filt= filter(b,a,accelNS);
accelV_Filt= filter(b,a,accelV);
end

```

```

% Plot Acceleration time Response after filter
accelmax=max(abs([acceleW_Filt;acceleNS_Filt;acceleV_Filt]));          %Plot limit
values                                                                values

figure(2)
subplot(331); hold on;
plot(tiempo,acceleW_Filt,'b','linewidth',1); ylim([-accelmax accelmax]);
subplot(332); hold on;
plot(tiempo,acceleNS_Filt,'b','linewidth',1); ylim([-accelmax accelmax]);
subplot(333); hold on;
plot(tiempo,acceleV_Filt,'b','linewidth',1); ylim([-accelmax accelmax]);
legend('After BaseLine n=3','After filter Butter')

% Plot Fouriner Spectra after filter
signal_Filt=[acceleW_Filt acceleNS_Filt acceleV_Filt];
nplot=3;
colorea='b';
[YF,freq] = FFTsignal(signal_Filt,fs,nplot,colorea);

%% DATA AFTER FILTER

acceleW_BL=acceleW_Filt;
acceleNS_BL=acceleNS_Filt;
acceleV_BL=acceleV_Filt;

%% INTEGRATION OF ACCELERATIONS AFTER BASELINE CORRECTION & FILTER

% Variable declaration
maccel_BL=[acceleW_BL acceleNS_BL acceleV_BL];    %Acceleration matrix
vel_trapBL=zeros(size(maccel_BL));               %Velocity matrix
disp_trapBL=zeros(size(maccel_BL));              %Displacement matrix
% Integration
for n=1:3
vel_trapBL(1,n)=0;
for i=2:max(size(tiempo))
    area(i)=1/2*(maccel_BL(i-1,n)+maccel_BL(i,n))*dt*gravity;    %Area under
curve using trapezoidal method
    vel_trapBL(i,n)=vel_trapBL(i-1,n)+area(i);                    %Accumulated
area
end
disp_trapBL(1,n)=0;
for i=2:max(size(tiempo))
    area(i)=1/2*(vel_trapBL(i-1,n)+vel_trapBL(i,n))*dt;          %Area under curve
using trapezoidal method
    disp_trapBL(i,n)=disp_trapBL(i-1,n)+area(i);                  %Accumulated area
end
end

% Plot time series after filter
velomax=max(max(abs(vel_trapBL)));                %Plot limit values
dispmax=max(max(abs(disp_trapBL)));               %Plot limit values

figure(2)

```

```

subplot(334); hold on; plot(tiempo,vel_trapBL(:,1),'b','linewidth',1); ylim([-
velomax velomax]);
subplot(335); hold on; plot(tiempo,vel_trapBL(:,2),'b','linewidth',1); ylim([-
velomax velomax]);
subplot(336); hold on; plot(tiempo,vel_trapBL(:,3),'b','linewidth',1); ylim([-
velomax velomax]);
subplot(337); hold on; plot(tiempo,disp_trapBL(:,1),'b','linewidth',1); ylim([-
dispmax dispmax]);
subplot(338); hold on; plot(tiempo,disp_trapBL(:,2),'b','linewidth',1); ylim([-
dispmax dispmax]);
subplot(339); hold on; plot(tiempo,disp_trapBL(:,3),'b','linewidth',1); ylim([-
dispmax dispmax]);

```

figure(6)

```

set(gcf,'color','w');
subplot(311)
plot(tiempo,maccel_BL(:,1),'b','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Acceleration (g)');xlim([15 70]); ylim([-0.3 0.3]);
title('EW Aceleration');
subplot(312)
plot(tiempo,maccel_BL(:,2),'b','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Acceleration (g)');xlim([15 70]); ylim([-0.3 0.3]);
title('NS Aceleration');
subplot(313)
plot(tiempo,maccel_BL(:,3),'b','linewidth',1); grid on; grid minor;
xlabel('t (s)');ylabel('Acceleration (g)');xlim([15 70]); ylim([-0.3 0.3]);
title('V Aceleration');

```

%% PEAK ACCELERATION, VELOCITY & DISPLACEMENT

% Amplitude parameters EW component

```

disp('----- AMPLITUDE PARAMETERS EW COMPONENT -----')
[accmaxEW,tamaxEW]=max(abs(acceleW_BL)); %Max Acceleration & respective step-
number
tamaxEW=(tamaxEW-1)*dt; %Time at Maximun Acceleration
fprintf('\nMax. Acceleration is %f at t=%fs\n',accmaxEW,tamaxEW);

```

```

[velmaxEW,tvmaxEW]=max(abs(vel_trapBL(:,1))); %Max Velocity & respective
step-number
tvmaxEW=(tvmaxEW-1)*dt; %Time at Maximun Velocity
fprintf('\nMax. Velocity is %f cm/s at t=%fs\n',velmaxEW,tvmaxEW);

```

```

[dismaxEW,tdmaxEW]=max(abs(disp_trapBL(:,1))); %Max Displacement & respective
step-number
tdmaxEW=(tdmaxEW-1)*dt; %Time at Maximun Displacement
fprintf('\nMax. Displacement is %f cm at t=%fs\n',dismaxEW,tdmaxEW);

```

% Amplitude parameters NS component

```

disp('----- AMPLITUDE PARAMETERS NS COMPONENT -----')
[accmaxNS,tamaxNS]=max(abs(accelNS_BL)); %Max Acceleration & respective step-
number
tamaxNS=(tamaxNS-1)*dt; %Time at Maximun Acceleration
fprintf('\nMax. Acceleration is %f at t=%fs\n',accmaxNS,tamaxNS);

```

```

[velmaxNS,tvmaxNS]=max(abs(vel_trapBL(:,2)));      %Max Velocity & respective
step-number
tvmaxNS=(tvmaxNS-1)*dt;                          %Time at Maximun Velocity
fprintf('\nMax. Velocity is %f cm/s at t=%fs\n',velmaxNS,tvmaxNS);

[dismaxNS,tdmaxNS]=max(abs(displ_trapBL(:,2)));    %Max Displacement & respective
step-number
tdmaxNS=(tdmaxNS-1)*dt;                          %Time at Maximun Displacement
fprintf('\nMax. Displacement is %f cm at t=%fs\n',dismaxNS,tdmaxNS);

% Amplitude parameters V component
disp('----- AMPLITUDE PARAMETERS V COMPONENT -----')
[accmaxV,tamaxV]=max(abs(accelV_BL));            %Max Acceleration & respective step-
number
tamaxV=(tamaxV-1)*dt;                          %Time at Maximun Acceleration
fprintf('\nMax. Acceleration is %f at t=%fs\n',accmaxV,tamaxV)

[velmaxV,tvmaxV]=max(abs(vel_trapBL(:,3)));      %Max Velocity & respective step-
number
tvmaxV=(tvmaxV-1)*dt;                          %Time at Maximun Velocity
fprintf('\nMax. Velocity is %f cm/s at t=%fs\n',velmaxV,tvmaxV);

[dismaxV,tdmaxV]=max(abs(displ_trapBL(:,3)));    %Max Displacement & respective
step-number
tdmaxV=(tdmaxV-1)*dt;                          %Time at Maximun Displacement
fprintf('\nMax. Displacement is %f cm at t=%fs\n',dismaxV,tdmaxV);

% Peak ground vectors
% Data to export to Excel
acceleration=[accmaxV tamaxV accmaxEW tamaxEW accmaxNS tamaxEW];
velocity=[velmaxV tvmaxV velmaxEW tvmaxEW velmaxNS tvmaxNS];
displacement=[dismaxV tdmaxV dismaxEW tdmaxEW dismaxNS tdmaxNS];

%% Fourier Spectra
% Data to export to Excel
% Maximun values of Fourier Spectra and asociated frequency

[FSmaxEW,tFSmaxEW]=max(abs(YF(:,1)));
tFSmaxEW=freq(tFSmaxEW);
[FSmaxNS,tFSmaxNS]=max(abs(YF(:,2)));
tFSmaxNS=freq(tFSmaxNS);
[FSmaxV,tFSmaxV]=max(abs(YF(:,3)));
tFSmaxV=freq(tFSmaxV);

fourier=[FSmaxEW tFSmaxEW FSmaxNS tFSmaxNS FSmaxV tFSmaxV];

%% Elastic Response Spectrum

DR=0.05;    %Damping Ratio in percent (%)
endT=3;    %End Period of the Spectra
% Function to determine elastic response espectrum
[TEW, SpaEW, SpvEW, SdEW, SvEW, SaEW]=NewmarkRS(dt, accelEW_BL, DR, gravity, endT);
[TNS, SpaNS, SpvNS, SdNS, SvNS, SaNS]=NewmarkRS(dt, accelNS_BL, DR, gravity, endT);
[TV, SpaV, SpvV, SdV, SvV, SaV]=NewmarkRS(dt, accelV_BL, DR, gravity, endT);

```

```

% Plot Spectra
Sdmax=max(max(abs([SdEW SdNS SdV]))); %Plot limit values
Spvmax=max(max(abs([SpvEW SpvNS SpvV]))); %Plot limit values
Spamax=max(max(abs([SpaEW SpaNS SpaV]))); %Plot limit values

figure(4)
set(gcf, 'color', 'w');
subplot(331); plot(TEW, SdEW, 'r', 'linewidth', 2); grid on; grid minor;
xlabel('Period (s)'); ylabel('Sd (cm)'); ylim([0 Sdmax+0.5]);
title('Displacement Spectrum EW')
subplot(334); plot(TEW, SpvEW, 'r', 'linewidth', 2); grid on; grid minor;
xlabel('Period (s)'); ylabel('Spv (cm/s)'); ylim([0 Spvmax+5]);
title('Pseudo Velocity Spectrum EW')
subplot(337); semilogx(TEW, SpaEW, 'r', 'linewidth', 2); grid on; grid minor;
xlabel('Period (s)'); ylabel('Spa (g)'); xlim([0.01 3]); ylim([0 Spamax+0.05]);
title('Pseudo Acceleration Spectrum EW')

subplot(332); plot(TNS, SdNS, 'r', 'linewidth', 2); grid on; grid minor;
xlabel('Period (s)'); ylabel('Sd (cm)'); ylim([0 Sdmax+0.5]);
title('Displacement Spectrum NS')
subplot(335); plot(TNS, SpvNS, 'r', 'linewidth', 2); grid on; grid minor;
xlabel('Period (s)'); ylabel('Spv (cm/s)'); ylim([0 Spvmax+5]);
title('Pseudo Velocity Spectrum NS')
subplot(338); semilogx(TNS, SpaNS, 'r', 'linewidth', 2); grid on; grid minor;
xlabel('Period (s)'); ylabel('Spa (g)'); xlim([0.01 3]); ylim([0 Spamax+0.05]);
title('Pseudo Acceleration Spectrum NS')

subplot(333); plot(TV, SdV, 'r', 'linewidth', 2); grid on; grid minor;
xlabel('Period (s)'); ylabel('Sd (cm)'); ylim([0 Sdmax+0.5]);
title('Displacement Spectrum V')
subplot(336); plot(TV, SpvV, 'r', 'linewidth', 2); grid on; grid minor;
xlabel('Period (s)'); ylabel('Spv (cm/s)'); ylim([0 Spvmax+5]);
title('Pseudo Velocity Spectrum V')
subplot(339); semilogx(TV, SpaV, 'r', 'linewidth', 2); grid on; grid minor;
xlabel('Period (s)'); ylabel('Spa (g)'); xlim([0.01 3]); ylim([0 Spamax+0.05]);
title('Pseudo Acceleration Spectrum V')

%% V/H Elastic Response Spectrum

% Horizontal component (geometric mean of NS and EW components)
SpaHGM=zeros(size(SpaEW));
for i=1:length(SpaHGM)
    SpaHGM(i)=sqrt(SpaEW(i)*SpaNS(i));
end

% V/H(geometric mean)spectrum
SpaVHGM=zeros(size(SpaEW));
for i=1:length(SpaVHGM)
    SpaVHGM(i)=SpaV(i)/SpaHGM(i);
end

% Plot Spectra
figure(8)
set(gcf, 'color', 'w');

```

```

subplot(311); plot(TV,SpaHGM,'r','linewidth',1.5); grid on; grid minor;
xlabel('Period (s)'); ylabel('Spa (g)');
title('Horizontal Pseudo Acceleration Spectrum')
subplot(312); plot(TV,SpaV,'r','linewidth',1.5); grid on; grid minor;
xlabel('Period (s)'); ylabel('Spa (g)');
title('Vertical Pseudo Acceleration Spectrum')
subplot(313); plot(TV,SpaVHGM,'r','linewidth',1.5); grid on; grid minor;
xlabel('Period (s)'); ylabel('V/H');
title('V/H Pseudo Acceleration Spectrum')

%% V/H ratio and time interval

% V/H ratio
vh1=accmaxV/accmaxEW;
vh2=accmaxV/accmaxNS;
% Time interval
tvth1=tamaxV-tamaxEW;
tvth2=tamaxV-tamaxNS;

%% Sustained Maximum Acceleration & Velocity

% Variable declaration
aciclo3=zeros(1,3);
aciclo5=zeros(1,3);
vciclo3=zeros(1,3);
vciclo5=zeros(1,3);

for n=1:3
accelsort=sort(abs(maccel_BL(:,n)),'descend');           %Acceleration listed in
descending order
velsort=sort(abs(vel_trapBL(:,n)),'descend');           %Velocity listed in descending
order
aciclo3(n)=accelsort(3);                                 %Third highest value of
acceleration
aciclo5(n)=accelsort(5);                                 %Fifth highest value of
acceleration
vciclo3(n)=velsort(3);                                   %Third highest valeu of velocity
vciclo5(n)=velsort(5);                                   %Fifth highest valeu of velocity
end

%% Duration

% ABSOLUTE BRACKETED DURATION
tba=zeros(1,3);    %Variable declaration
toa=zeros(1,3);    %Variable declaration
tfa=zeros(1,3);    %Variable declaration
for i=1:3
amax=max(abs(maccel_BL(:,i)));
u=0.2*amax;        %Threshold acceleration % 0.05
% First point exceedances
n=1;
while abs(maccel_BL(n,i))<u
n=n+1;
end
toa(i)=(n-1)*dt;

```

```

% Last point exceedances
n=max(size(maccel_BL));
while abs(maccel_BL(n,i))<u
n=n-1;
end
tfa(i)=(n-1)*dt;
% Absolute bracketed duration
tba(i)=tfa(i)-toa(i);
end

noa=round(toa/dt,0);
nfa=round(tfa/dt,0);

%TRIFUNAC & BRADY DURATION (HUSID)
H=zeros(size(maccel_BL)); %Variable declaration
Hu=zeros(size(maccel_BL)); %Variable declaration
th=zeros(1,3); %Variable declaration
t5=zeros(1,3); %Variable declaration
t95=zeros(1,3); %Variable declaration
for i=1:3
H(1)=0;
% Arias Intensity
for n=2:1:max(size(maccel_BL))
H(n,i)=H(n-1,i)+maccel_BL(n,i)*maccel_BL(n,i)*dt; %Equation to determine
arias intensity
end
% Values Arias Intensity Graph
Hu(:,i)=H(:,i)/max(H(:,i));
% 5% Arias Intensity
n=1;
while Hu(n,i)<0.05
n=n+1;
end
t5(i)=(n-1)*dt;
% 95% Arias Intensity
n=1;
while Hu(n,i)<0.95
n=n+1;
end
t95(i)=(n-1)*dt;
% T&B duration
th(i)=t95(i)-t5(i);
end

iaEW=H(length(tiempo),1)*gravity*pi/2; %Arias intensity (cm/s)
iaNS=H(length(tiempo),2)*gravity*pi/2; %Arias intensity (cm/s)
iaV=H(length(tiempo),3)*gravity*pi/2; %Arias intensity (cm/s)

n5=round(t5/dt,0);
n95=round(t95/dt,0);

%Plot Arias Intensity
figure(5)
set(gcf,'color','w');
subplot(311); plot(tiempo,Hu(:,1)*100,'g','linewidth',2); grid on; grid minor

```

```

hold on; scatter(t5(1),Hu(n5(1),1)*100,'r','linewidth',2);
scatter(t95(1),Hu(n95(1),1)*100,'r','linewidth',2)
xlabel('Time (s)'); ylabel('Arias Intesity (%)'); xlim([0 max(tiempo)])
title('Arias Intesity EW')
legend('ARIAS INTENSITY','SIGNIFICANT DURATION');
subplot(312); plot(tiempo,Hu(:,2)*100,'g','linewidth',2); grid on; grid minor
hold on; scatter(t5(2),Hu(n5(2),2)*100,'r','linewidth',2);
scatter(t95(2),Hu(n95(2),2)*100,'r','linewidth',2)
xlabel('Time (s)'); ylabel('Arias Intesity (%)'); xlim([0 max(tiempo)])
title('Arias Intesity NS')
subplot(313); plot(tiempo,Hu(:,3)*100,'g','linewidth',2); grid on; grid minor
hold on; scatter(t5(3),Hu(n5(3),3)*100,'r','linewidth',2);
scatter(t95(3),Hu(n95(3),3)*100,'r','linewidth',2)
xlabel('Time (s)'); ylabel('Arias Intesity (%)'); xlim([0 max(tiempo)])
title('Arias Intesity V')

%% rms acceleration

% Variable declaration
aEW=acceleW_BL(n5(1):n95(1)); %EW component by TRIFUNAC & BRADY DURATION
aNS=acceleNS_BL(n5(2):n95(2)); %NS component by TRIFUNAC & BRADY DURATION
aV=acceleV_BL(n5(3):n95(3)); %V component by TRIFUNAC & BRADY DURATION

armsEW=rms(aEW);
armsNS=rms(aNS);
armsV=rms(aV);

%% Characteristic intensity

icEW=(armsEW^1.5)*(th(1)^0.5);
icNS=(armsNS^1.5)*(th(2)^0.5);
icV=(armsV^1.5)*(th(3)^0.5);

%% CAV (cumulative absolute velocity)

% EW component
aabs=zeros(length(aEW)); %Absolute acceleration vector
area=zeros(length(aEW));
% Integration
aabs(1)=0;
for i=2:length(aEW)
    area(i)=1/2*(abs(aEW(i-1))+abs(aEW(i)))*dt; %Area under curve using
trapezoidal method
    aabs(i)=aabs(i-1)+area(i); %Accumulated area
end
cavEW=aabs(length(aEW));

%NS component
aabs=zeros(length(aNS)); %Absolute acceleration vector
area=zeros(length(aNS));
%Integration
aabs(1)=0;
for i=2:length(aNS)
    area(i)=1/2*(abs(aNS(i-1))+abs(aNS(i)))*dt; %Area under curve using
trapezoidal method

```

```
        aabs(i)=aabs(i-1)+area(i);           %Accumulated area
end
cavNS=aabs(length(aNS));

% V component
aabs=zeros(length(aV));   %Absolute acceleration vector
area=zeros(length(aV));
% Integration
aabs(1)=0;
for i=2:length(aV)
    area(i)=1/2*(abs(aV(i-1))+abs(aV(i)))*dt;   %Area under curve using
trapezoidal method
    aabs(i)=aabs(i-1)+area(i);           %Accumulated area
end
cavV=aabs(length(aV));
```

Función FFTsignal

```

function [YF,frq] = FFTsignal(signal,fs,nplot,colorea)
%Determines Freq. content
%fs--> Sampling frequency (Hz)
N=max(size(signal)); %Length os signal
NFFT=2^nextpow2(N); %Next power of 2 for the signal
length
frq(:,1)= fs*(0:(NFFT/2))/NFFT;
YF=zeros(length(frq),min(size(signal)));
for i=1:min(size(signal))
yF=fft([signal(:,i);zeros(NFFT-N,1)],NFFT); %FFT of the signal
YF(:,i)=abs(yF(1:length(frq)));
end

figure(nplot)
set(gcf,'color','w');
subplot(3,1,1);
semilogx(frq,YF(:,1),'linewidth',1,'color',colorea);
grid on; grid minor; hold on;
title('Frequency Response - Signal EW');
xlabel('f (Hz)'); ylabel('Fourier Amplitude');
xlim([0 fs/2]);
subplot(3,1,2)
semilogx(frq,YF(:,2),'linewidth',1,'color',colorea);
grid on; grid minor; hold on;
title('Frequency Response - Signal NS ');
xlabel('f (Hz)'); ylabel('Fourier Amplitude');
xlim([0 fs/2]);
subplot(3,1,3)
semilogx(frq,YF(:,3),'linewidth',1,'color',colorea);
grid on; grid minor; hold on;
title('Frequency Response - Signal V');
xlabel('f (Hz)'); ylabel('Fourier Amplitude');
xlim([0 fs/2]);
end

```

Función NewmarkRS

```

%% (Chopra, 2011)
% average acceleration method gamma = 0.5, beta = .25,
% linear acceleration method
% gamma = 0.5
% beta = 1/6.
% Average acceleration method is unconditionally stable,
% but less accurate.
% Linear acceleration method is stable
% for dt/T < 0.551 but more accurate

%% NewmarkRS Function Help:

% INPUT:
% dt:      Time Interval (Sampling rate) of the Ground Motion
% accel:   Ground Motion Acceleration in the unit of the "g"
% dr:      Damping Ratio; e.g. 0.02
% g:       Gravitational Constant; e.g. 9.81 m/s^2; g determines the output unit
% endt:    End Period of the Spectra; e.g. 3 sec.

% OUTPUT:
% T:       Period of the Structure (sec.)
% Spa:     Elastic Pseudo Acceleration Spectrum in g
% Spv:     Elastic Pseudo Velocity Spectrum in the unit of velocity (e.g. m/s)
% Sd:      Elastic Displacement Spectrum, in the unit of displacement (e.g. m)
% Sv:      Elastic Velocity Spectrum in the unit of velocity (e.g. m/s)
% Sa:      Elastic Acceleration Spectrum in g

function [T, Spa, Spv, Sd, Sv, Sa]=NewmarkRS (dt, accel, dr, g, endt)

dt=0.001;
m=1;

%Variable declaration
nsteps=max(size(accel));
u=zeros(nsteps,1);
ud=zeros(nsteps,1);
udd=zeros(nsteps,1);
peff=zeros(nsteps,1);
T(:,1)=0.0001:dt:endt; %Time Vector (s)
nT=max(size(T));
Sd=zeros(nT,1);
Sv=zeros(nT,1);
Sa=zeros(nT,1);
Spv=zeros(nT,1);
Spa=zeros(nT,1);
p=-m*accel*g;
%ud(i+1)=ud(i)+[(1-gamma)*dt]*udd(i)+gamma*dt*udd(i+1)
%u(i+1)=u(i)+dt*ud(i)+[(0.5-beta)*(dt)^2]*udd(i)+[beta*(dt)^2]*udd(i+1)

for j=1:max(size(T))
Tn=T(j);
wn=2*pi/Tn;
k=m*(wn^2);

```

```
c=2*m*wn*dr;

if dt/Tn<=0.551
    gamma=1/2; beta=1/6;
else
    gamma=1/2; beta=1/4;
end

%Variable declaration
% p=-m*accel*g;
u(1)=0;
ud(1)=0;
udd(1)=(p(1)-c*ud(1)-k*u(1))/m;
a=gamma/beta;
a1=m/(beta*dt^2)+a*c/dt;
a2=m/(beta*dt)+c*(a-1);
a3=m*(0.5/beta-1)+dt*c*(0.5*a-1);
keff=k+a1;

for i=1:nsteps-1
    peff(i+1)=p(i+1)+a1*u(i)+a2*ud(i)+a3*udd(i);
    u(i+1)=peff(i+1)/keff;
    ud(i+1)=(a/dt)*(u(i+1)-u(i))+ud(i)*(1-a)+dt*udd(i)*(1-0.5*a);
    udd(i+1)=(u(i+1)-u(i))/(beta*dt^2)-(ud(i)/(beta*dt))-udd(i)*(0.5/beta-1);
end
Sd(j)=max(abs(u));
Sv(j)=max(abs(ud));
Sa(j)=max(abs(udd))/g;

Spv(j)=Sd(j)*wn;
Spa(j)=(Sd(j)*(wn^2))/g;
end
end
```

**Apéndice C. Verificación del código en MATLAB usando el sismo de Loma Prieta de 1989
estación Gilroy No. 2.**

Tabla C-1. Comparación de parámetros entre el código de MATLAB y el libro GEE.

<i>Ítem o parámetro</i>	<i>MATLAB</i>	<i>GEE</i>	<i>% Error</i>
PGA (g)	0.322	0.332	3.01%
PGV (cm/s)	39.2	39.2	0.00%
PGD (cm)	13.3	13.3	0.00%
AMS* Ciclo 3 (g)	0.312	0.312	0.00%
AMS Ciclo 5 (g)	0.289	0.289	0.00%
VMS** Ciclo 3 (cm/s)	38.5	38.4	0.26%
VMS Ciclo 5 (cm/s)	38.2	38.2	0.00%
Aceleración rms (g)	0.072	0.072	0.00%
Intensidad de Arias (m/s)	1.228	1.228	0.00%

Tabla C-2. Comparación de parámetros entre el código de MATLAB y el software SeismoSignal.

<i>Ítem o parámetro</i>	<i>MATLAB</i>	<i>SeismoSignal</i>	<i>% Error</i>
PGA (g)	0.322	0.322	0.00%
Tiempo asociado a PGA (s)	5.02	5.02	0.00%
PGV (cm/s)	39.164	39.177	0.03%
Tiempo asociado a PGV (s)	4.58	4.58	0.00%
PGD (cm)	13.334	13.312	0.17%
Tiempo asociado a PGD (s)	4.12	4.12	0.00%
Aceleración rms (g)	0.045	0.045	0.00%
Intensidad de Arias (m/s)	1.228	1.228	0.00%
Intensidad característica	0.06	0.06	0.00%
CAV (cm/s)	865.377	865.434	0.01%
Duración significativa (s)	9.88	9.88	0.00%

Apéndice D. Información obtenida con el código de MATLAB para las tres componentes de los 101 registros sísmicos

Tabla D-1. Respuestas pico de aceleración, relación V/H y filtros usados para el procesamiento de los registros sísmicos con $PGA_H \geq 0.1g$.

ID	PGA EW (g)	t (s)	PGA NS (g)	t (s)	PGA V (g)	t (s)	tv-tew	tv-tns	V/(HMG)	Filtro Butterworth Bandpass	
1	0.1245	10.940	0.0968	10.940	0.0797	3.170	-7.770	-7.770	0.7260	0.2	50
2	0.0859	19.575	0.1686	19.575	0.0212	4.070	-15.505	-15.505	0.1761	0.3	50
3	0.1367	7.950	0.1350	7.950	0.0801	7.745	-0.205	-0.205	0.5896	0.5	50
4	0.2406	15.905	0.1516	15.905	0.0905	14.290	-1.615	-1.615	0.4739	0.3	50
5	0.4976	9.730	0.5415	9.730	0.4681	10.010	0.280	0.280	0.9019	0.3	50
6	0.6060	11.775	0.6091	11.775	0.1911	11.770	-0.005	-0.005	0.3145	0.5	50
7	0.1064	18.810	0.0741	18.810	0.0597	19.585	0.775	0.775	0.6725	0.5	50
8	0.4744	6.255	0.6395	6.255	0.3049	6.240	-0.015	-0.015	0.5536	0.2	90
9	0.1181	2.665	0.0989	2.665	0.0723	2.515	-0.150	-0.150	0.6691	1.5	90
10	0.1035	11.875	0.0569	11.875	0.0428	11.875	0.000	0.000	0.5572	1	90
11	0.1222	17.240	0.1144	17.240	0.0763	16.170	-1.070	-1.070	0.6455	0.2	50
12	0.1897	37.425	0.2000	37.425	0.0879	36.830	-0.595	-0.595	0.4515	0.1	50
13	0.1237	40.375	0.0154	40.375	0.0207	36.475	-3.900	-3.900	0.4737	0.1	60
14	0.1526	42.125	0.2177	42.125	0.0999	41.980	-0.145	-0.145	0.5479	1	25
15	0.1104	63.695	0.1418	63.695	0.0722	64.135	0.440	0.440	0.5773	0.2	30
16	0.2233	25.390	0.1476	25.390	0.2660	23.905	-1.485	-1.485	1.4657	0.1	90
17	0.1653	42.415	0.1526	42.415	0.0614	41.475	-0.940	-0.940	0.3866	0.2	70
19	0.1029	240.560	0.1130	240.560	0.1498	240.365	-0.195	-0.195	1.3900	0.1	90
18	0.1121	242.370	0.1194	242.370	0.0729	242.290	-0.080	-0.080	0.6302	0.2	70
20	0.1029	39.560	0.1130	39.560	0.1498	39.365	-0.195	-0.195	1.3900	0.1	90
21	0.1088	41.375	0.1238	41.375	0.0721	41.290	-0.085	-0.085	0.6209	0.1	70

Tabla D-2. Respuestas pico de aceleración, relación V/H y filtros usados para el procesamiento de los registros sísmicos con $0.05g \leq PGAH \leq 0.1g$.

ID	PGA EW (g)	t (s)	PGA NS (g)	t (s)	PGA V (g)	t (s)	tv-tew	tv-tns	V/(HMG)	Filtro	
										Butterworth	Bandpass
22	0.0872	13.435	0.0529	13.435	0.0282	13.170	-0.265	-0.265	0.4159	0.1	50
23	0.0509	8.285	0.0346	8.285	0.0238	8.165	-0.120	-0.120	0.5660	0.1	50
24	0.0588	11.890	0.0847	11.890	0.0265	11.555	-0.335	-0.335	0.3750	1.2	25
25	0.0566	6.355	0.0527	6.355	0.0280	6.885	0.530	0.530	0.5132	1.2	50
26	0.0551	23.290	0.0449	23.290	0.0202	20.900	-2.390	-2.390	0.4058	1	50
27	0.0450	16.620	0.0514	16.620	0.0261	15.940	-0.680	-0.680	0.5420	1	25
28	0.0516	9.560	0.0277	9.560	0.0236	5.470	-4.090	-4.090	0.6238	0.5	50
29	0.0560	10.225	0.0935	10.225	0.0420	10.270	0.045	0.045	0.5798	0.5	90
30	0.0737	17.550	0.0494	17.550	0.0156	20.230	2.680	2.680	0.2585	0.1	25
31	0.0606	16.375	0.0732	16.375	0.0434	17.620	1.245	1.245	0.6520	0.1	50
32	0.0893	10.755	0.0954	10.755	0.0596	10.765	0.010	0.010	0.6453	0.5	90
33	0.0751	10.790	0.0884	10.790	0.0432	10.825	0.035	0.035	0.5297	0.5	90
34	0.0409	17.775	0.0587	17.775	0.0112	18.690	0.915	0.915	0.2281	0.5	50
35	0.0373	5.585	0.0589	5.585	0.0095	5.945	0.360	0.360	0.2031	1.5	20
36	0.0445	7.385	0.0521	7.385	0.0298	6.715	-0.670	-0.670	0.6182	0.5	50
37	0.0657	28.835	0.0572	28.835	0.0435	14.635	-14.200	-14.200	0.7105	0.2	50
38	0.0612	29.180	0.0502	29.180	0.0352	13.460	-15.720	-15.720	0.6343	0.2	50
39	0.0442	14.205	0.0523	14.205	0.0387	13.765	-0.440	-0.440	0.8054	1	50
40	0.0852	37.215	0.0627	37.215	0.0299	37.280	0.065	0.065	0.4084	0.3	50
41	0.0681	39.490	0.0554	39.490	0.0400	39.620	0.130	0.130	0.6512	0.08	50
42	0.0685	42.495	0.0410	42.495	0.0432	42.625	0.130	0.130	0.8138	0.1	50
43	0.0644	45.590	0.0316	45.590	0.0250	44.145	-1.445	-1.445	0.5538	1.2	30
44	0.0748	36.245	0.0632	36.245	0.0901	35.875	-0.370	-0.370	1.3098	0.2	90

Tabla D-3. Respuestas pico de aceleración, relación V/H y filtros usados para el procesamiento de los registros sísmicos con $0.02g \leq PGAH \leq 0.05g$.

ID	PGA EW (g)	t (s)	PGA NS (g)	t (s)	PGA V (g)	t (s)	tv-tew	tv-tns	V/(HMG)	Filtro Butterworth Bandpass	
45	0.0331	2.220	0.0356	2.220	0.0148	2.605	0.385	0.385	0.4313	2	30
46	0.0093	2.335	0.0244	2.335	0.0015	1.410	-0.925	-0.925	0.1020	2	20
47	0.0202	3.830	0.0469	3.830	0.0230	4.075	0.245	0.245	0.7467	2	60
48*	0.0290	19.155	0.0231	19.155	0.0128	5.780	-13.375	-13.375	0.4944	0.5	50
49	0.0186	17.990	0.0206	17.990	0.0159	6.255	-11.735	-11.735	0.8108	0.3	50
50	0.0353	26.105	0.0231	26.105	0.0190	25.185	-0.920	-0.920	0.6657	1.2	30
51	0.0268	8.195	0.0205	8.195	0.0109	8.350	0.155	0.155	0.4644	0.8	50
52	0.0164	21.325	0.0201	21.325	0.0136	6.755	-14.570	-14.570	0.7479	0.5	40
53	0.0310	6.975	0.0317	6.975	0.0261	7.255	0.280	0.280	0.8322	0.8	50
54	0.0267	21.275	0.0235	21.275	0.0107	21.725	0.450	0.450	0.4271	1	50
55	0.0210	7.335	0.0146	7.335	0.0098	5.800	-1.535	-1.535	0.5605	0.8	35
56	0.0209	6.345	0.0224	6.345	0.0085	8.325	1.980	1.980	0.3902	0.5	15
57	0.0266	6.620	0.0247	6.620	0.0170	6.430	-0.190	-0.190	0.6643	1	40
58	0.0298	11.255	0.0382	11.255	0.0152	11.760	0.505	0.505	0.4490	0.6	15
59	0.0230	7.930	0.0277	7.930	0.0082	9.225	1.295	1.295	0.3245	0.4	25
60	0.0201	11.305	0.0201	11.305	0.0102	11.380	0.075	0.075	0.5096	0.8	50
61	0.0399	11.930	0.0330	11.930	0.0144	4.720	-7.210	-7.210	0.3972	1	35
62	0.0150	22.760	0.0212	22.760	0.0100	21.080	-1.680	-1.680	0.5615	1	30
63	0.0385	33.475	0.0258	33.475	0.0134	32.860	-0.615	-0.615	0.4245	0.2	15
64	0.0339	23.600	0.0382	23.600	0.0147	12.630	-10.970	-10.970	0.4093	0.11	20
65	0.0484	11.265	0.0434	11.265	0.0308	10.790	-0.475	-0.475	0.6726	0.1	90
66	0.0437	11.590	0.0479	11.590	0.0288	10.665	-0.925	-0.925	0.6297	1	60
67	0.0380	10.910	0.0384	10.910	0.0252	9.965	-0.945	-0.945	0.6604	1	90
68	0.0461	20.330	0.0450	20.330	0.0181	19.840	-0.490	-0.490	0.3966	1.2	25
69	0.0096	25.855	0.0205	25.855	0.0032	26.140	0.285	0.285	0.2297	0.2	40
70	0.0218	21.475	0.0234	21.475	0.0081	21.270	-0.205	-0.205	0.3581	0.8	30
71	0.0215	10.440	0.0177	10.440	0.0078	10.270	-0.170	-0.170	0.3998	1	25
72	0.0134	17.840	0.0216	17.840	0.0038	16.180	-1.660	-1.660	0.2251	0.4	30
73	0.0312	25.470	0.0289	25.470	0.0210	24.670	-0.800	-0.800	0.6993	1	30
74	0.0419	43.455	0.0148	43.455	0.0113	22.485	-20.970	-20.970	0.4541	0.2	40
75	0.0384	32.470	0.0310	32.470	0.0122	39.705	7.235	7.235	0.3546	0.3	50

ID	PGA EW (g)	t (s)	PGA NS (g)	t (s)	PGA V (g)	t (s)	tv-tew	tv-tns	V/(HMG)	Filtro	
										Butterworth	Bandpass
76	0.0249	9.395	0.0109	9.395	0.0083	2.060	-7.335	-7.335	0.5072	2	70
77	0.0300	26.860	0.0256	26.860	0.0171	10.675	-16.185	-16.185	0.6159	0.5	50
78	0.0230	10.760	0.0400	10.760	0.0193	4.155	-6.605	-6.605	0.6347	0.6	30
79	0.0398	14.575	0.0363	14.575	0.0314	15.075	0.500	0.500	0.8275	2	90
80	0.0203	11.380	0.0198	11.380	0.0162	11.055	-0.325	-0.325	0.8084	4	80
81	0.0317	9.945	0.0374	9.945	0.0191	9.490	-0.455	-0.455	0.5553	0.9	40
82	0.0139	15.560	0.0198	15.560	0.0074	14.850	-0.710	-0.710	0.4469	1	30
83	0.0360	9.915	0.0421	9.915	0.0097	11.185	1.270	1.270	0.2489	1.2	60
84	0.0231	17.130	0.0161	17.130	0.0243	18.500	1.370	1.370	1.2586	0.2	45
85	0.0227	17.790	0.0210	17.790	0.0110	19.575	1.785	1.785	0.5015	0.2	20
86	0.0369	18.995	0.0259	18.995	0.0196	19.525	0.530	0.530	0.6352	0.2	45
87	0.0169	16.635	0.0220	16.635	0.0090	8.800	-7.835	-7.835	0.4688	1	45
88	0.0147	12.565	0.0334	12.565	0.0120	11.280	-1.285	-1.285	0.5426	0.4	40
89	0.0143	25.060	0.0254	25.060	0.0047	25.185	0.125	0.125	0.2487	0.6	35
90	0.0234	33.715	0.0172	33.715	0.0145	33.550	-0.165	-0.165	0.7209	0.2	50
91	0.0122	41.235	0.0209	41.235	0.0089	41.315	0.080	0.080	0.5557	0.2	40
92	0.0162	69.545	0.0253	69.545	0.0120	69.500	-0.045	-0.045	0.5923	0.3	30
93	0.0244	37.450	0.0324	37.450	0.0091	36.775	-0.675	-0.675	0.3248	0.25	50
94	0.0461	42.260	0.0393	42.260	0.0313	42.730	0.470	0.470	0.7351	0.2	30
95	0.0150	39.505	0.0215	39.505	0.0132	39.715	0.210	0.210	0.7376	0.2	35
96	0.0206	40.420	0.0247	40.420	0.0118	40.000	-0.420	-0.420	0.5213	0.2	70
97	0.0334	23.705	0.0334	23.705	0.0397	23.295	-0.410	-0.410	1.1895	3	90
98	0.0180	39.465	0.0221	39.465	0.0072	39.205	-0.260	-0.260	0.3615	0.6	70
99	0.0238	39.990	0.0248	39.990	0.0084	39.555	-0.435	-0.435	0.3471	0.5	70
100	0.0226	36.715	0.0235	36.715	0.0296	36.320	-0.395	-0.395	1.2826	0.4	90
101	0.0231	36.630	0.0198	36.630	0.0240	36.325	-0.305	-0.305	1.1220	0.3	80

*Para este caso en particular se realizó un filtro bandstop de 18.9 hz a 19.1 hz.

Tabla D-4. Resultados de los parámetros sísmicos calculados con el código de MATLAB para los registros sísmicos con $PGA_H \geq 0.1g$.

ID	Componente	aciclo3 (g)	aciclo5 (g)	vciclo3 (g)	vciclo5 (g)	Duración efectiva th (s)	IA (cm/s)	rms (g)	IC (cm/s)	CAV (cm/s)	Freq. Fourier (hz)
1	EW	0.1203	0.1157	11.6360	11.5354	17.4150	8.3792	0.0168	0.0091	0.1855	0.1203
	NS	0.0924	0.0861	9.0420	8.9963	18.1250	8.2236	0.0163	0.0088	0.1871	0.0924
	V	0.0693	0.0672	2.8725	2.8145	18.5000	5.5008	0.0132	0.0065	0.1747	0.0693
2	EW	0.0811	0.0798	3.5302	3.4355	24.8550	11.2794	0.0163	0.0104	0.2852	0.0811
	NS	0.1651	0.1549	4.6383	4.4811	25.1050	34.0767	0.0282	0.0237	0.5004	0.1651
	V	0.0202	0.0197	0.6342	0.6304	25.0200	0.7200	0.0041	0.0013	0.0733	0.0202
3	EW	0.1256	0.1173	3.6319	3.5317	2.7400	6.2706	0.0366	0.0116	0.0753	0.1256
	NS	0.1230	0.0971	2.1507	2.0685	4.1000	3.6556	0.0228	0.0070	0.0646	0.1230
	V	0.0653	0.0589	1.4586	1.4455	3.7700	1.4242	0.0149	0.0035	0.0379	0.0653
4	EW	0.2393	0.2366	19.5967	19.4936	13.6500	137.2558	0.0767	0.0785	0.8301	0.2393
	NS	0.1469	0.1452	12.4937	12.4529	18.9500	66.9714	0.0454	0.0422	0.6542	0.1469
	V	0.0886	0.0859	5.4393	5.4274	18.1850	16.2941	0.0229	0.0148	0.3027	0.0886
5	EW	0.4910	0.4702	28.5443	28.4027	10.9150	275.8835	0.1216	0.1400	0.9471	0.4910
	NS	0.5276	0.5028	29.7212	29.3593	9.4000	280.1552	0.1320	0.1470	0.9030	0.5276
	V	0.4522	0.4398	10.8992	10.4578	6.6950	218.9372	0.1382	0.1329	0.7036	0.4522
6	EW	0.5862	0.5710	33.5298	33.2756	14.4650	296.0962	0.1095	0.1377	1.1001	0.5862
	NS	0.5848	0.5341	34.9120	34.5949	10.3000	424.7486	0.1555	0.1968	1.3184	0.5848
	V	0.1884	0.1871	14.4755	14.3648	11.8500	67.5550	0.0577	0.0477	0.5130	0.1884
7	EW	0.1043	0.1019	4.2982	4.1600	23.7100	10.8064	0.0163	0.0101	0.2540	0.1043
	NS	0.0722	0.0673	3.2137	3.1369	23.1850	9.2825	0.0153	0.0091	0.2551	0.0722
	V	0.0550	0.0444	1.0183	0.9780	17.4450	3.0528	0.0101	0.0042	0.1259	0.0550
8	EW	0.4410	0.4116	11.1470	10.4058	4.5700	49.1660	0.0792	0.0477	0.2488	0.4410
	NS	0.6203	0.5802	38.2827	37.7405	4.0450	109.5061	0.1257	0.0897	0.3507	0.6203
	V	0.2915	0.2532	11.6364	11.5629	4.9700	30.1489	0.0596	0.0324	0.2092	0.2915
9	EW	0.1007	0.0939	1.2867	1.2058	0.6850	2.0193	0.0415	0.0070	0.0221	0.1007
	NS	0.0819	0.0810	1.7108	1.6636	1.1600	2.2220	0.0334	0.0066	0.0294	0.0819
	V	0.0660	0.0642	1.0021	0.8784	1.6150	1.0463	0.0195	0.0035	0.0227	0.0660
10	EW	0.0882	0.0620	1.6231	1.3703	0.4850	0.6561	0.0280	0.0033	0.0094	0.0882
	NS	0.0556	0.0479	1.1069	1.0191	1.3000	0.5513	0.0157	0.0022	0.0132	0.0556
	V	0.0388	0.0316	0.5438	0.5037	1.8200	0.2366	0.0089	0.0011	0.0106	0.0388
11	EW	0.1178	0.1052	4.3123	4.1824	15.0250	7.8852	0.0175	0.0090	0.1841	0.1178

ID	Componente	aciclo3 (g)	aciclo5 (g)	vciclo3 (g)	vciclo5 (g)	Duración efectiva th (s)	IA (cm/s)	rms (g)	IC (cm/s)	CAV (cm/s)	Freq. Fourier (hz)
	NS	0.0718	0.0690	1.9315	1.8956	13.5300	6.7764	0.0186	0.0093	0.1691	0.0718
	V	0.1117	0.1042	4.4016	4.3029	13.2550	7.9833	0.0173	0.0083	0.1697	0.1117
12	EW	0.1842	0.1725	6.0633	5.9619	4.5650	13.9025	0.0422	0.0185	0.1370	0.1842
	NS	0.1919	0.1876	8.4973	8.2975	3.1150	17.5038	0.0573	0.0242	0.1302	0.1919
	V	0.0812	0.0789	2.1620	2.0282	5.4050	3.4657	0.0194	0.0063	0.0743	0.0812
13	EW	0.1147	0.1124	3.0655	2.8122	9.5400	4.9279	0.0174	0.0071	0.1042	0.1147
	NS	0.0153	0.0147	0.6608	0.6349	11.2600	0.1436	0.0027	0.0005	0.0209	0.0153
	V	0.0180	0.0144	0.2769	0.2451	13.4800	0.1233	0.0023	0.0004	0.0215	0.0180
14	EW	0.1492	0.1425	6.1209	6.0621	4.4100	11.2305	0.0387	0.0160	0.1102	0.1492
	NS	0.2133	0.2073	7.2400	6.8817	3.7550	16.9094	0.0516	0.0227	0.1328	0.2133
	V	0.0936	0.0850	2.2141	1.9648	7.8700	4.2547	0.0178	0.0066	0.0829	0.0936
15	EW	0.1084	0.1062	4.7104	4.6220	10.4050	8.8654	0.0223	0.0107	0.1473	0.1084
	NS	0.1404	0.1369	5.9543	5.9517	5.7850	24.3409	0.0496	0.0265	0.2152	0.1404
	V	0.0696	0.0634	2.1521	2.0850	18.4700	3.8620	0.0111	0.0050	0.1374	0.0696
16	EW	0.2046	0.1950	10.0723	9.7364	12.3650	33.8903	0.0400	0.0282	0.3405	0.2046
	NS	0.1427	0.1415	13.2611	13.0794	13.8600	27.6478	0.0341	0.0235	0.3060	0.1427
	V	0.2119	0.2017	5.5684	5.3688	15.6300	52.1001	0.0441	0.0367	0.4722	0.2119
17	EW	0.1579	0.1427	4.1237	4.0851	18.8300	16.5748	0.0227	0.0148	0.2605	0.1579
	NS	0.1473	0.1426	6.1283	5.9613	17.7550	18.0584	0.0244	0.0161	0.2631	0.1473
	V	0.0527	0.0498	2.2506	2.1645	26.8450	5.2057	0.0107	0.0057	0.1937	0.0527
18	EW	0.1066	0.0969	4.3181	4.2322	19.7700	6.9748	0.0144	0.0076	0.1721	0.1066
	NS	0.1171	0.1151	7.8650	7.7098	16.2000	9.0372	0.0180	0.0098	0.1751	0.1171
	V	0.0661	0.0525	2.0231	1.9967	23.6050	2.8582	0.0084	0.0038	0.1353	0.0661
19	EW	0.0957	0.0895	7.5997	7.5329	14.9800	10.9192	0.0206	0.0115	0.2231	0.0957
	NS	0.1055	0.0926	4.8930	4.7120	16.0100	8.1763	0.0173	0.0091	0.1836	0.1055
	V	0.1272	0.1137	3.7753	3.7279	14.7100	18.6867	0.0272	0.0172	0.2844	0.1272
20	EW	0.0957	0.0895	7.5997	7.5329	15.3050	10.7723	0.0203	0.0113	0.2207	0.0957
	NS	0.1055	0.0926	4.8930	4.7120	16.2900	8.0549	0.0170	0.0089	0.1823	0.1055
	V	0.1272	0.1137	3.7753	3.7279	15.2850	18.3527	0.0265	0.0168	0.2838	0.1272
21	EW	0.1046	0.0958	4.5914	4.4605	19.3550	6.8746	0.0144	0.0076	0.1678	0.1046
	NS	0.1205	0.1148	7.7997	7.6522	15.8900	8.9065	0.0181	0.0097	0.1694	0.1205
	V	0.0647	0.0506	2.4005	2.3920	24.3950	2.8045	0.0082	0.0037	0.1349	0.0647

Tabla D-5. Resultados de los parámetros sísmicos calculados con el código de MATLAB para los registros sísmicos con $0.05g \leq PGAH \leq 0.1g$.

ID	Componente	aciclo3 (g)	aciclo5 (g)	vciclo3 (g)	vciclo5 (g)	Duración efectiva th (s)	IA (cm/s)	rms (g)	IC (cm/s)	CAV (cm/s)	Freq. Fourier (hz)
22	EW	0.0863	0.0854	4.0442	4.0400	6.4750	3.7108	0.0183	0.0063	0.0776	0.0863
	NS	0.0522	0.0503	3.6662	3.6403	9.4050	2.3315	0.0120	0.0040	0.0738	0.0522
	V	0.0278	0.0272	2.4937	2.4819	16.4300	0.7938	0.0053	0.0016	0.0612	0.0278
23	EW	0.0484	0.0444	2.2071	2.1506	5.5250	1.5480	0.0128	0.0034	0.0470	0.0484
	NS	0.0345	0.0333	1.1057	1.0923	6.7850	1.0084	0.0093	0.0023	0.0430	0.0345
	V	0.0235	0.0222	0.6875	0.6781	9.6000	0.4010	0.0049	0.0011	0.0331	0.0235
24	EW	0.0565	0.0517	1.6792	1.5913	21.8350	3.3738	0.0095	0.0043	0.1474	0.0565
	NS	0.0805	0.0718	1.7782	1.7136	19.4500	4.4977	0.0116	0.0055	0.1556	0.0805
	V	0.0257	0.0250	0.6767	0.6192	17.5650	0.7453	0.0050	0.0015	0.0623	0.0257
25	EW	0.0548	0.0511	1.6199	1.5163	7.6500	2.4522	0.0137	0.0044	0.0757	0.0548
	NS	0.0511	0.0484	1.3314	1.2666	8.5450	2.2882	0.0125	0.0041	0.0753	0.0511
	V	0.0266	0.0261	0.6527	0.6336	6.2400	0.6271	0.0077	0.0017	0.0349	0.0266
26	EW	0.0518	0.0467	1.1811	1.0812	0.9000	0.4801	0.0176	0.0022	0.0114	0.0518
	NS	0.0424	0.0412	0.8617	0.7762	3.4600	0.5088	0.0093	0.0017	0.0196	0.0424
	V	0.0183	0.0158	0.2688	0.2544	4.5350	0.1465	0.0043	0.0006	0.0141	0.0183
27	EW	0.0425	0.0414	0.9314	0.9242	5.5950	1.6271	0.0130	0.0035	0.0545	0.0425
	NS	0.0489	0.0477	1.0991	1.0711	5.5150	1.4826	0.0125	0.0033	0.0498	0.0489
	V	0.0246	0.0234	0.4691	0.4543	6.8800	0.4463	0.0062	0.0013	0.0319	0.0246
28	EW	0.0493	0.0460	1.4300	1.3836	12.6650	1.4539	0.0082	0.0026	0.0691	0.0493
	NS	0.0245	0.0235	0.6123	0.5408	10.5300	0.3526	0.0044	0.0010	0.0320	0.0245
	V	0.0202	0.0195	0.3952	0.3825	7.5950	0.3088	0.0049	0.0009	0.0253	0.0202
29	EW	0.0473	0.0453	0.4512	0.4114	3.1700	0.5061	0.0097	0.0017	0.0153	0.0473
	NS	0.0724	0.0662	0.8698	0.8067	1.7900	0.9389	0.0175	0.0031	0.0202	0.0724
	V	0.0353	0.0344	0.3285	0.2998	3.0750	0.3568	0.0083	0.0013	0.0156	0.0353
30	EW	0.0725	0.0689	4.5306	4.4179	15.4400	4.6139	0.0132	0.0060	0.1470	0.0725
	NS	0.0472	0.0446	2.0302	1.9877	16.6150	4.2494	0.0122	0.0055	0.1516	0.0472
	V	0.0152	0.0151	1.0086	1.0036	19.9900	0.5674	0.0041	0.0012	0.0600	0.0152
31	EW	0.0585	0.0526	2.4505	2.4293	13.4750	3.5415	0.0124	0.0051	0.1188	0.0585
	NS	0.0704	0.0625	3.3413	3.3059	12.5750	3.3731	0.0125	0.0050	0.1109	0.0704
	V	0.0394	0.0382	2.0268	1.9660	15.2800	2.0014	0.0087	0.0032	0.0957	0.0394
32	EW	0.0824	0.0727	0.8297	0.7929	0.8300	0.9840	0.0262	0.0039	0.0156	0.0824

ID	Componente	aciclo3 (g)	aciclo5 (g)	vciclo3 (g)	vciclo5 (g)	Duración efectiva th (s)	IA (cm/s)	rms (g)	IC (cm/s)	CAV (cm/s)	Freq. Fourier (hz)
	NS	0.0856	0.0669	1.1187	1.0367	1.1850	1.0495	0.0227	0.0037	0.0178	0.0856
	V	0.0460	0.0442	0.4269	0.4170	1.5450	0.5288	0.0141	0.0021	0.0155	0.0460
33	EW	0.0598	0.0528	0.7686	0.6937	1.0250	0.5347	0.0175	0.0023	0.0115	0.0598
	NS	0.0608	0.0560	0.9666	0.9247	1.2300	0.6149	0.0171	0.0025	0.0141	0.0608
	V	0.0407	0.0301	0.5491	0.4573	1.6900	0.3274	0.0108	0.0015	0.0133	0.0407
34	EW	0.0404	0.0394	1.5794	1.5494	23.4650	2.6123	0.0081	0.0035	0.1318	0.0404
	NS	0.0575	0.0547	2.5085	2.4269	20.3850	3.0537	0.0094	0.0041	0.1342	0.0575
	V	0.0110	0.0106	0.5293	0.5129	23.7850	0.2110	0.0023	0.0005	0.0407	0.0110
35	EW	0.0367	0.0350	1.2928	1.2513	12.0950	0.9124	0.0067	0.0019	0.0556	0.0367
	NS	0.0578	0.0550	2.2864	2.2239	10.5200	1.2165	0.0082	0.0024	0.0526	0.0578
	V	0.0091	0.0080	0.2644	0.2516	19.4650	0.1012	0.0017	0.0003	0.0243	0.0091
36	EW	0.0439	0.0429	1.5612	1.5114	7.4250	1.1438	0.0095	0.0025	0.0500	0.0439
	NS	0.0488	0.0436	1.0679	0.9507	8.8800	0.9560	0.0079	0.0021	0.0490	0.0488
	V	0.0276	0.0265	0.5503	0.5273	4.1400	0.4531	0.0080	0.0015	0.0238	0.0276
37	EW	0.0629	0.0597	4.5865	4.4822	29.5600	4.5042	0.0094	0.0050	0.1851	0.0629
	NS	0.0555	0.0550	3.5553	3.5007	29.5850	5.6861	0.0106	0.0059	0.2159	0.0555
	V	0.0392	0.0361	1.1762	1.1503	30.0900	2.2702	0.0066	0.0030	0.1435	0.0392
38	EW	0.0594	0.0561	2.9509	2.9230	30.5750	9.1102	0.0132	0.0084	0.2856	0.0594
	NS	0.0498	0.0493	3.0407	2.9998	46.2900	5.4634	0.0083	0.0051	0.2647	0.0498
	V	0.0331	0.0310	0.9966	0.9931	41.7050	2.7164	0.0062	0.0031	0.1918	0.0331
39	EW	0.0433	0.0403	1.1584	1.1494	10.8250	2.4626	0.0115	0.0041	0.1002	0.0433
	NS	0.0514	0.0506	1.6413	1.5186	10.9500	2.0430	0.0104	0.0035	0.0777	0.0514
	V	0.0374	0.0339	0.8604	0.8422	11.0900	0.9455	0.0071	0.0020	0.0513	0.0374
40	EW	0.0787	0.0652	1.8979	1.7362	5.3800	2.9803	0.0180	0.0056	0.0721	0.0787
	NS	0.0621	0.0604	2.0670	1.9454	5.2150	2.8759	0.0179	0.0055	0.0728	0.0621
	V	0.0274	0.0267	0.8040	0.7458	5.5450	0.7374	0.0088	0.0019	0.0380	0.0274
41	EW	0.0652	0.0586	2.2858	2.2587	10.6600	2.3374	0.0113	0.0039	0.0865	0.0652
	NS	0.0527	0.0497	2.7467	2.6792	10.9300	2.1058	0.0106	0.0036	0.0820	0.0527
	V	0.0369	0.0320	1.4176	1.3937	13.2800	1.9293	0.0092	0.0032	0.0937	0.0369
42	EW	0.0672	0.0634	2.6247	2.5405	8.1000	1.1482	0.0091	0.0025	0.0442	0.0672
	NS	0.0397	0.0385	1.4991	1.4522	7.3350	0.9935	0.0089	0.0023	0.0444	0.0397
	V	0.0417	0.0405	1.6729	1.6487	11.9350	0.7435	0.0060	0.0016	0.0482	0.0417
43	EW	0.0624	0.0579	2.1320	2.0524	12.6550	3.5255	0.0128	0.0051	0.1136	0.0624

ID	Componente	aciclo3 (g)	aciclo5 (g)	vciclo3 (g)	vciclo5 (g)	Duración efectiva th (s)	IA (cm/s)	rms (g)	IC (cm/s)	CAV (cm/s)	Freq. Fourier (hz)
	NS	0.0310	0.0303	1.0918	1.0324	14.1050	1.4254	0.0077	0.0025	0.0771	0.0310
	V	0.0239	0.0215	0.4789	0.4705	11.9750	0.6672	0.0057	0.0015	0.0509	0.0239
44	EW	0.0714	0.0703	2.8743	2.7520	5.8650	2.4985	0.0158	0.0048	0.0630	0.0714
	NS	0.0582	0.0518	2.0749	2.0569	6.5250	1.5606	0.0118	0.0033	0.0501	0.0582
	V	0.0848	0.0793	1.1861	1.1347	7.9800	2.6240	0.0139	0.0046	0.0670	0.0848

Tabla D-6. Resultados de los parámetros sísmicos calculados con el código de MATLAB para los registros sísmicos con $0.02g \leq PGAH \leq 0.05g$.

ID	Componente	aciclo3 (g)	aciclo5 (g)	vciclo3 (g)	vciclo5 (g)	Duración efectiva th (s)	IA (cm/s)	rms (g)	IC (cm/s)	CAV (cm/s)	Freq. Fourier (hz)
45	EW	0.0314	0.0288	0.7567	0.7125	10.8550	0.7071	0.0062	0.0016	0.0461	0.0314
	NS	0.0352	0.0338	0.8536	0.7749	9.0550	0.8075	0.0072	0.0018	0.0469	0.0352
	V	0.0145	0.0138	0.3737	0.3465	11.4850	0.2665	0.0037	0.0008	0.0316	0.0145
46	EW	0.0086	0.0080	0.1658	0.1546	11.9400	0.0721	0.0019	0.0003	0.0163	0.0086
	NS	0.0231	0.0209	0.4694	0.4642	9.8300	0.4185	0.0050	0.0011	0.0358	0.0231
	V	0.0015	0.0014	0.0347	0.0309	8.8400	0.0029	0.0004	0.0000	0.0028	0.0015
47	EW	0.0165	0.0158	0.2499	0.2362	7.6400	0.1325	0.0032	0.0005	0.0173	0.0165
	NS	0.0369	0.0332	0.3023	0.2908	5.7300	0.3630	0.0061	0.0011	0.0221	0.0369
	V	0.0211	0.0171	0.1567	0.1508	6.1750	0.1598	0.0039	0.0006	0.0163	0.0211
48	EW	0.0248	0.0247	0.4699	0.4685	23.9550	0.6837	0.0041	0.0013	0.0660	0.0248
	NS	0.0197	0.0189	0.4932	0.4546	23.9400	0.4222	0.0032	0.0009	0.0511	0.0197
	V	0.0126	0.0108	0.2925	0.2733	23.9950	0.1733	0.0021	0.0005	0.0359	0.0126
49	EW	0.0179	0.0164	0.6922	0.6679	18.3300	0.3697	0.0034	0.0009	0.0423	0.0179
	NS	0.0198	0.0180	0.7633	0.7321	17.7400	0.4530	0.0039	0.0010	0.0445	0.0198
	V	0.0151	0.0133	0.3988	0.3580	21.2400	0.2545	0.0027	0.0006	0.0395	0.0151
50	EW	0.0351	0.0343	1.4217	1.3809	29.4350	1.8939	0.0061	0.0026	0.1194	0.0351
	NS	0.0227	0.0220	0.8021	0.7630	28.2150	0.8858	0.0043	0.0015	0.0838	0.0227
	V	0.0184	0.0171	0.5285	0.4966	29.9750	0.4483	0.0030	0.0009	0.0624	0.0184
51	EW	0.0264	0.0254	1.1979	1.1541	7.5050	0.2784	0.0047	0.0009	0.0235	0.0264
	NS	0.0199	0.0184	0.6058	0.6035	8.8950	0.2079	0.0037	0.0007	0.0218	0.0199
	V	0.0098	0.0083	0.3574	0.3383	12.2700	0.0693	0.0018	0.0003	0.0158	0.0098
52	EW	0.0156	0.0151	0.7154	0.7050	21.5900	0.3440	0.0031	0.0008	0.0460	0.0156

ID	Componente	aciclo3 (g)	aciclo5 (g)	vciclo3 (g)	vciclo5 (g)	Duración efectiva (s)	IA (cm/s)	rms (g)	IC (cm/s)	CAV (cm/s)	Freq. Fourier (hz)
	NS	0.0197	0.0196	0.7684	0.7494	17.9200	0.4541	0.0038	0.0010	0.0480	0.0197
	V	0.0125	0.0113	0.3151	0.2984	31.1950	0.1984	0.0019	0.0005	0.0410	0.0125
53	EW	0.0267	0.0243	0.6979	0.6698	3.7200	0.3293	0.0072	0.0012	0.0186	0.0267
	NS	0.0278	0.0232	0.6880	0.6207	3.7800	0.3256	0.0071	0.0012	0.0186	0.0278
	V	0.0230	0.0222	0.3543	0.3107	4.1850	0.2024	0.0053	0.0008	0.0155	0.0230
54	EW	0.0259	0.0257	1.0010	0.9604	11.5700	0.3801	0.0044	0.0010	0.0314	0.0259
	NS	0.0228	0.0210	0.7762	0.7445	13.6650	0.2443	0.0032	0.0007	0.0293	0.0228
	V	0.0098	0.0092	0.2466	0.2368	28.3050	0.0909	0.0014	0.0003	0.0253	0.0098
55	EW	0.0205	0.0203	0.9120	0.8827	11.5500	0.2995	0.0039	0.0008	0.0296	0.0205
	NS	0.0138	0.0137	0.8092	0.7904	11.8000	0.2993	0.0038	0.0008	0.0330	0.0138
	V	0.0088	0.0087	0.2284	0.2266	15.8900	0.1171	0.0021	0.0004	0.0245	0.0088
56	EW	0.0207	0.0202	1.9282	1.9201	28.5550	1.2551	0.0051	0.0019	0.1108	0.0207
	NS	0.0221	0.0214	1.8510	1.8446	31.9400	0.9625	0.0042	0.0015	0.0871	0.0221
	V	0.0084	0.0081	0.6931	0.6864	33.4200	0.2063	0.0019	0.0005	0.0468	0.0084
57	EW	0.0262	0.0256	1.0093	0.9812	9.0100	0.4109	0.0052	0.0011	0.0323	0.0262
	NS	0.0245	0.0244	1.1086	1.1056	8.7150	0.4433	0.0055	0.0012	0.0305	0.0245
	V	0.0160	0.0140	0.5042	0.4867	11.9100	0.0863	0.0021	0.0003	0.0158	0.0160
58	EW	0.0288	0.0276	0.8123	0.7884	12.7750	0.7301	0.0058	0.0016	0.0536	0.0288
	NS	0.0366	0.0344	1.1620	1.1225	14.5750	0.8882	0.0060	0.0018	0.0583	0.0366
	V	0.0146	0.0134	0.4917	0.4709	13.1750	0.2585	0.0034	0.0007	0.0325	0.0146
59	EW	0.0216	0.0193	1.1522	1.1107	18.8850	0.4421	0.0037	0.0010	0.0510	0.0216
	NS	0.0259	0.0224	0.9601	0.9136	18.7400	0.5513	0.0041	0.0012	0.0552	0.0259
	V	0.0079	0.0078	0.3203	0.3138	20.2550	0.1317	0.0020	0.0004	0.0303	0.0079
60	EW	0.0194	0.0180	0.8592	0.8263	11.8950	0.2963	0.0038	0.0008	0.0311	0.0194
	NS	0.0191	0.0183	0.6147	0.5911	12.6700	0.2334	0.0033	0.0007	0.0278	0.0191
	V	0.0092	0.0080	0.1878	0.1860	19.9400	0.0673	0.0014	0.0002	0.0192	0.0092
61	EW	0.0394	0.0379	1.4374	1.3739	12.9450	1.2107	0.0074	0.0023	0.0641	0.0394
	NS	0.0317	0.0297	1.2574	1.1742	12.8650	1.1949	0.0074	0.0023	0.0657	0.0317
	V	0.0138	0.0134	0.2398	0.2354	13.1850	0.1607	0.0027	0.0005	0.0254	0.0138
62	EW	0.0148	0.0146	0.4917	0.4753	14.8050	0.3946	0.0039	0.0010	0.0444	0.0148
	NS	0.0207	0.0207	0.6636	0.6275	13.2750	0.6350	0.0053	0.0014	0.0509	0.0207
	V	0.0088	0.0086	0.2316	0.2223	20.3150	0.1422	0.0020	0.0004	0.0288	0.0088
63	EW	0.0384	0.0382	6.1793	6.1727	33.8650	5.0256	0.0093	0.0052	0.2316	0.0384

ID	Componente	aciclo3 (g)	aciclo5 (g)	vciclo3 (g)	vciclo5 (g)	Duración efectiva th (s)	IA (cm/s)	rms (g)	IC (cm/s)	CAV (cm/s)	Freq. Fourier (hz)
	NS	0.0258	0.0257	4.7819	4.7745	39.9450	3.7116	0.0074	0.0040	0.2245	0.0258
	V	0.0133	0.0132	2.4933	2.4905	35.2000	0.9851	0.0040	0.0015	0.1113	0.0133
64	EW	0.0338	0.0337	7.3927	7.3908	36.5850	5.5631	0.0094	0.0055	0.2565	0.0338
	NS	0.0382	0.0382	11.7098	11.7030	29.7050	7.6722	0.0123	0.0074	0.2883	0.0382
	V	0.0142	0.0131	2.2369	2.2330	32.8100	0.7614	0.0037	0.0013	0.0954	0.0142
65	EW	0.0468	0.0397	0.8114	0.7656	1.3950	0.3855	0.0127	0.0017	0.0094	0.0468
	NS	0.0408	0.0379	0.5338	0.5109	1.5150	0.4112	0.0126	0.0017	0.0132	0.0408
	V	0.0303	0.0267	0.4179	0.4079	1.6850	0.3038	0.0103	0.0014	0.0106	0.0303
66	EW	0.0386	0.0374	0.7557	0.7505	4.1500	0.6266	0.0094	0.0019	0.0260	0.0386
	NS	0.0389	0.0369	1.6865	1.6402	3.1200	0.7445	0.0118	0.0023	0.0266	0.0389
	V	0.0234	0.0215	0.4850	0.4128	4.2550	0.2887	0.0064	0.0011	0.0186	0.0234
67	EW	0.0267	0.0210	0.2749	0.2647	1.6700	0.1679	0.0077	0.0009	0.0092	0.0267
	NS	0.0292	0.0283	0.3978	0.3594	1.9150	0.2801	0.0092	0.0012	0.0132	0.0292
	V	0.0228	0.0211	0.2337	0.2202	2.1300	0.1705	0.0069	0.0008	0.0109	0.0228
68	EW	0.0455	0.0452	2.3539	2.3014	25.6200	4.5354	0.0102	0.0052	0.1777	0.0455
	NS	0.0441	0.0431	2.4234	2.3669	23.5650	3.7970	0.0097	0.0046	0.1580	0.0441
	V	0.0175	0.0162	0.6016	0.5744	24.7500	0.4530	0.0033	0.0009	0.0578	0.0175
69	EW	0.0092	0.0086	0.3465	0.3434	24.0250	0.0889	0.0015	0.0003	0.0235	0.0092
	NS	0.0201	0.0199	1.2276	1.2007	24.8100	0.4063	0.0031	0.0009	0.0501	0.0201
	V	0.0032	0.0031	0.2469	0.2460	25.3650	0.0141	0.0006	0.0001	0.0106	0.0032
70	EW	0.0214	0.0212	1.0411	1.0018	14.2600	0.3862	0.0040	0.0009	0.0391	0.0214
	NS	0.0225	0.0206	0.7570	0.7324	14.2200	0.4107	0.0041	0.0010	0.0417	0.0225
	V	0.0077	0.0075	0.2609	0.2494	13.2150	0.0622	0.0017	0.0002	0.0164	0.0077
71	EW	0.0207	0.0192	0.7207	0.7121	5.4400	0.2246	0.0049	0.0008	0.0187	0.0207
	NS	0.0175	0.0169	0.5982	0.5749	7.1850	0.1965	0.0040	0.0007	0.0192	0.0175
	V	0.0076	0.0076	0.3520	0.3412	9.1150	0.0554	0.0019	0.0002	0.0123	0.0076
72	EW	0.0132	0.0125	0.4174	0.4005	6.3500	0.0958	0.0030	0.0004	0.0122	0.0132
	NS	0.0210	0.0197	0.9099	0.8795	5.3000	0.1594	0.0042	0.0006	0.0138	0.0210
	V	0.0036	0.0033	0.0899	0.0861	11.3700	0.0153	0.0009	0.0001	0.0075	0.0036
73	EW	0.0303	0.0281	0.9234	0.9191	19.4750	1.1729	0.0059	0.0020	0.0792	0.0303
	NS	0.0275	0.0253	0.9171	0.9087	21.0050	1.1911	0.0058	0.0020	0.0843	0.0275
	V	0.0200	0.0183	0.4458	0.4387	18.4400	0.4283	0.0037	0.0010	0.0483	0.0200
74	EW	0.0414	0.0403	1.9758	1.9630	45.2300	6.0463	0.0088	0.0056	0.2877	0.0414

ID	Componente	aciclo3 (g)	aciclo5 (g)	vciclo3 (g)	vciclo5 (g)	Duración efectiva th (s)	IA (cm/s)	rms (g)	IC (cm/s)	CAV (cm/s)	Freq. Fourier (hz)
	NS	0.0147	0.0144	1.2712	1.2648	45.7300	0.8803	0.0034	0.0013	0.1158	0.0147
	V	0.0107	0.0103	0.7459	0.7326	44.0550	0.5393	0.0027	0.0009	0.0907	0.0107
75	EW	0.0373	0.0367	1.7900	1.7817	47.1400	4.9729	0.0079	0.0048	0.2835	0.0373
	NS	0.0298	0.0286	1.5251	1.4717	49.2750	4.7582	0.0075	0.0046	0.2873	0.0298
	V	0.0114	0.0113	0.6296	0.6268	48.4250	0.7898	0.0031	0.0012	0.1164	0.0114
76	EW	0.0227	0.0223	0.3681	0.3590	6.2350	0.1505	0.0038	0.0006	0.0132	0.0227
	NS	0.0102	0.0098	0.1951	0.1926	11.5500	0.0819	0.0020	0.0003	0.0165	0.0102
	V	0.0076	0.0072	0.1043	0.0938	13.0900	0.0376	0.0013	0.0002	0.0123	0.0076
77	EW	0.0291	0.0271	0.9001	0.8813	22.6800	0.4248	0.0033	0.0009	0.0389	0.0291
	NS	0.0253	0.0250	1.1226	1.0837	23.4050	0.4882	0.0035	0.0010	0.0444	0.0253
	V	0.0155	0.0145	0.2808	0.2720	26.3300	0.1417	0.0018	0.0004	0.0311	0.0155
78	EW	0.0225	0.0209	0.8334	0.8270	9.3350	0.6353	0.0063	0.0015	0.0456	0.0225
	NS	0.0383	0.0354	1.5291	1.4955	6.9800	1.2332	0.0102	0.0027	0.0523	0.0383
	V	0.0189	0.0181	0.5388	0.5192	9.3750	0.3683	0.0048	0.0010	0.0349	0.0189
79	EW	0.0325	0.0320	0.3350	0.3111	20.5700	1.1215	0.0056	0.0019	0.0806	0.0325
	NS	0.0261	0.0244	0.2569	0.2353	22.2400	0.8380	0.0047	0.0015	0.0738	0.0261
	V	0.0255	0.0248	0.2325	0.2315	20.4150	0.6885	0.0044	0.0013	0.0633	0.0255
80	EW	0.0174	0.0170	0.1683	0.1358	9.6150	0.1204	0.0027	0.0004	0.0162	0.0174
	NS	0.0186	0.0169	0.1564	0.1365	8.5800	0.1106	0.0027	0.0004	0.0144	0.0186
	V	0.0155	0.0140	0.1063	0.0985	9.2350	0.0661	0.0020	0.0003	0.0114	0.0155
81	EW	0.0307	0.0306	0.9662	0.9342	10.0300	1.2358	0.0085	0.0025	0.0602	0.0307
	NS	0.0353	0.0312	0.8884	0.8373	11.1000	0.7361	0.0062	0.0016	0.0493	0.0353
	V	0.0184	0.0172	0.4971	0.4717	8.6800	0.3765	0.0050	0.0011	0.0313	0.0184
82	EW	0.0135	0.0126	0.4078	0.3808	13.1150	0.1583	0.0027	0.0005	0.0235	0.0135
	NS	0.0189	0.0175	0.4619	0.4221	12.0800	0.1875	0.0030	0.0006	0.0230	0.0189
	V	0.0072	0.0069	0.1438	0.1397	11.9450	0.0455	0.0015	0.0002	0.0121	0.0072
83	EW	0.0342	0.0341	1.4580	1.4047	6.3300	0.8099	0.0087	0.0020	0.0377	0.0342
	NS	0.0404	0.0395	1.1143	1.0523	7.4050	0.8601	0.0083	0.0020	0.0418	0.0404
	V	0.0091	0.0083	0.1901	0.1844	12.9450	0.1023	0.0021	0.0004	0.0207	0.0091
84	EW	0.0220	0.0219	1.1655	1.1243	15.3400	0.4641	0.0042	0.0011	0.0421	0.0220
	NS	0.0158	0.0157	0.8087	0.7777	18.5300	0.3173	0.0032	0.0008	0.0407	0.0158
	V	0.0218	0.0190	0.6826	0.6307	17.0400	0.3972	0.0037	0.0009	0.0440	0.0218
85	EW	0.0226	0.0224	2.0757	2.0549	11.2850	0.3608	0.0043	0.0010	0.0330	0.0226

ID	Componente	aciclo3 (g)	aciclo5 (g)	vciclo3 (g)	vciclo5 (g)	Duración efectiva (s)	IA (cm/s)	rms (g)	IC (cm/s)	CAV (cm/s)	Freq. Fourier (hz)
	NS	0.0208	0.0203	1.1789	1.1637	14.8200	0.3181	0.0035	0.0008	0.0367	0.0208
	V	0.0109	0.0108	0.4963	0.4949	19.8400	0.1520	0.0021	0.0004	0.0302	0.0109
86	EW	0.0351	0.0312	1.6836	1.6523	9.6700	0.5920	0.0060	0.0014	0.0393	0.0351
	NS	0.0245	0.0221	0.9442	0.9335	14.6650	0.4706	0.0043	0.0011	0.0440	0.0245
	V	0.0166	0.0159	0.8774	0.8690	17.3450	0.3951	0.0037	0.0009	0.0452	0.0166
87	EW	0.0159	0.0151	0.3019	0.2683	13.5500	0.2183	0.0031	0.0006	0.0278	0.0159
	NS	0.0207	0.0196	0.3854	0.3451	13.7050	0.2958	0.0036	0.0008	0.0321	0.0207
	V	0.0084	0.0082	0.1074	0.1029	15.9100	0.0819	0.0017	0.0003	0.0214	0.0084
88	EW	0.0141	0.0129	0.4797	0.4669	14.2300	0.1290	0.0023	0.0004	0.0224	0.0141
	NS	0.0329	0.0316	1.5258	1.5031	7.5250	0.3303	0.0051	0.0010	0.0224	0.0329
	V	0.0114	0.0113	0.5630	0.5495	18.6700	0.1425	0.0021	0.0004	0.0272	0.0114
89	EW	0.0141	0.0134	0.4289	0.4184	5.1650	0.0688	0.0028	0.0003	0.0085	0.0141
	NS	0.0252	0.0249	0.8859	0.8552	2.6100	0.2933	0.0081	0.0012	0.0157	0.0252
	V	0.0046	0.0043	0.1363	0.1275	15.6500	0.0229	0.0009	0.0001	0.0106	0.0046
90	EW	0.0229	0.0217	0.7547	0.7262	5.5800	0.2067	0.0047	0.0007	0.0174	0.0229
	NS	0.0166	0.0150	0.6399	0.6197	8.9950	0.1137	0.0027	0.0004	0.0171	0.0166
	V	0.0136	0.0115	0.3381	0.3160	8.1900	0.0962	0.0026	0.0004	0.0161	0.0136
91	EW	0.0119	0.0110	0.4254	0.4226	8.2500	0.0915	0.0026	0.0004	0.0139	0.0119
	NS	0.0205	0.0197	0.9428	0.9243	6.0950	0.2316	0.0047	0.0008	0.0194	0.0205
	V	0.0087	0.0082	0.3336	0.3232	9.6450	0.0504	0.0017	0.0002	0.0122	0.0087
92	EW	0.0158	0.0148	0.8714	0.8606	21.9700	0.3721	0.0031	0.0008	0.0465	0.0158
	NS	0.0249	0.0240	1.4532	1.4258	20.9050	0.4617	0.0036	0.0010	0.0479	0.0249
	V	0.0117	0.0112	0.4146	0.4017	32.8000	0.0959	0.0013	0.0003	0.0278	0.0117
93	EW	0.0234	0.0205	0.7066	0.6749	7.4250	0.2127	0.0041	0.0007	0.0210	0.0234
	NS	0.0321	0.0312	1.0790	1.0678	5.2800	0.6731	0.0086	0.0018	0.0318	0.0321
	V	0.0085	0.0083	0.3024	0.2961	8.4550	0.1067	0.0027	0.0004	0.0178	0.0085
94	EW	0.0450	0.0422	1.2539	1.2427	7.4200	1.5236	0.0109	0.0031	0.0620	0.0450
	NS	0.0387	0.0378	0.9530	0.9377	8.5700	1.4056	0.0098	0.0028	0.0645	0.0387
	V	0.0290	0.0254	0.4770	0.4739	9.9000	0.4053	0.0049	0.0011	0.0326	0.0290
95	EW	0.0141	0.0128	0.3789	0.3580	5.2500	0.1271	0.0038	0.0005	0.0144	0.0141
	NS	0.0199	0.0196	0.4146	0.3852	4.3050	0.2339	0.0056	0.0009	0.0175	0.0199
	V	0.0124	0.0106	0.2047	0.1946	4.2950	0.0741	0.0032	0.0004	0.0096	0.0124
96	EW	0.0186	0.0178	0.7382	0.6871	23.5350	0.2470	0.0025	0.0006	0.0364	0.0186

ID	Componente	aciclo3 (g)	aciclo5 (g)	vciclo3 (g)	vciclo5 (g)	Duración efectiva (s)	IA (cm/s)	rms (g)	IC (cm/s)	CAV (cm/s)	Freq. Fourier (hz)
	NS	0.0241	0.0215	0.8189	0.7853	18.0350	0.3659	0.0034	0.0009	0.0365	0.0241
	V	0.0108	0.0103	0.2577	0.2283	29.8350	0.1143	0.0015	0.0003	0.0296	0.0108
97	EW	0.0303	0.0285	0.9515	0.8898	10.2600	0.4748	0.0052	0.0012	0.0302	0.0303
	NS	0.0302	0.0249	0.5551	0.5380	10.7950	0.3943	0.0046	0.0010	0.0290	0.0302
	V	0.0381	0.0332	0.5923	0.4974	16.7400	0.7105	0.0050	0.0014	0.0480	0.0381
98	EW	0.0174	0.0161	0.4922	0.4736	3.5300	0.1302	0.0046	0.0006	0.0107	0.0174
	NS	0.0213	0.0194	0.6003	0.5742	2.9600	0.1202	0.0049	0.0006	0.0086	0.0213
	V	0.0065	0.0050	0.1291	0.1199	16.9850	0.0231	0.0009	0.0001	0.0097	0.0065
99	EW	0.0227	0.0222	0.5897	0.5717	8.6000	0.1854	0.0035	0.0006	0.0176	0.0227
	NS	0.0220	0.0184	0.3993	0.3823	6.7600	0.2118	0.0043	0.0007	0.0183	0.0220
	V	0.0079	0.0076	0.1708	0.1472	17.9200	0.0637	0.0014	0.0002	0.0169	0.0079
100	EW	0.0218	0.0214	0.3805	0.3659	7.7400	0.2552	0.0044	0.0008	0.0210	0.0218
	NS	0.0226	0.0222	0.4103	0.3976	6.6550	0.2789	0.0049	0.0009	0.0203	0.0226
	V	0.0254	0.0236	0.3374	0.2901	13.7350	0.4359	0.0043	0.0010	0.0348	0.0254
101	EW	0.0217	0.0202	0.4049	0.3954	10.0000	0.2206	0.0036	0.0007	0.0225	0.0217
	NS	0.0156	0.0152	0.5228	0.4897	12.7350	0.1866	0.0029	0.0006	0.0235	0.0156
	V	0.0225	0.0209	0.2644	0.2537	13.7850	0.3604	0.0039	0.0009	0.0344	0.0225

Tabla D-7. Respuestas pico de aceleración, velocidad y desplazamiento para los registros con $PGA_H \geq 0.1g$.

ID	Componente	PGA (g)	t (s)	PGV (g)	t (s)	PGD (g)	t (s)
1	EW	0.1245	10.940	11.6835	10.870	1.3536	11.020
	NS	0.0968	10.940	9.0585	10.850	0.9356	10.680
	V	0.0797	3.170	2.9043	11.315	0.3729	16.935
2	EW	0.0859	19.575	3.5650	17.615	0.2783	16.375
	NS	0.1686	19.575	4.7176	17.710	0.3476	15.425
	V	0.0212	4.070	0.6385	16.515	0.1177	17.560
3	EW	0.1367	7.950	3.6678	8.080	0.2162	7.955
	NS	0.1350	7.950	2.1642	7.760	0.1171	7.855
	V	0.0801	7.745	1.4933	8.115	0.0867	8.025
4	EW	0.2406	15.905	19.6297	15.740	2.5549	15.920
	NS	0.1516	15.905	12.5120	18.410	1.9029	16.225
	V	0.0905	14.290	5.4623	13.935	0.8613	12.210

ID	Componente	PGA (g)	t (s)	PGV (g)	t (s)	PGD (g)	t (s)
5	EW	0.4976	9.730	28.5886	9.280	3.0737	9.875
	NS	0.5415	9.730	30.0057	9.880	2.5712	9.195
	V	0.4681	10.010	11.2577	10.120	0.9105	13.075
6	EW	0.6060	11.775	33.6554	11.615	4.8306	11.755
	NS	0.6091	11.775	35.0688	13.015	4.0559	13.165
	V	0.1911	11.770	14.5260	13.035	1.3859	13.190
7	EW	0.1064	18.810	4.3719	18.760	0.2193	25.815
	NS	0.0741	18.810	3.2490	22.615	0.2557	24.480
	V	0.0597	19.585	1.0365	19.610	0.0570	21.785
8	EW	0.4744	6.255	11.4208	6.235	0.7946	6.105
	NS	0.6395	6.255	38.5972	6.350	5.6594	6.210
	V	0.3049	6.240	11.7560	6.350	1.4713	6.255
9	EW	0.1181	2.665	1.4079	2.645	0.0325	2.755
	NS	0.0989	2.665	1.8455	2.420	0.0652	2.515
	V	0.0723	2.515	1.0453	2.525	0.0270	2.560
10	EW	0.1035	11.875	1.7464	11.895	0.0431	11.870
	NS	0.0569	11.875	1.1659	11.905	0.0369	11.965
	V	0.0428	11.875	0.5882	11.855	0.0144	11.880
11	EW	0.1222	17.240	4.3971	17.205	0.3954	17.410
	NS	0.1144	17.240	4.4337	17.065	0.2870	17.185
	V	0.0763	16.170	1.9587	17.915	0.1734	17.730
12	EW	0.1897	37.425	6.1120	36.855	1.4060	36.400
	NS	0.2000	37.425	8.5725	36.790	1.6074	36.350
	V	0.0879	36.830	2.2192	36.870	0.3478	36.825
13	EW	0.1237	40.375	3.1707	40.400	0.3562	43.220
	NS	0.0154	40.375	0.6708	40.095	0.0897	43.850
	V	0.0207	36.475	0.2942	36.495	0.0372	40.900
14	EW	0.1526	42.125	6.2107	42.055	0.2888	42.120
	NS	0.2177	42.125	7.4149	42.050	0.2789	42.095
	V	0.0999	41.980	2.3243	41.955	0.0606	41.915
15	EW	0.1104	63.695	4.7451	63.760	0.2834	64.545
	NS	0.1418	63.695	6.0142	63.730	0.3616	63.660
	V	0.0722	64.135	2.1791	63.675	0.0936	71.525
16	EW	0.2233	25.390	10.2412	24.770	2.1513	27.070

ID	Componente	PGA (g)	t (s)	PGV (g)	t (s)	PGD (g)	t (s)
	NS	0.1476	25.390	13.3079	26.160	2.2075	26.310
	V	0.2660	23.905	5.7440	25.915	1.0522	30.225
17	EW	0.1653	42.415	4.2875	42.450	0.5168	42.490
	NS	0.1526	42.415	6.1933	43.895	0.6776	43.195
	V	0.0614	41.475	2.2860	42.650	0.3119	44.955
18	EW	0.1121	242.370	4.3541	242.670	0.5888	242.385
	NS	0.1194	242.370	7.9489	242.755	0.7803	243.160
	V	0.0729	242.290	2.0338	242.215	0.3507	242.295
19	EW	0.1029	240.560	7.6459	241.405	1.9505	241.650
	NS	0.1130	240.560	4.9877	239.670	1.2235	241.395
	V	0.1498	240.365	3.8091	249.210	0.7784	248.780
20	EW	0.1029	39.560	7.6459	40.405	1.9514	40.650
	NS	0.1130	39.560	4.9877	38.670	1.2227	40.395
	V	0.1498	39.365	3.8091	48.210	0.7787	47.780
21	EW	0.1088	41.375	4.6476	41.335	0.4537	41.400
	NS	0.1238	41.375	7.8678	41.755	0.8124	41.665
	V	0.0721	41.290	2.4097	41.230	0.3701	41.485

Tabla D-8. Respuestas pico de aceleración, velocidad y desplazamiento para los registros con $0.05g \leq PGAH \leq 0.1g$.

ID	Componente	PGA (g)	t (s)	PGV (g)	t (s)	PGD (g)	t (s)
22	EW	0.0872	13.435	4.0540	13.120	1.2635	12.580
	NS	0.0529	13.435	3.6768	13.080	0.5967	12.795
	V	0.0282	13.170	2.4973	13.045	0.4547	12.640
23	EW	0.0509	8.285	2.2276	8.910	0.1715	8.825
	NS	0.0346	8.285	1.1252	9.180	0.1131	9.455
	V	0.0238	8.165	0.7187	8.980	0.0943	9.385
24	EW	0.0588	11.890	1.7123	11.850	0.1007	20.080
	NS	0.0847	11.890	1.8535	11.815	0.0744	9.610
	V	0.0265	11.555	0.6991	11.815	0.0298	13.300
25	EW	0.0566	6.355	1.6675	6.390	0.0606	12.000
	NS	0.0527	6.355	1.3838	6.325	0.0730	9.360
	V	0.0280	6.885	0.6697	7.025	0.0233	6.410
26	EW	0.0551	23.290	1.2267	23.260	0.0329	23.295

ID	Componente	PGA (g)	t (s)	PGV (g)	t (s)	PGD (g)	t (s)
	NS	0.0449	23.290	0.9033	23.210	0.0241	23.175
	V	0.0202	20.900	0.2758	23.620	0.0084	23.655
27	EW	0.0450	16.620	0.9568	18.050	0.0487	17.570
	NS	0.0514	16.620	1.1083	17.375	0.0509	17.650
	V	0.0261	15.940	0.4745	18.320	0.0204	19.140
28	EW	0.0516	9.560	1.4483	9.415	0.0587	9.355
	NS	0.0277	9.560	0.6489	9.375	0.0363	9.335
	V	0.0236	5.470	0.4058	5.400	0.0287	9.775
29	EW	0.0560	10.225	0.5735	10.260	0.0122	9.955
	NS	0.0935	10.225	0.9753	10.295	0.0329	10.045
	V	0.0420	10.270	0.4035	10.200	0.0102	10.475
30	EW	0.0737	17.550	4.5871	17.595	0.9839	21.805
	NS	0.0494	17.550	2.0452	23.150	0.6024	21.945
	V	0.0156	20.230	1.0111	19.205	0.5891	20.910
31	EW	0.0606	16.375	2.4547	19.115	0.6732	18.630
	NS	0.0732	16.375	3.3553	19.265	1.5519	19.955
	V	0.0434	17.620	2.0510	18.505	0.6681	19.740
32	EW	0.0893	10.755	0.9062	10.745	0.0197	10.375
	NS	0.0954	10.755	1.1961	10.490	0.0494	10.385
	V	0.0596	10.765	0.4685	10.750	0.0191	10.540
33	EW	0.0751	10.790	0.9336	10.785	0.0362	10.905
	NS	0.0884	10.790	1.0596	10.590	0.0605	10.615
	V	0.0432	10.825	0.5858	10.810	0.0164	10.830
34	EW	0.0409	17.775	1.5971	19.205	0.1103	19.615
	NS	0.0587	17.775	2.5504	18.145	0.1699	18.085
	V	0.0112	18.690	0.5354	19.625	0.0614	18.700
35	EW	0.0373	5.585	1.3137	5.525	0.0530	6.940
	NS	0.0589	5.585	2.3178	6.180	0.0994	6.245
	V	0.0095	5.945	0.2699	7.455	0.0112	5.480
36	EW	0.0445	7.385	1.5776	7.425	0.0853	8.320
	NS	0.0521	7.385	1.1150	6.445	0.0727	7.960
	V	0.0298	6.715	0.5678	7.425	0.0270	7.470
37	EW	0.0657	28.835	4.6387	28.805	0.6457	28.895
	NS	0.0572	28.835	3.5795	28.630	0.3470	28.730

ID	Componente	PGA (g)	t (s)	PGV (g)	t (s)	PGD (g)	t (s)
	V	0.0435	14.635	1.1860	30.875	0.1795	36.595
38	EW	0.0612	29.180	2.9638	28.805	0.4818	29.190
	NS	0.0502	29.180	3.0586	28.095	0.2985	28.545
	V	0.0352	13.460	1.0106	33.795	0.1420	34.000
39	EW	0.0442	14.205	1.1912	14.245	0.0555	16.815
	NS	0.0523	14.205	1.7064	13.970	0.0530	13.925
	V	0.0387	13.765	0.8700	13.720	0.0264	13.760
40	EW	0.0852	37.215	1.9589	37.190	0.1885	37.225
	NS	0.0627	37.215	2.1195	37.155	0.1604	37.205
	V	0.0299	37.280	0.8332	37.305	0.0532	39.415
41	EW	0.0681	39.490	2.2924	42.510	1.1107	46.740
	NS	0.0554	39.490	2.7779	39.680	1.0053	44.345
	V	0.0400	39.620	1.4349	41.805	0.3616	40.770
42	EW	0.0685	42.495	2.6650	42.450	0.3018	53.560
	NS	0.0410	42.495	1.5211	43.015	0.3329	54.330
	V	0.0432	42.625	1.6820	42.680	0.2536	42.610
43	EW	0.0644	45.590	2.1720	46.040	0.0866	45.970
	NS	0.0316	45.590	1.1198	44.010	0.0373	43.960
	V	0.0250	44.145	0.4921	44.115	0.0120	44.145
44	EW	0.0748	36.245	2.9313	36.125	0.2036	36.190
	NS	0.0632	36.245	2.0782	36.280	0.2057	36.380
	V	0.0901	35.875	1.2770	36.120	0.0989	40.005

Tabla D-9. Respuestas pico de aceleración, velocidad y desplazamiento para los registros con $0.02g \leq PGAH \leq 0.05g$.

ID	Componente	PGA (g)	t (s)	PGV (g)	t (s)	PGD (g)	t (s)
45	EW	0.0331	2.220	0.7750	2.255	0.0229	2.215
	NS	0.0356	2.220	0.8936	2.235	0.0251	2.275
	V	0.0148	2.605	0.3875	2.565	0.0104	2.610
46	EW	0.0093	2.335	0.1738	2.305	0.0038	1.540
	NS	0.0244	2.335	0.4908	2.235	0.0126	2.270
	V	0.0015	1.410	0.0364	1.440	0.0010	8.465
47	EW	0.0202	3.830	0.2571	3.925	0.0097	3.980
	NS	0.0469	3.830	0.3154	3.815	0.0106	4.030

ID	Componente	PGA (g)	t (s)	PGV (g)	t (s)	PGD (g)	t (s)
	V	0.0230	4.075	0.1648	4.520	0.0051	4.700
48	EW	0.0290	19.155	0.4880	17.560	0.0309	17.945
	NS	0.0231	19.155	0.5295	19.190	0.0256	17.400
	V	0.0128	5.780	0.3031	17.840	0.0209	5.775
49	EW	0.0186	17.990	0.7014	17.940	0.0508	17.995
	NS	0.0206	17.990	0.7764	17.770	0.0661	24.990
	V	0.0159	6.255	0.4195	6.280	0.0240	20.215
50	EW	0.0353	26.105	1.4384	26.010	0.0753	26.095
	NS	0.0231	26.105	0.8212	26.520	0.0610	26.265
	V	0.0190	25.185	0.5404	25.220	0.0229	26.105
51	EW	0.0268	8.195	1.2223	8.255	0.0610	8.330
	NS	0.0205	8.195	0.6164	8.250	0.0297	8.330
	V	0.0109	8.350	0.3626	8.490	0.0217	8.580
52	EW	0.0164	21.325	0.7199	21.265	0.0419	21.185
	NS	0.0201	21.325	0.7770	21.195	0.0472	21.910
	V	0.0136	6.755	0.3209	22.490	0.0143	21.460
53	EW	0.0310	6.975	0.7311	7.180	0.0326	7.645
	NS	0.0317	6.975	0.7140	7.060	0.0375	8.085
	V	0.0261	7.255	0.4087	7.240	0.0100	8.975
54	EW	0.0267	21.275	1.0203	21.235	0.0448	21.165
	NS	0.0235	21.275	0.7891	21.020	0.0289	21.085
	V	0.0107	21.725	0.2501	21.265	0.0101	21.315
55	EW	0.0210	7.335	0.9263	7.425	0.0608	7.330
	NS	0.0146	7.335	0.8170	8.065	0.0558	7.965
	V	0.0098	5.800	0.2303	8.065	0.0171	9.340
56	EW	0.0209	6.345	1.9322	14.530	0.2716	14.310
	NS	0.0224	6.345	1.8544	11.320	0.2779	11.540
	V	0.0085	8.325	0.6958	10.680	0.0890	13.375
57	EW	0.0266	6.620	1.0255	6.720	0.0715	6.625
	NS	0.0247	6.620	1.1223	6.500	0.0747	6.210
	V	0.0170	6.430	0.5089	6.345	0.0257	6.430
58	EW	0.0298	11.255	0.8391	11.225	0.0745	12.345
	NS	0.0382	11.255	1.1837	11.125	0.0762	11.235
	V	0.0152	11.760	0.5020	11.250	0.0342	11.590

ID	Componente	PGA (g)	t (s)	PGV (g)	t (s)	PGD (g)	t (s)
59	EW	0.0230	7.930	1.1724	8.080	0.1496	8.315
	NS	0.0277	7.930	0.9822	8.185	0.1127	8.680
	V	0.0082	9.225	0.3235	13.960	0.0447	6.840
60	EW	0.0201	11.305	0.8746	11.050	0.0578	10.980
	NS	0.0201	11.305	0.6315	10.820	0.0527	10.345
	V	0.0102	11.380	0.1891	11.415	0.0109	10.640
61	EW	0.0399	11.930	1.4658	11.985	0.0555	11.925
	NS	0.0330	11.930	1.2957	11.725	0.0433	11.780
	V	0.0144	4.720	0.2414	13.170	0.0096	13.130
62	EW	0.0150	22.760	0.4974	23.635	0.0293	21.870
	NS	0.0212	22.760	0.6808	21.315	0.0330	20.595
	V	0.0100	21.080	0.2373	23.045	0.0101	23.120
63	EW	0.0385	33.475	6.1820	33.790	1.4566	33.465
	NS	0.0258	33.475	4.7856	38.445	1.4468	38.915
	V	0.0134	32.860	2.4946	39.015	0.6711	38.645
64	EW	0.0339	23.600	7.3939	23.865	2.2534	23.500
	NS	0.0382	23.600	11.7138	35.905	3.7891	35.420
	V	0.0147	12.630	2.2384	27.520	0.6875	31.175
65	EW	0.0484	11.265	0.8324	11.325	0.0580	11.265
	NS	0.0434	11.265	0.5882	11.350	0.0549	11.620
	V	0.0308	10.790	0.4514	11.060	0.0541	10.505
66	EW	0.0437	11.590	0.7666	12.610	0.0466	12.680
	NS	0.0479	11.590	1.7044	12.190	0.1102	12.250
	V	0.0288	10.665	0.5141	11.715	0.0191	11.210
67	EW	0.0380	10.910	0.2824	10.795	0.0065	10.860
	NS	0.0384	10.910	0.4133	10.775	0.0143	10.790
	V	0.0252	9.965	0.2393	11.370	0.0094	10.925
68	EW	0.0461	20.330	2.3785	19.065	0.1348	24.360
	NS	0.0450	20.330	2.4496	20.025	0.1399	19.945
	V	0.0181	19.840	0.6152	19.800	0.0284	20.045
69	EW	0.0096	25.855	0.3476	25.525	0.0490	25.450
	NS	0.0205	25.855	1.2411	24.925	0.2301	25.140
	V	0.0032	26.140	0.2481	24.710	0.0636	25.110
70	EW	0.0218	21.475	1.0576	21.510	0.0577	21.645

ID	Componente	PGA (g)	t (s)	PGV (g)	t (s)	PGD (g)	t (s)
	NS	0.0234	21.475	0.7691	21.445	0.0599	21.315
	V	0.0081	21.270	0.2648	21.235	0.0204	21.115
71	EW	0.0215	10.440	0.7251	10.370	0.0542	10.440
	NS	0.0177	10.440	0.6060	10.390	0.0282	10.340
	V	0.0078	10.270	0.3570	10.440	0.0184	10.510
72	EW	0.0134	17.840	0.4247	17.885	0.0176	17.835
	NS	0.0216	17.840	0.9209	17.835	0.0446	18.010
	V	0.0038	16.180	0.0918	15.660	0.0052	20.810
73	EW	0.0312	25.470	0.9284	24.120	0.0607	27.305
	NS	0.0289	25.470	0.9253	24.865	0.0645	28.345
	V	0.0210	24.670	0.4607	24.565	0.0176	24.785
74	EW	0.0419	43.455	1.9946	43.195	0.4227	33.585
	NS	0.0148	43.455	1.2745	36.505	0.3882	35.975
	V	0.0113	22.485	0.7524	37.350	0.1737	35.340
75	EW	0.0384	32.470	1.7938	32.345	0.3328	27.265
	NS	0.0310	32.470	1.5533	33.430	0.2383	28.355
	V	0.0122	39.705	0.6300	15.315	0.1015	15.495
76	EW	0.0249	9.395	0.3887	9.175	0.0064	9.200
	NS	0.0109	9.395	0.2029	9.015	0.0044	8.980
	V	0.0083	2.060	0.1166	9.230	0.0023	2.055
77	EW	0.0300	26.860	0.9198	26.895	0.0644	26.850
	NS	0.0256	26.860	1.1367	26.410	0.0691	26.345
	V	0.0171	10.675	0.2862	10.650	0.0137	34.535
78	EW	0.0230	10.760	0.8404	10.805	0.0659	10.745
	NS	0.0400	10.760	1.5612	7.685	0.1170	7.845
	V	0.0193	4.155	0.5481	8.855	0.0351	10.555
79	EW	0.0398	14.575	0.3984	14.560	0.0067	13.795
	NS	0.0363	14.575	0.2885	14.520	0.0080	13.970
	V	0.0314	15.075	0.2455	13.895	0.0059	8.220
80	EW	0.0203	11.380	0.1854	11.365	0.0022	11.380
	NS	0.0198	11.380	0.1656	11.350	0.0016	11.335
	V	0.0162	11.055	0.1325	11.065	0.0012	11.080
81	EW	0.0317	9.945	0.9795	11.815	0.0519	11.755
	NS	0.0374	9.945	0.9098	10.395	0.0418	15.570

ID	Componente	PGA (g)	t (s)	PGV (g)	t (s)	PGD (g)	t (s)
	V	0.0191	9.490	0.5083	11.000	0.0194	12.520
82	EW	0.0139	15.560	0.4213	15.520	0.0132	14.520
	NS	0.0198	15.560	0.4793	15.040	0.0166	14.665
	V	0.0074	14.850	0.1461	14.820	0.0048	14.850
83	EW	0.0360	9.915	1.4782	9.965	0.0581	9.910
	NS	0.0421	9.915	1.1424	10.360	0.0325	9.815
	V	0.0097	11.185	0.1931	10.090	0.0059	10.050
84	EW	0.0231	17.130	1.1788	18.250	0.1625	18.610
	NS	0.0161	17.130	0.8199	18.255	0.0755	18.800
	V	0.0243	18.500	0.7030	18.455	0.0767	24.935
85	EW	0.0227	17.790	2.0836	17.890	0.1731	18.020
	NS	0.0210	17.790	1.1859	17.750	0.1550	17.660
	V	0.0110	19.575	0.4981	19.500	0.0452	20.185
86	EW	0.0369	18.995	1.6998	19.130	0.2117	19.445
	NS	0.0259	18.995	0.9550	19.205	0.1248	20.300
	V	0.0196	19.525	0.8880	20.395	0.0911	20.515
87	EW	0.0169	16.635	0.3184	18.140	0.0083	18.105
	NS	0.0220	16.635	0.4068	17.870	0.0121	17.905
	V	0.0090	8.800	0.1120	8.740	0.0034	8.765
88	EW	0.0147	12.565	0.4860	13.335	0.0291	13.435
	NS	0.0334	12.565	1.5342	12.770	0.1000	12.890
	V	0.0120	11.280	0.5686	13.795	0.0274	13.685
89	EW	0.0143	25.060	0.4379	25.010	0.0181	25.180
	NS	0.0254	25.060	0.9033	25.015	0.0320	24.955
	V	0.0047	25.185	0.1398	25.220	0.0040	25.270
90	EW	0.0234	33.715	0.7652	33.765	0.0620	33.715
	NS	0.0172	33.715	0.6506	33.525	0.0508	33.100
	V	0.0145	33.550	0.3478	33.515	0.0369	33.975
91	EW	0.0122	41.235	0.4291	41.840	0.0469	41.775
	NS	0.0209	41.235	0.9496	41.475	0.0884	41.340
	V	0.0089	41.315	0.3388	41.265	0.0179	41.325
92	EW	0.0162	69.545	0.8783	69.265	0.0607	69.160
	NS	0.0253	69.545	1.4666	68.760	0.0906	68.865
	V	0.0120	69.500	0.4198	69.450	0.0208	69.390

ID	Componente	PGA (g)	t (s)	PGV (g)	t (s)	PGD (g)	t (s)
93	EW	0.0244	37.450	0.7215	37.625	0.0645	37.775
	NS	0.0324	37.450	1.0824	37.910	0.0798	37.840
	V	0.0091	36.775	0.3065	39.865	0.0222	39.935
94	EW	0.0461	42.260	1.2845	42.300	0.0765	48.540
	NS	0.0393	42.260	0.9600	42.595	0.0806	46.200
	V	0.0313	42.730	0.4977	43.045	0.0664	49.435
95	EW	0.0150	39.505	0.3868	40.100	0.0175	40.155
	NS	0.0215	39.505	0.4305	39.630	0.0381	42.865
	V	0.0132	39.715	0.2089	39.690	0.0137	51.260
96	EW	0.0206	40.420	0.7632	40.395	0.0344	40.025
	NS	0.0247	40.420	0.8301	40.390	0.0511	40.270
	V	0.0118	40.000	0.2698	39.980	0.0205	39.895
97	EW	0.0334	23.705	0.9773	23.480	0.0350	23.530
	NS	0.0334	23.705	0.5976	24.085	0.0205	24.970
	V	0.0397	23.295	0.6250	23.315	0.0162	24.015
98	EW	0.0180	39.465	0.5000	39.405	0.0197	39.460
	NS	0.0221	39.465	0.6148	39.400	0.0241	39.350
	V	0.0072	39.205	0.1326	39.180	0.0038	39.950
99	EW	0.0238	39.990	0.6141	39.950	0.0214	39.985
	NS	0.0248	39.990	0.4035	40.290	0.0211	39.775
	V	0.0084	39.555	0.1818	40.055	0.0077	39.915
100	EW	0.0226	36.715	0.4189	37.000	0.0261	40.505
	NS	0.0235	36.715	0.4217	37.130	0.0214	37.105
	V	0.0296	36.320	0.3711	36.305	0.0151	40.515
101	EW	0.0231	36.630	0.4214	36.605	0.0443	40.535
	NS	0.0198	36.630	0.5391	36.445	0.0471	42.405
	V	0.0240	36.325	0.3200	36.335	0.0191	40.250

Apéndice E. Gráficos de variación de parámetros sísmicos en función de las características generales del sismo.
generales del sismo.

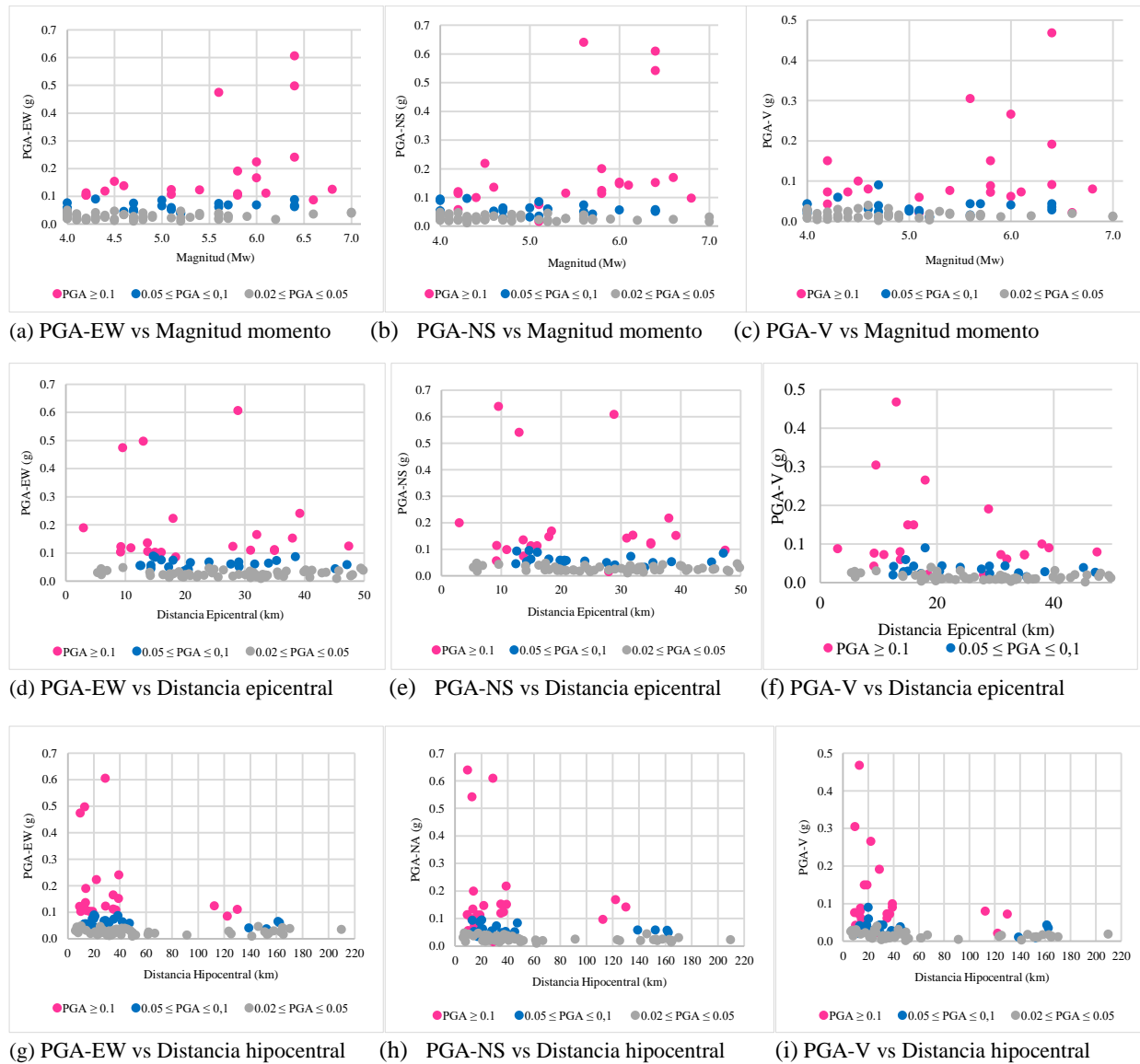


Figura E-1. Aceleración pico por componentes en función de las características generales del sismo.

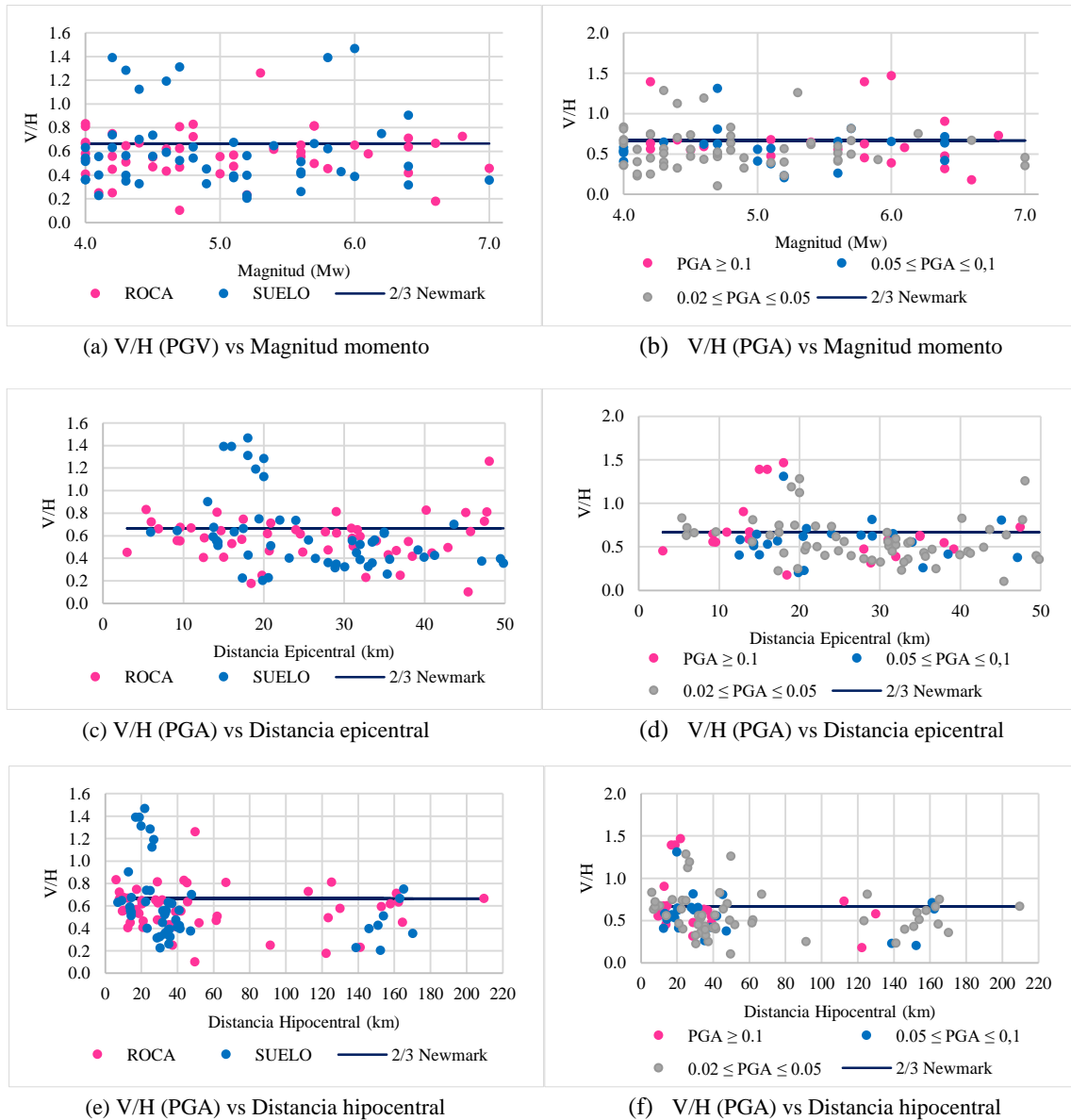
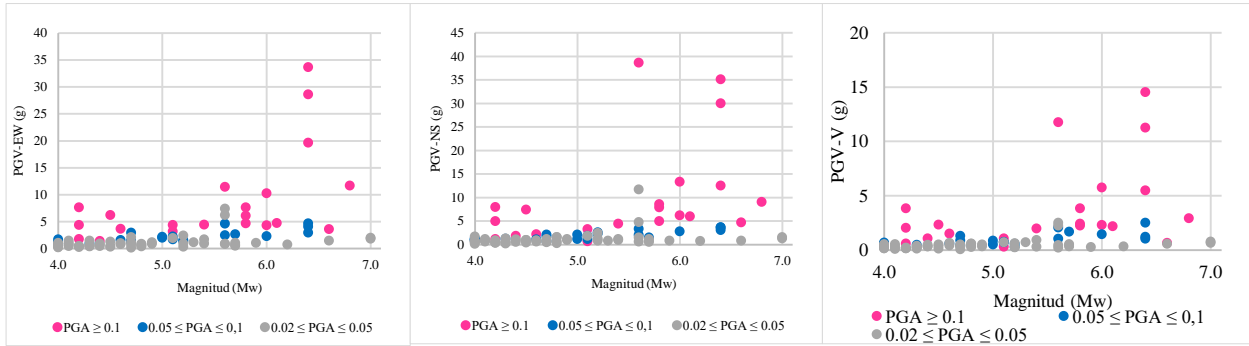
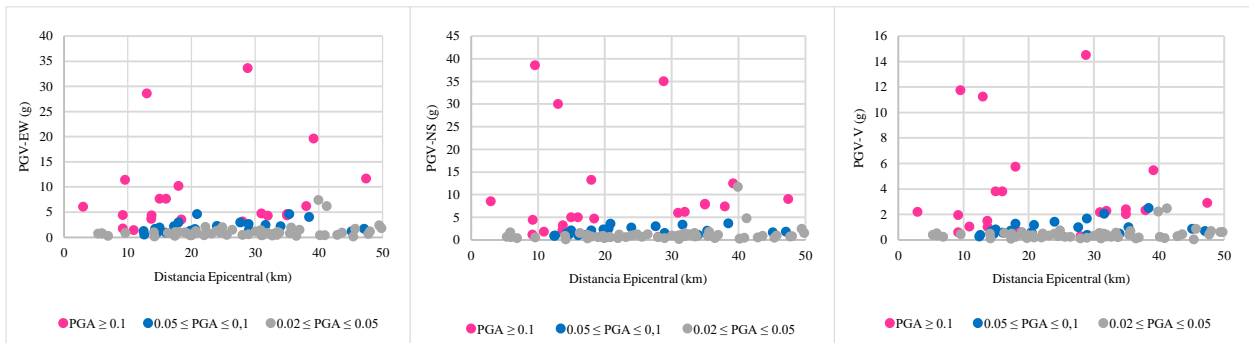


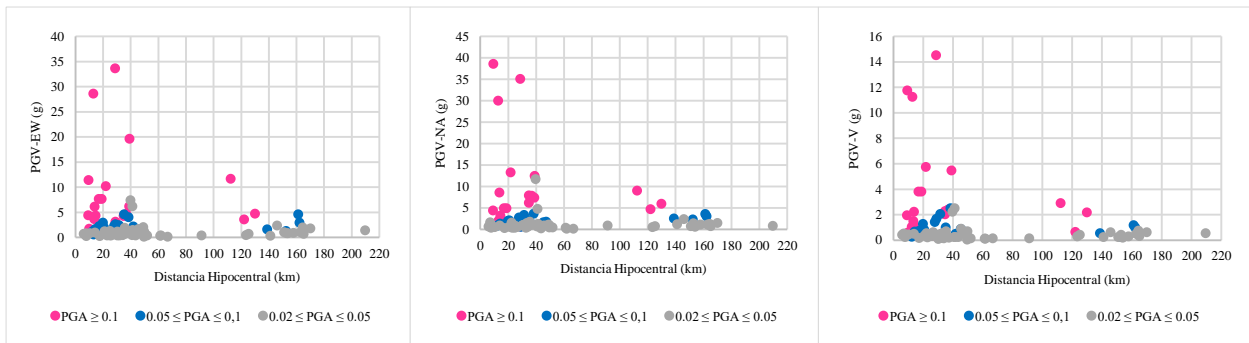
Figura E-2. Relación V/H en función de las características generales del sismo.



(a) PGV-EW vs Magnitud momento (b) PGV-NS vs Magnitud momento (c) PGV-V vs Magnitud momento



(d) PGV-EW vs Distancia epicentral (e) PGV-NS vs Distancia epicentral (f) PGV-V vs Distancia epicentral



(g) PGV-EW vs Distancia hipocentral (h) PGV-NS vs Distancia hipocentral (i) PGV-V vs Distancia hipocentral

Figura E-3. Velocidad pico por componentes en función de las características generales del sismo.

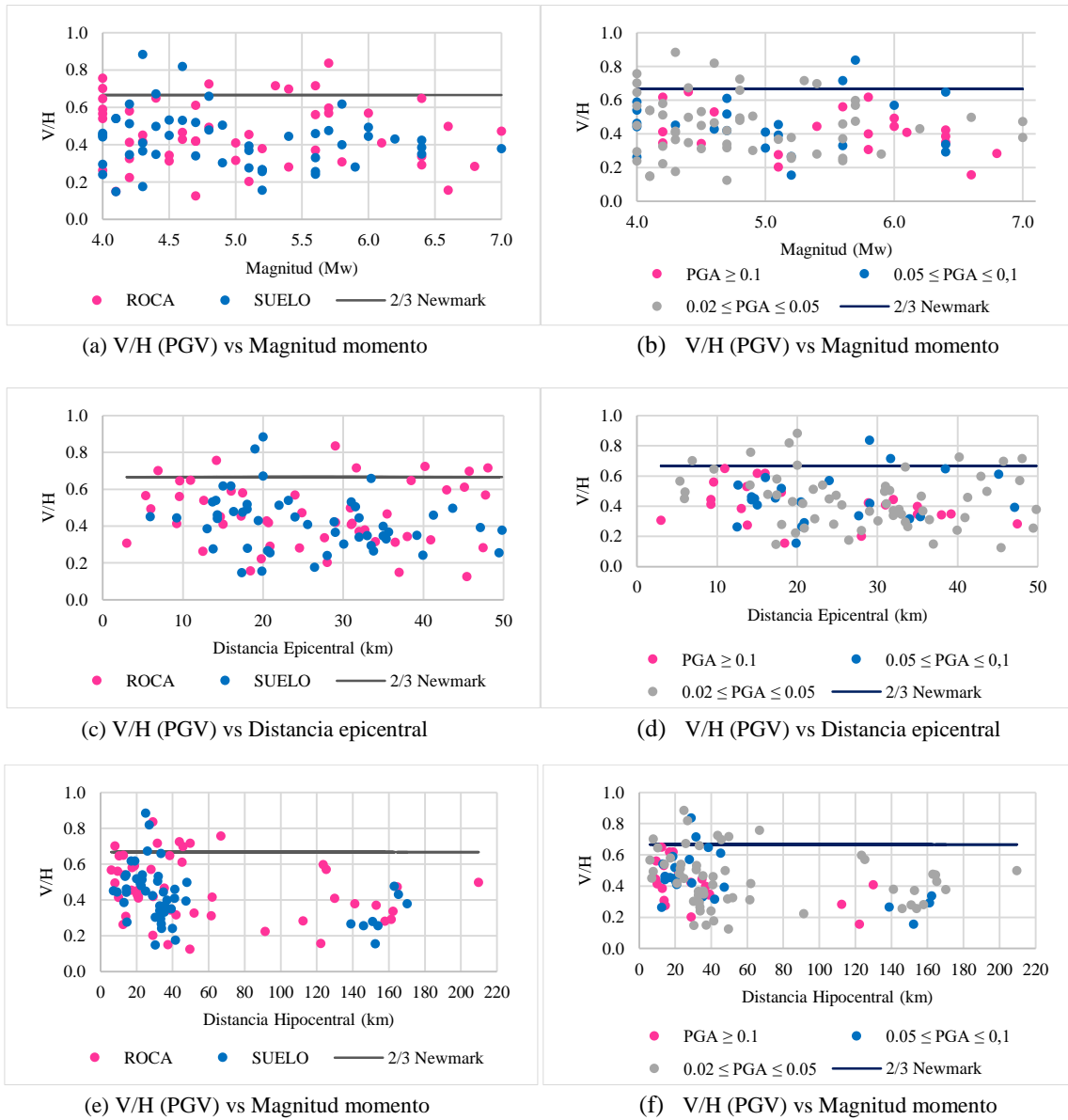
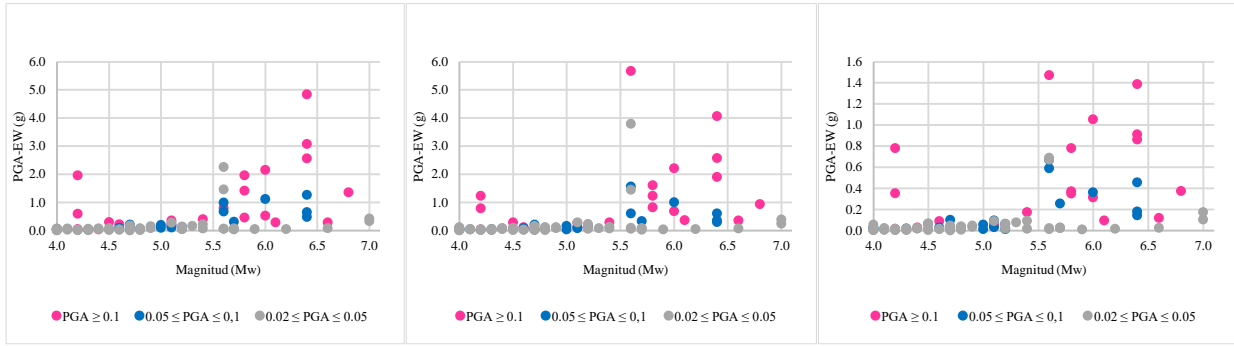
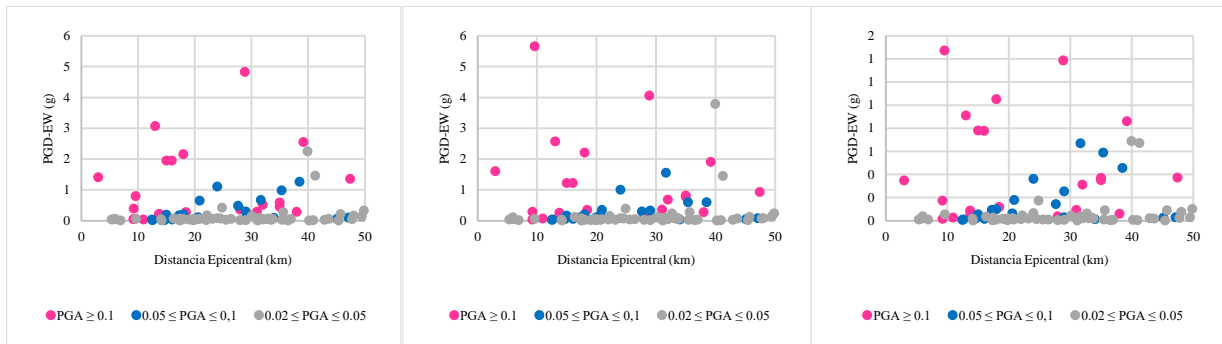


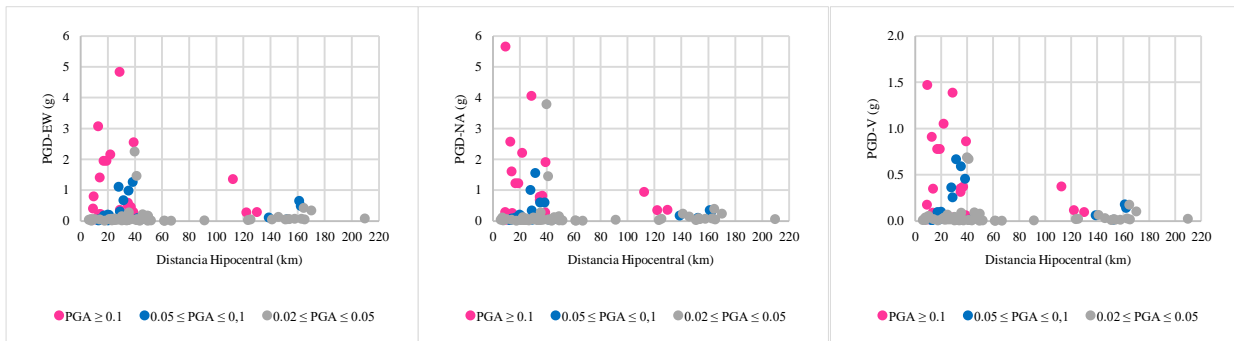
Figura E-4. Cociente entre Velocidad vertical y velocidad horizontal en función de las características generales del sismo.



(a) PGD-EW vs Magnitud momento (b) PGD-NS vs Magnitud momento (c) PGD-V vs Magnitud momento



(d) PGD-EW vs Distancia epicentral (e) PGD-NS vs Distancia epicentral (f) PGD-V vs Distancia epicentral



(g) PGD-EW vs Distancia hipocentral (h) PGD-NS vs Distancia hipocentral (i) PGD-V vs Distancia hipocentral

Figura E-5. Desplazamiento pico por componentes en función de las características generales del sismo.

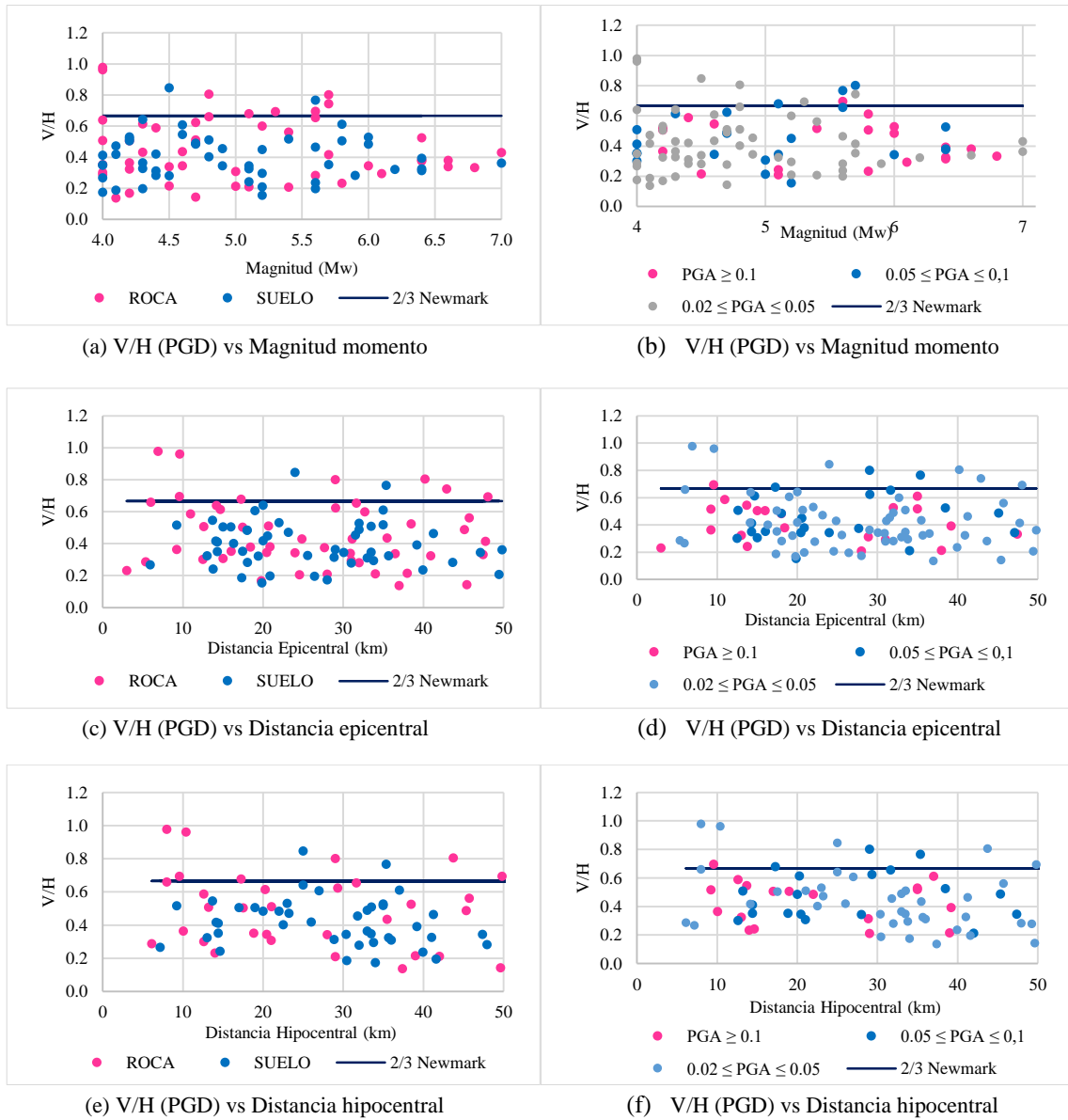


Figura E-6. Cociente entre el Desplazamiento vertical y el desplazamiento horizontal en función de las características generales del sismo.

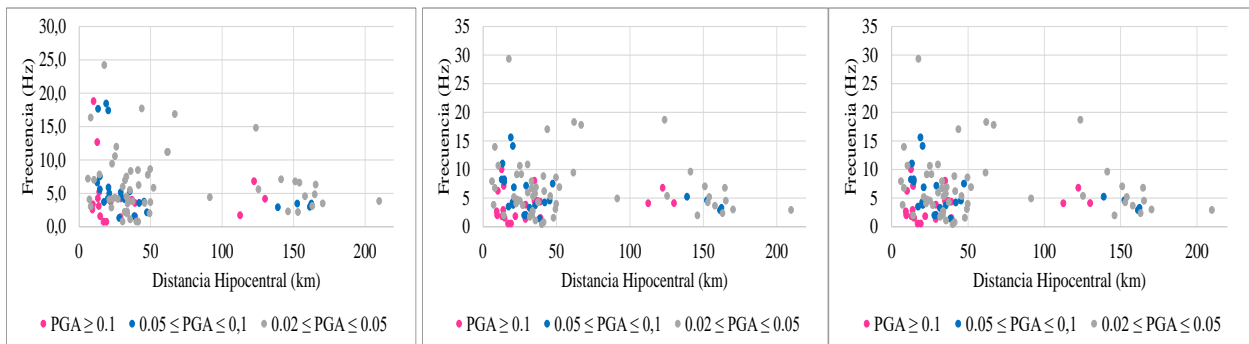
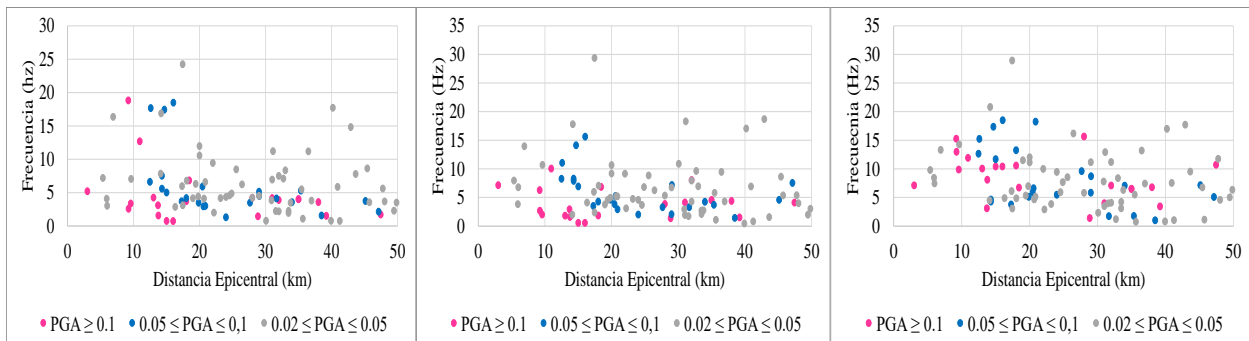
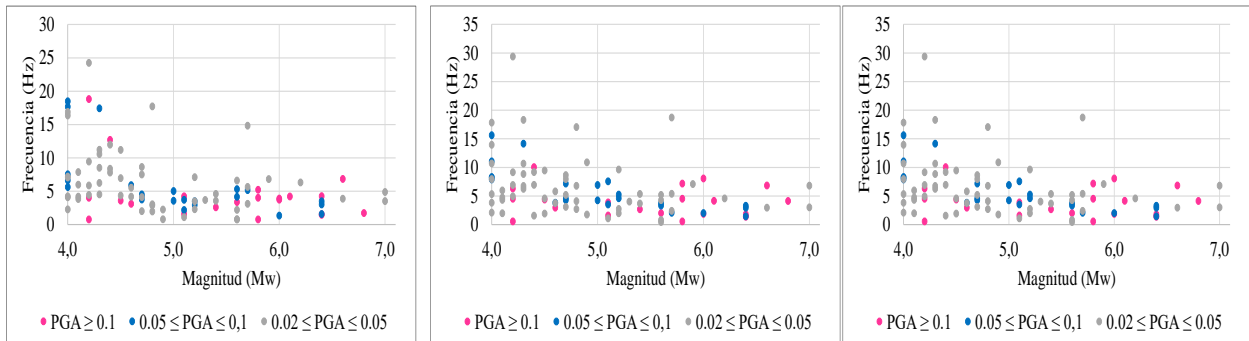


Figura E-7. Frecuencia asociada la máxima amplitud de Fourier por componentes en función de las características generales del sismo.

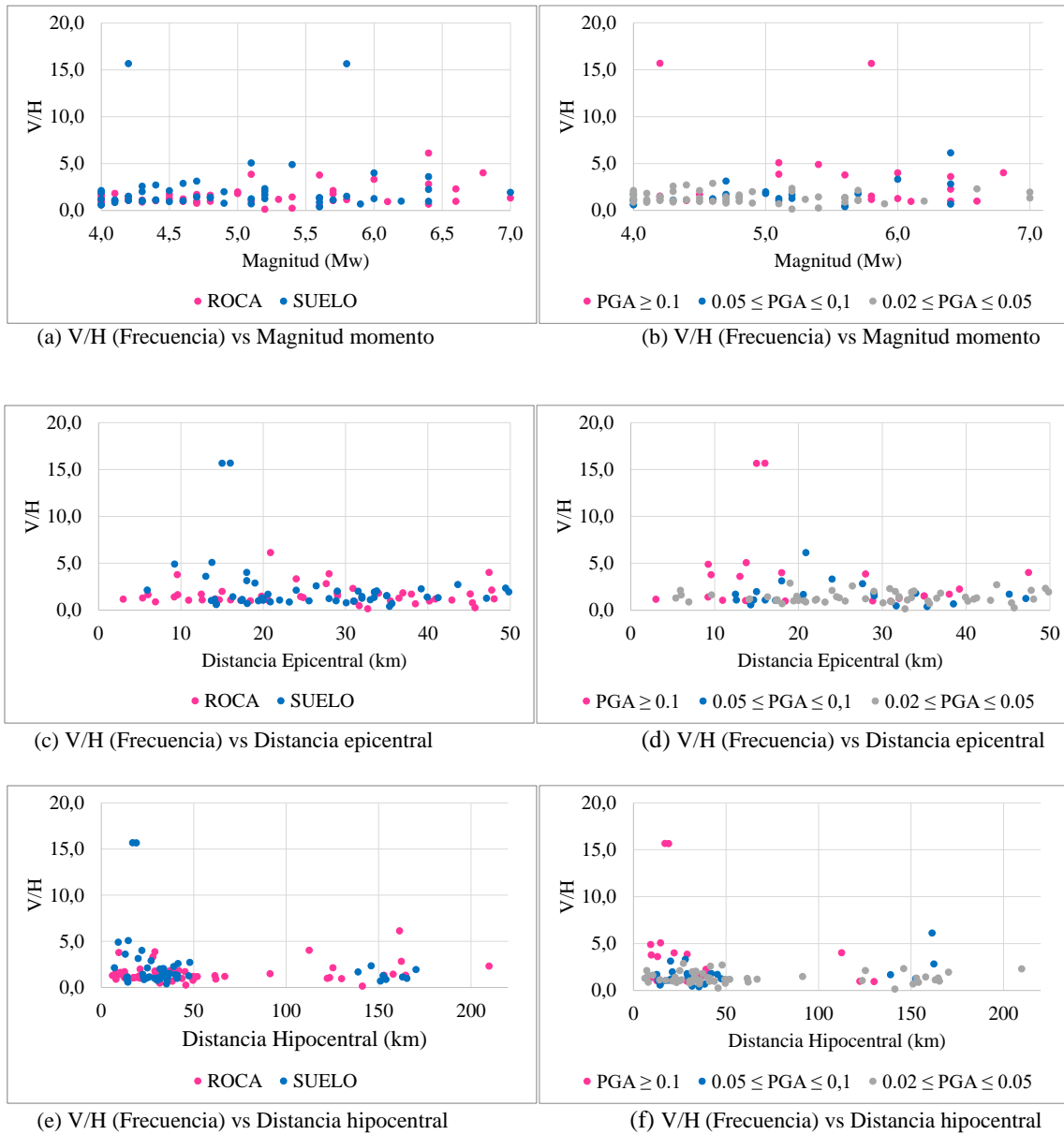
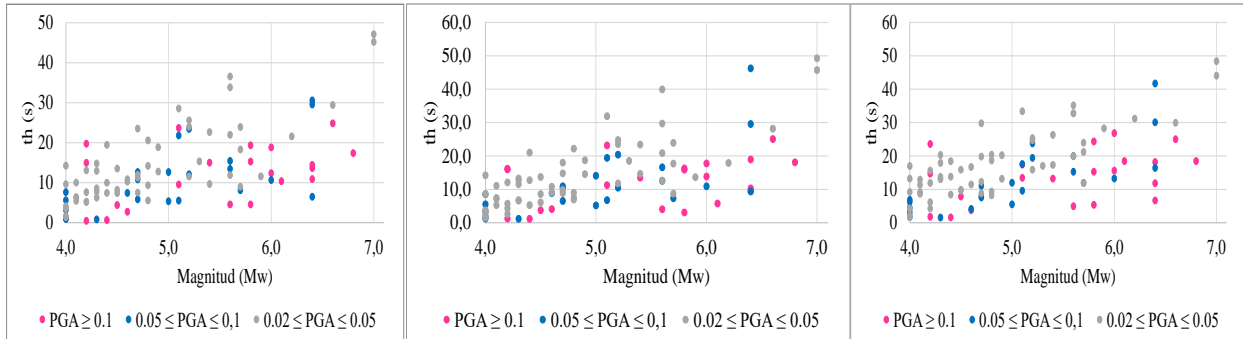
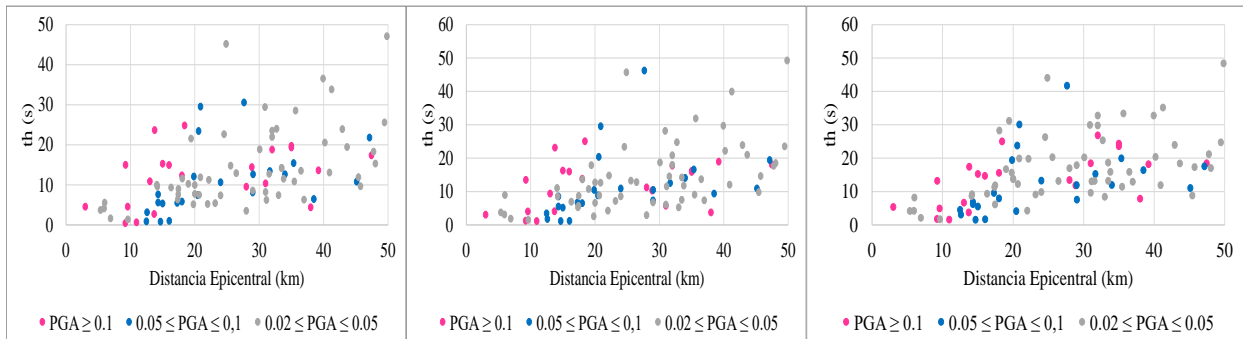


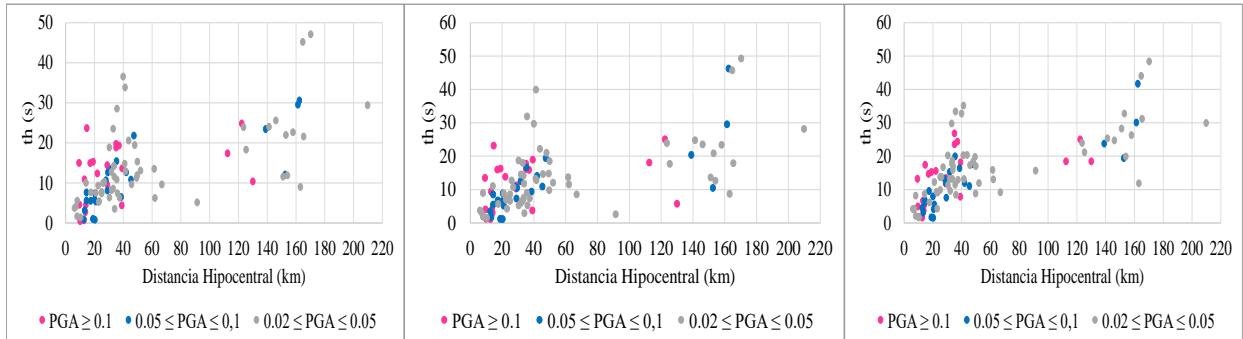
Figura E-8. Cociente entre CV y CH de la Frecuencia asociada la máxima amplitud de Fourier en función de las características generales del sismo.



(a) Duración significativa - EW vs Magnitud Momento (b) Duración significativa - NS vs Magnitud Momento (c) Duración significativa - V vs Magnitud Momento

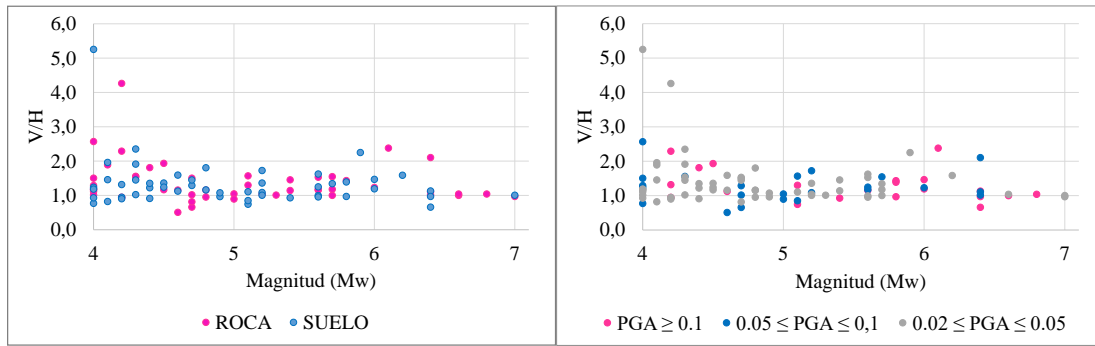


(d) Duración significativa - EW vs Distancia epicentral (e) Duración significativa - NS vs Distancia epicentral (f) Duración significativa - V vs Distancia epicentral



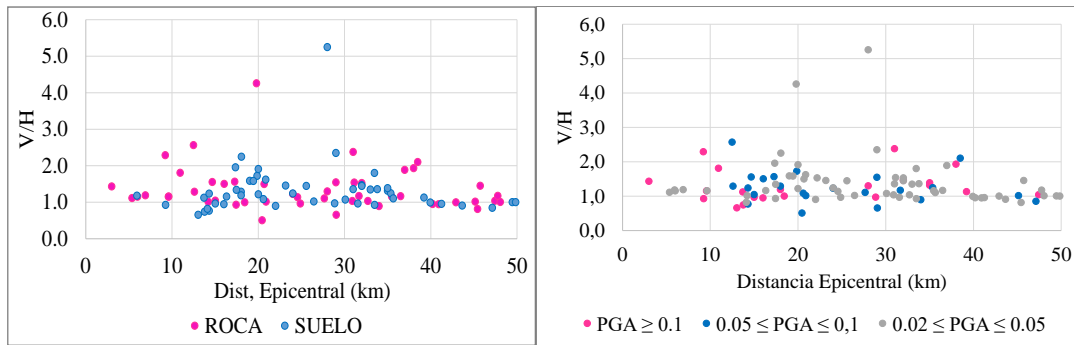
(g) Duración significativa - EW vs Dist. hipocentral (h) Duración significativa - NS vs Dist. hipocentral (i) Duración significativa - V vs Dist. hipocentral

Figura E-9. Duración significativa de Trifunac y Brady por componentes en función de las características generales del sismo.



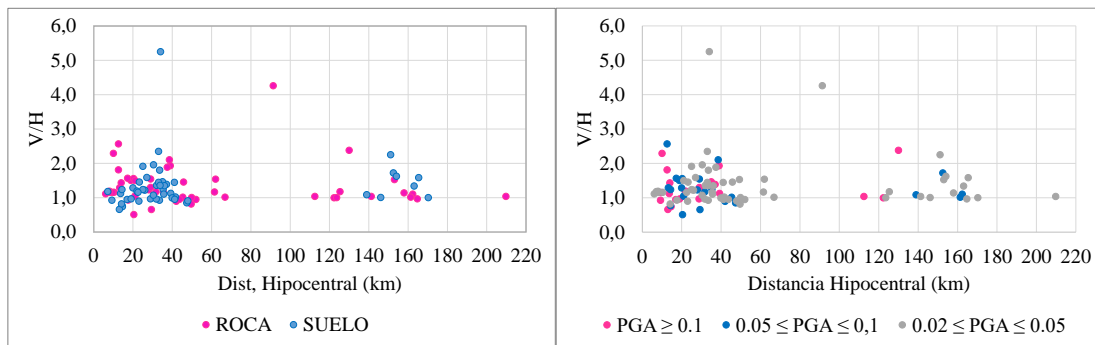
(a) V/H (th) vs Magnitud momento

(b) V/H (th) vs Magnitud momento



(c) V/H (th) vs Distancia epicentral

(d) V/H (th) vs Distancia epicentral



(e) V/H (th) vs Distancia hipocentral

(f) V/H (th) vs Distancia hipocentral

Figura E-10. Cociente entre CV y CH de la Duración significativa de Trifunac y Brady en función de las características generales del sismo.

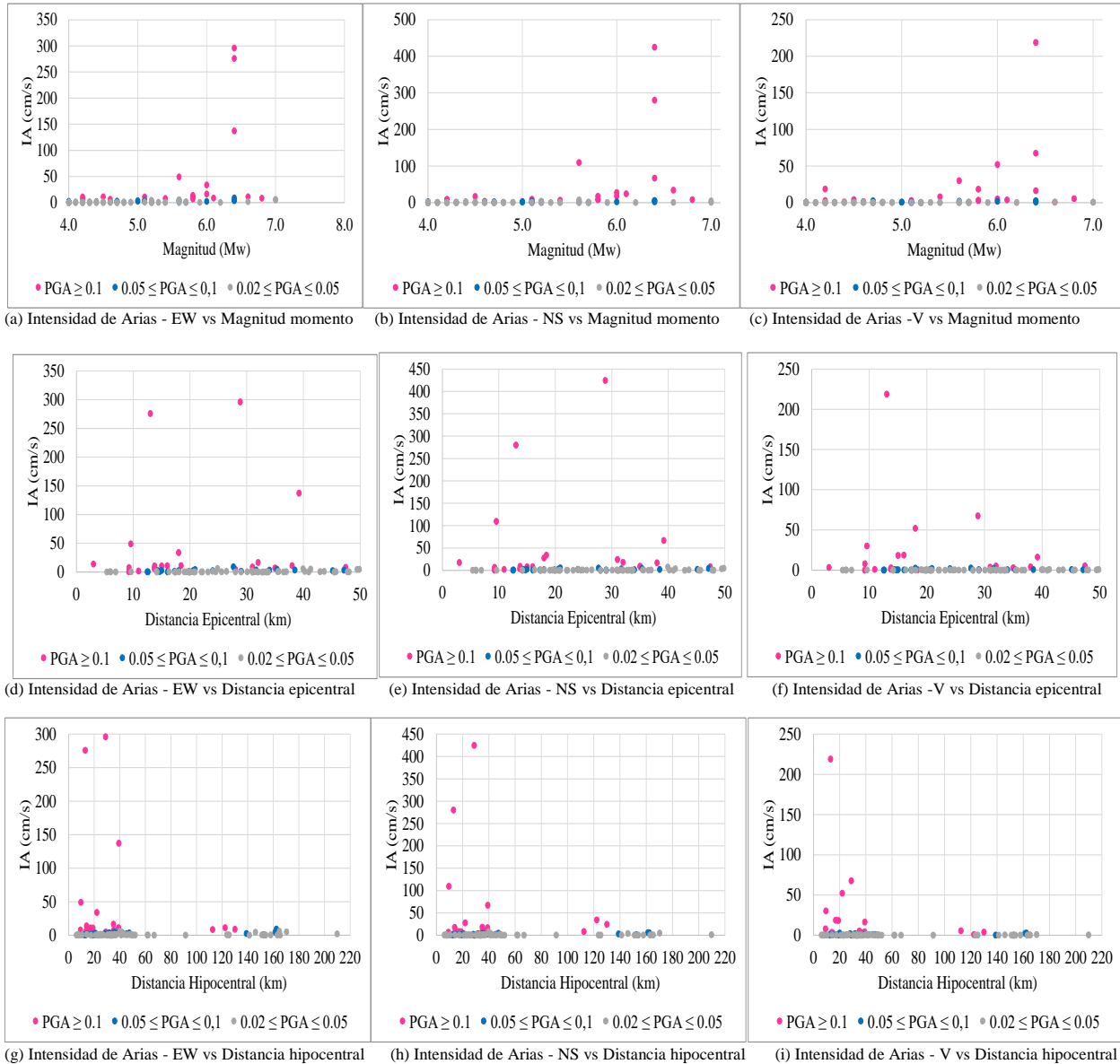


Figura E-11. Intensidad de Arias por componentes en función de las características generales del sismo.

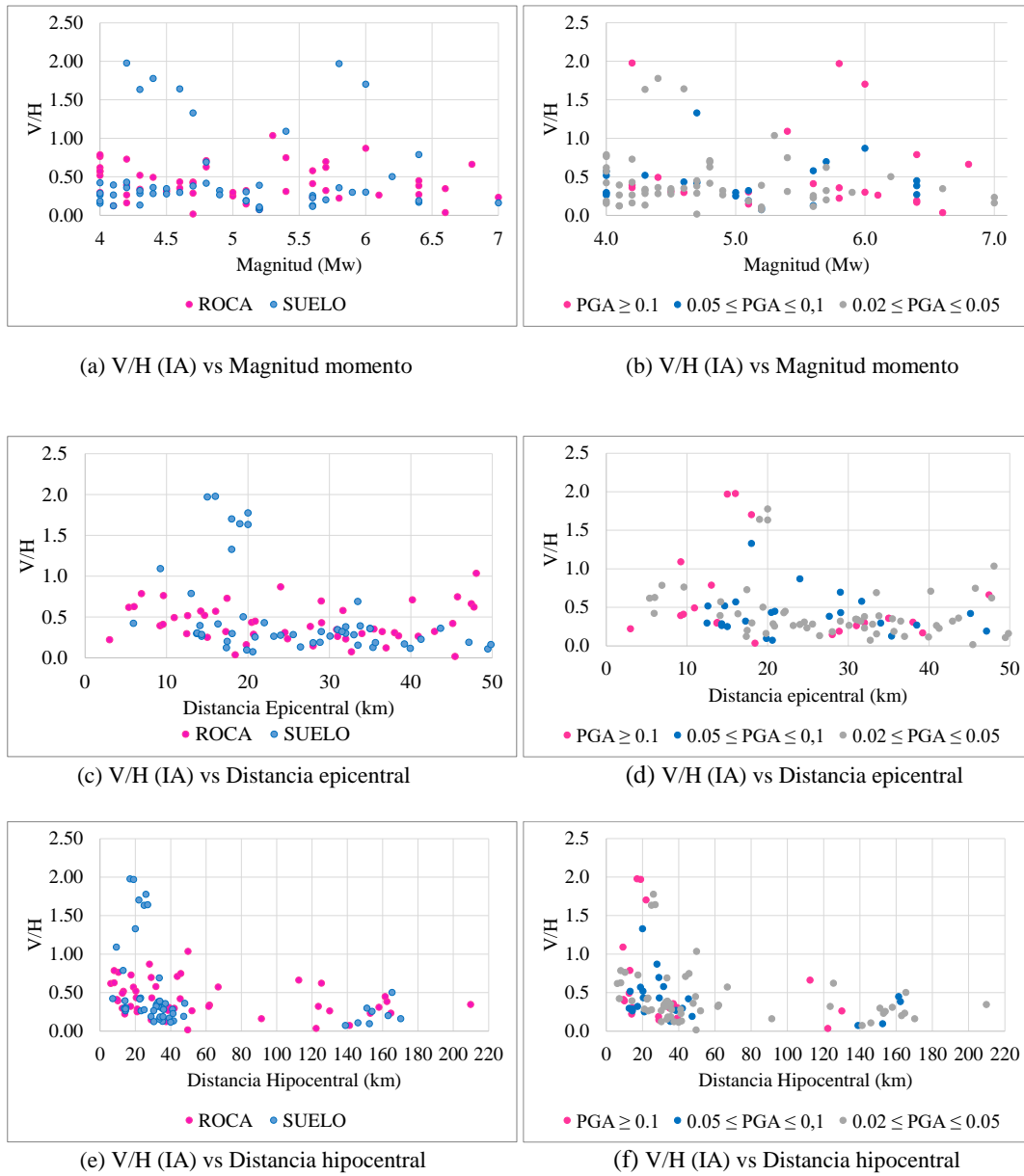


Figura E-12. Cociente entre CV y CH de la intensidad de Arias en función de las características generales del sismo.

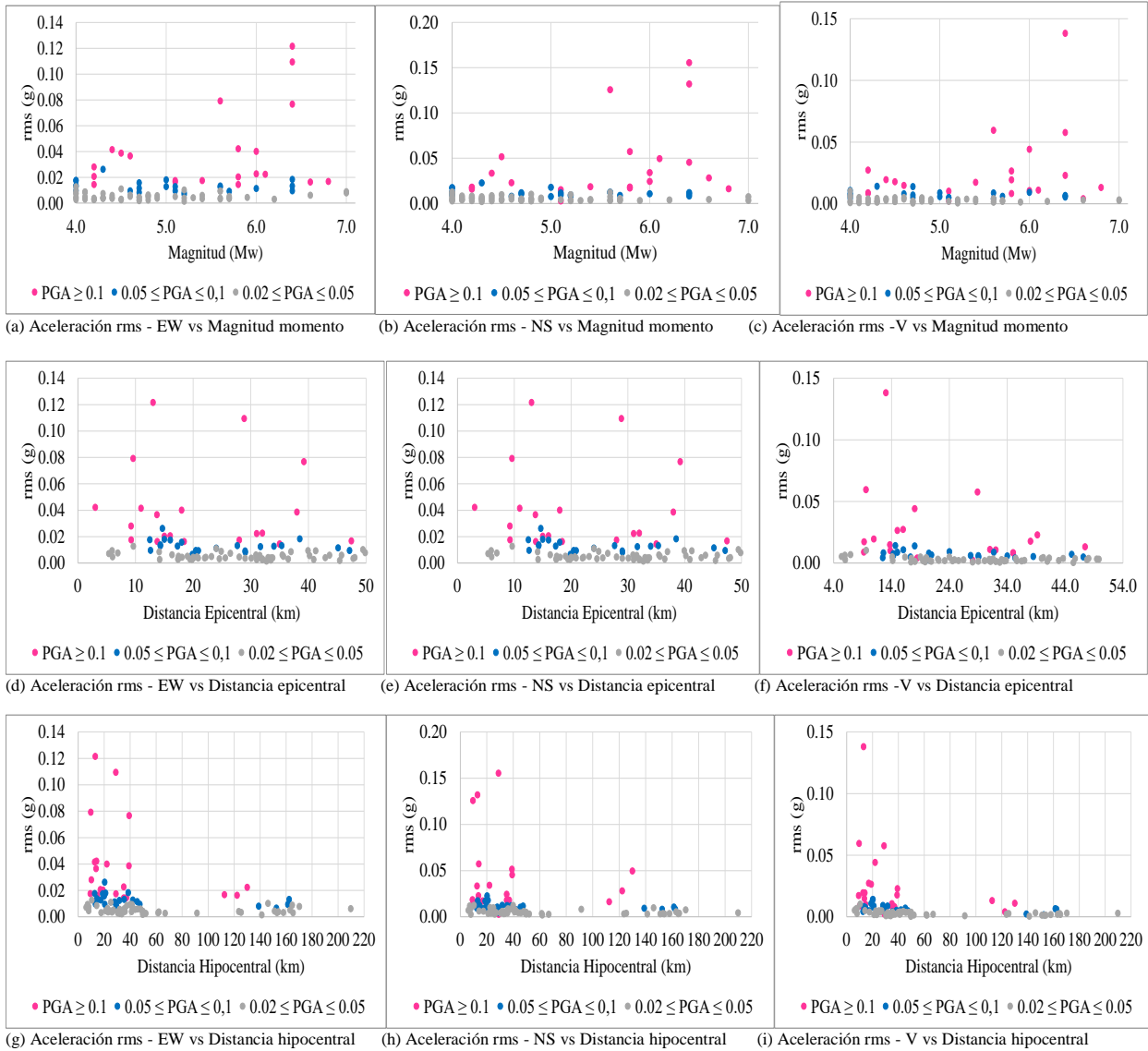
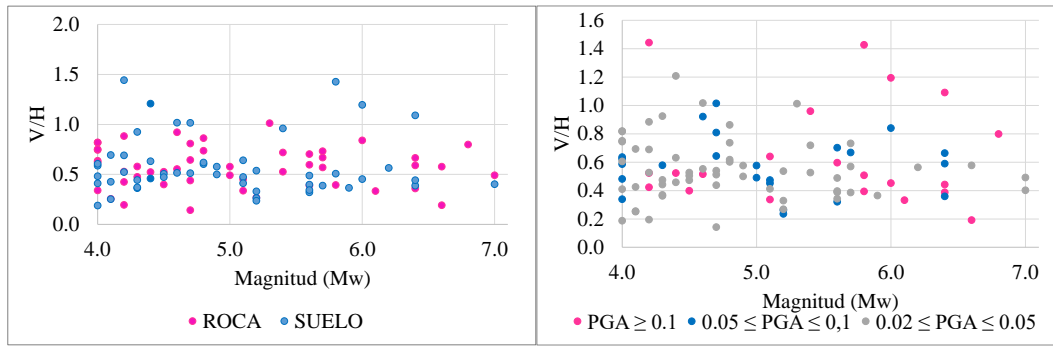
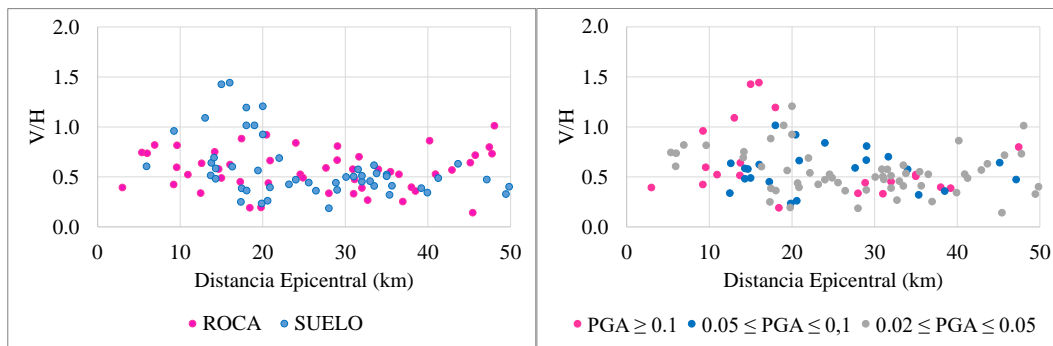


Figura E-13. Aceleración rms por componentes en función de las características generales del sismo.



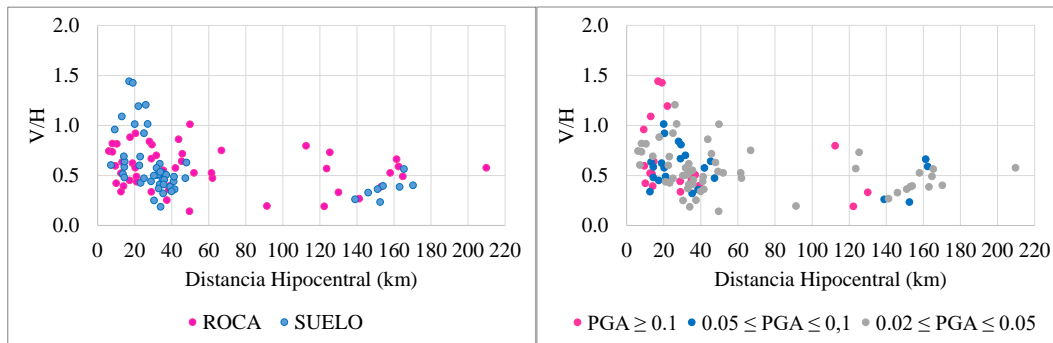
(a) V/H (Aceleración rms) vs Magnitud momento

(b) V/H (Aceleración rms) vs Magnitud momento



(c) V/H (Aceleración rms) vs Distancia epicentral

(d) V/H (Aceleración rms) vs Distancia epicentral



(e) V/H (Aceleración rms) vs Distancia hipocentral

(f) V/H (Aceleración rms) vs Distancia hipocentral

Figura E-14. Cociente entre CV y CH de la Aceleración rms en función de las características generales del sismo

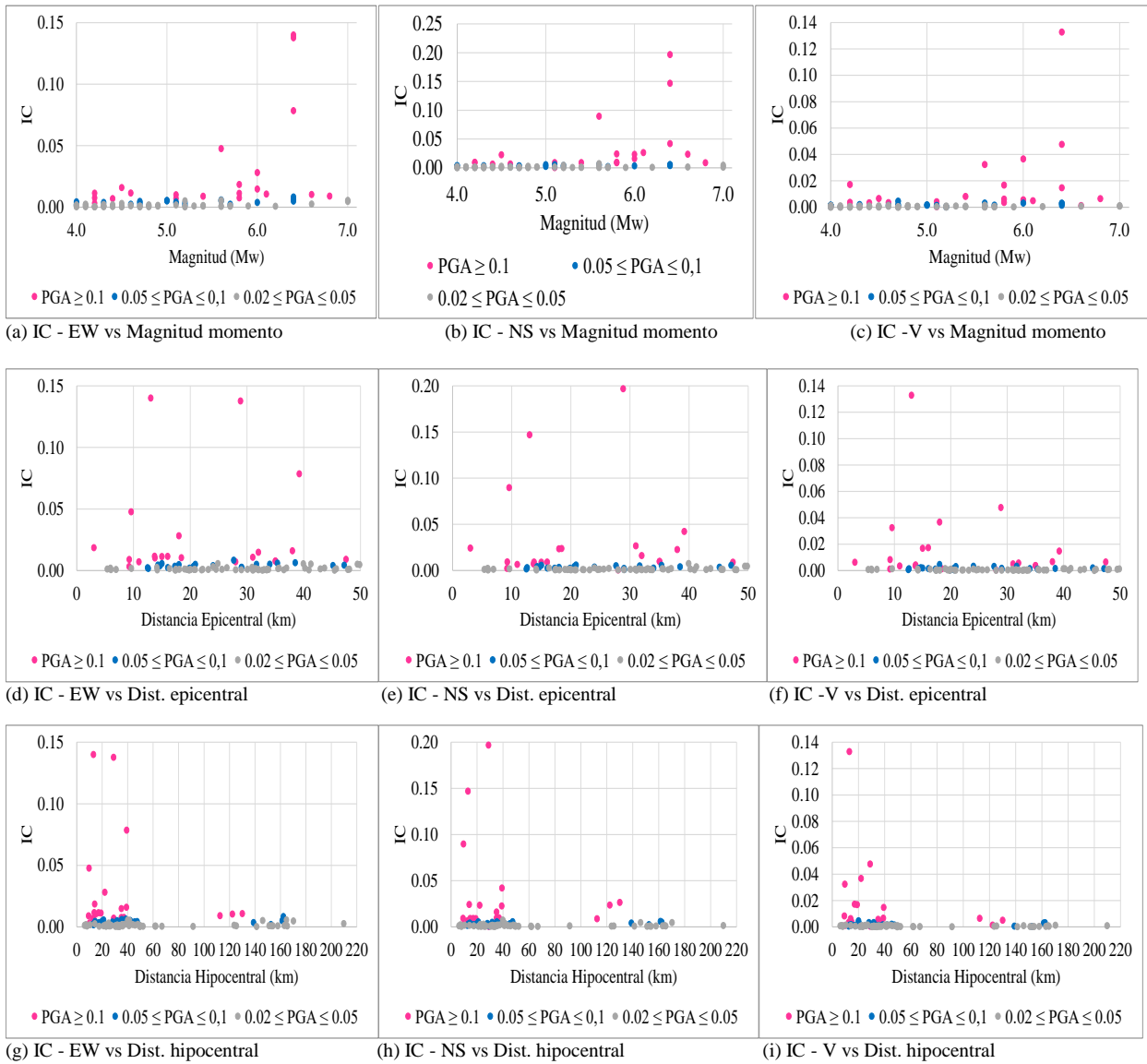
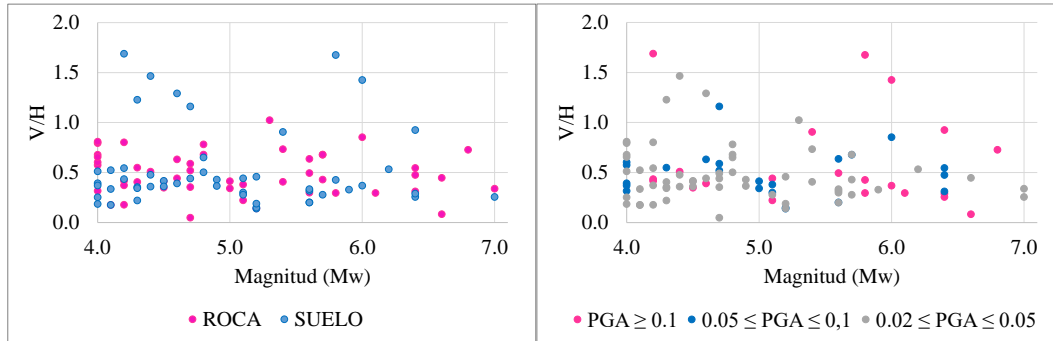
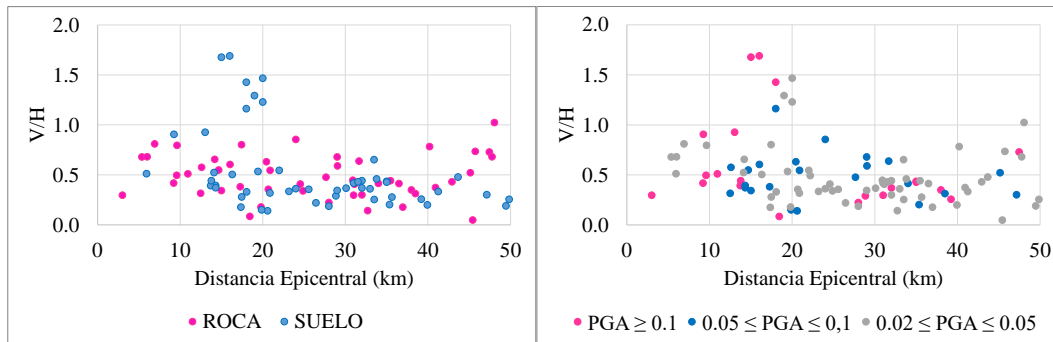


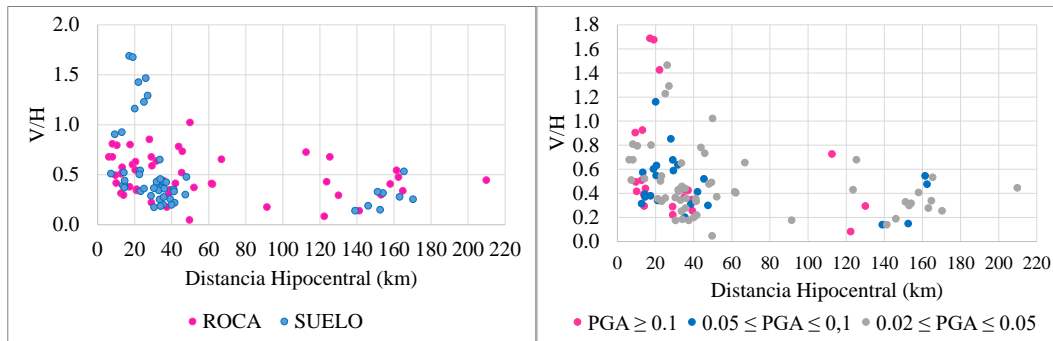
Figura E-15. Intensidad característica por componentes en función de las características generales del sismo.



(a) V/H (Intensidad característica) vs Magnitud momento (b) V/H (Intensidad característica) vs Magnitud momento



(c) V/H (Intensidad característica) vs Distancia epicentral (d) V/H (Intensidad característica) vs Distancia epicentral



(e) V/H (Intensidad característica) vs Distancia hipocentral (f) V/H (Intensidad característica) vs Distancia hipocentral

Figura E-16. Cociente entre CV y CH de la Intensidad característica en función de las características generales del sismo.

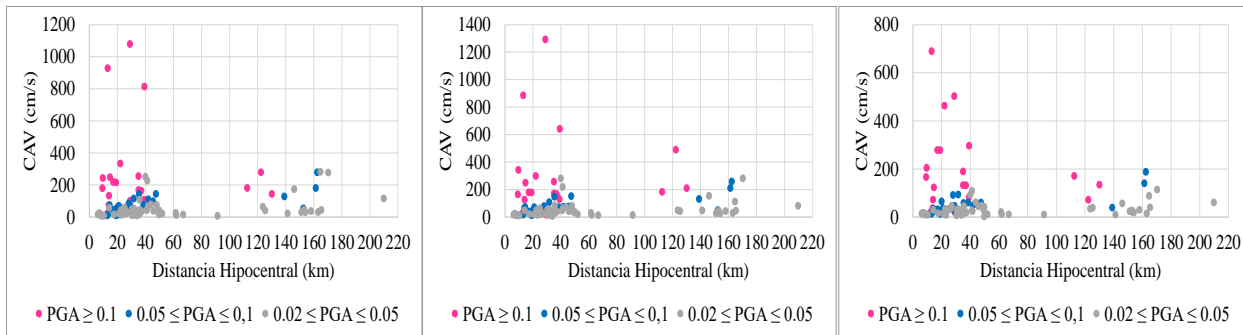
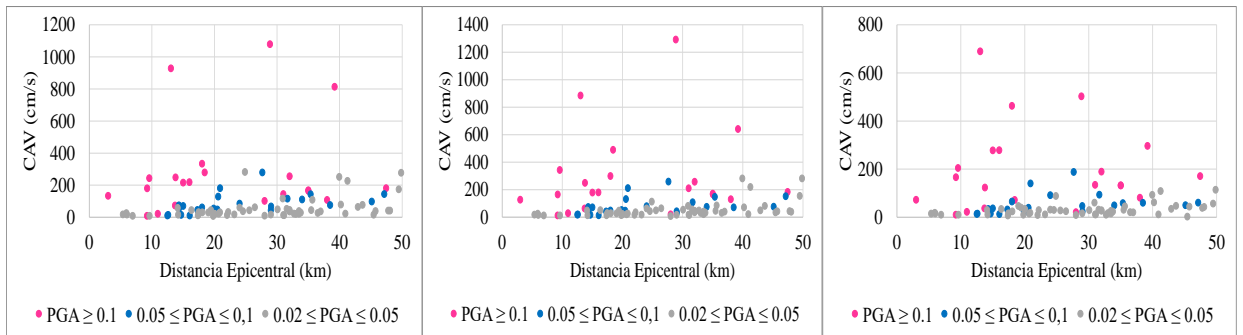
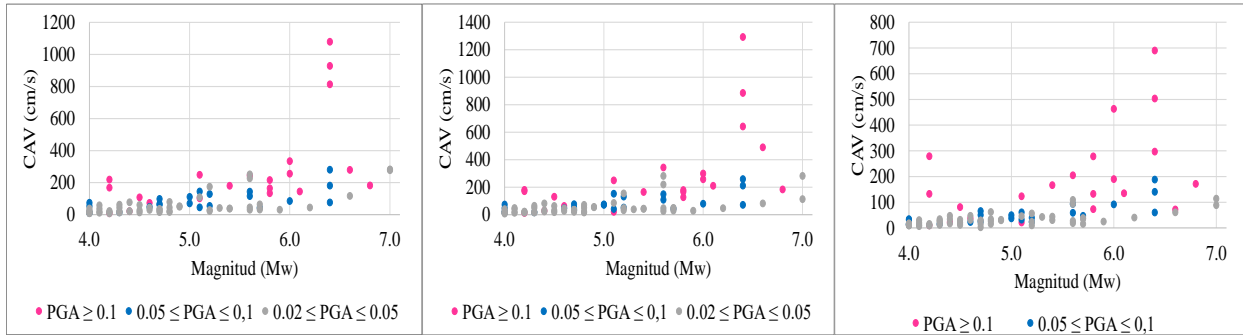


Figura E-17. CAV por componentes en función de las características generales del sismo.

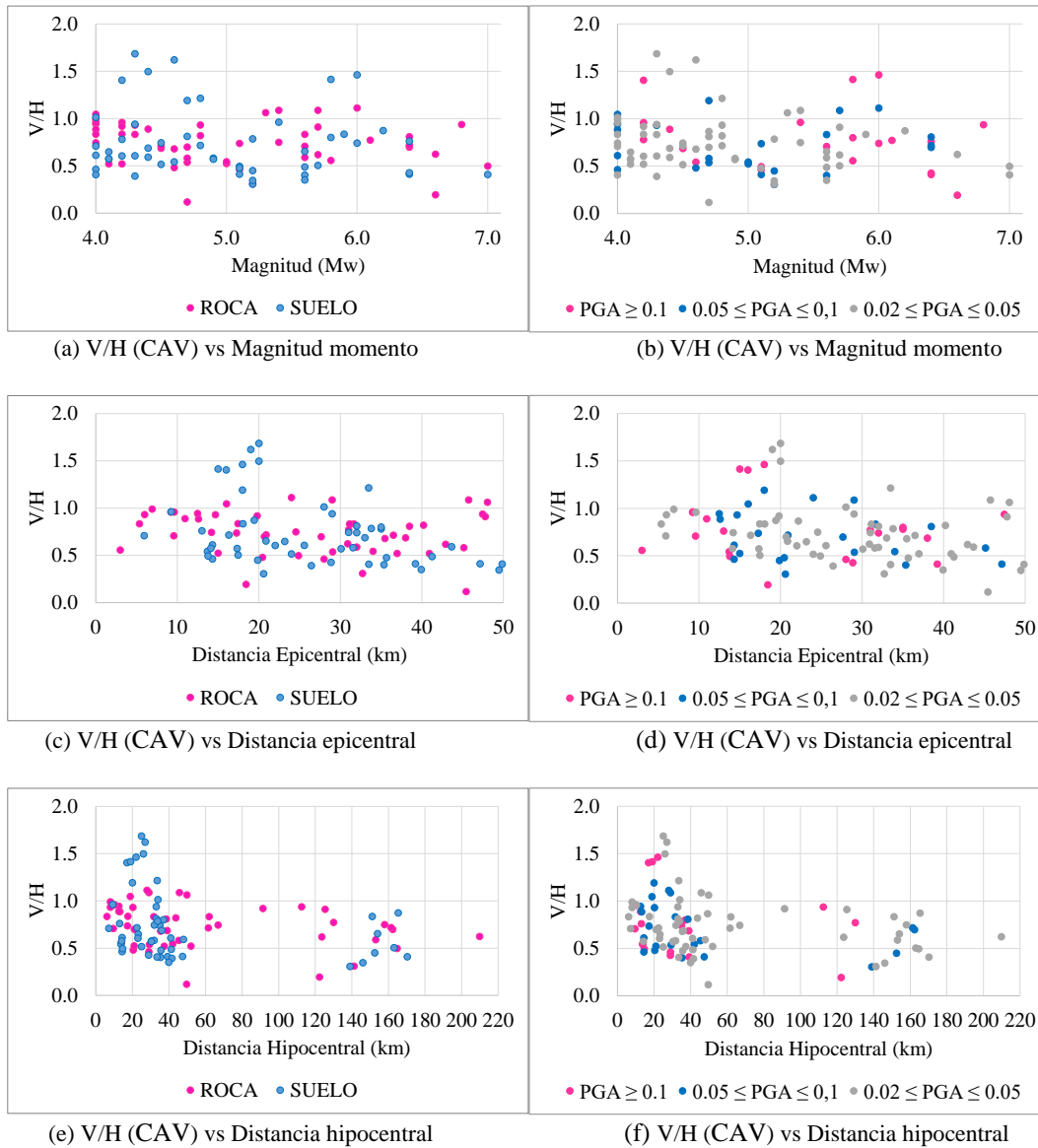
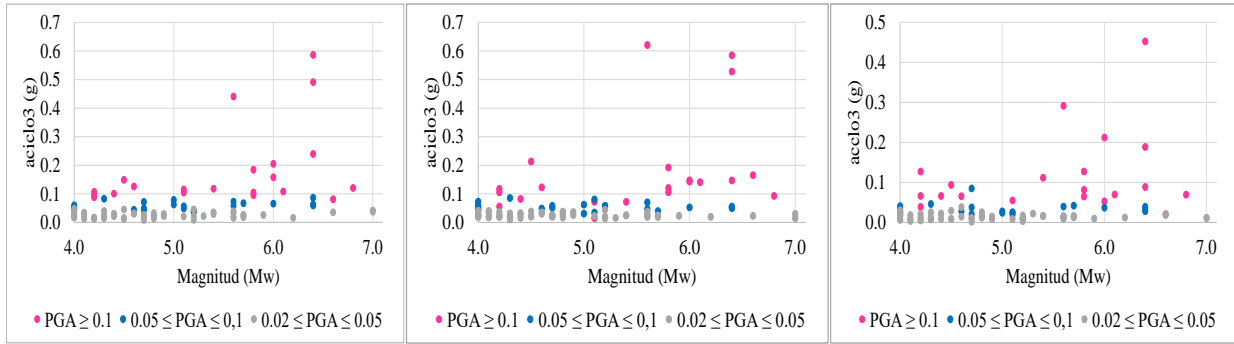
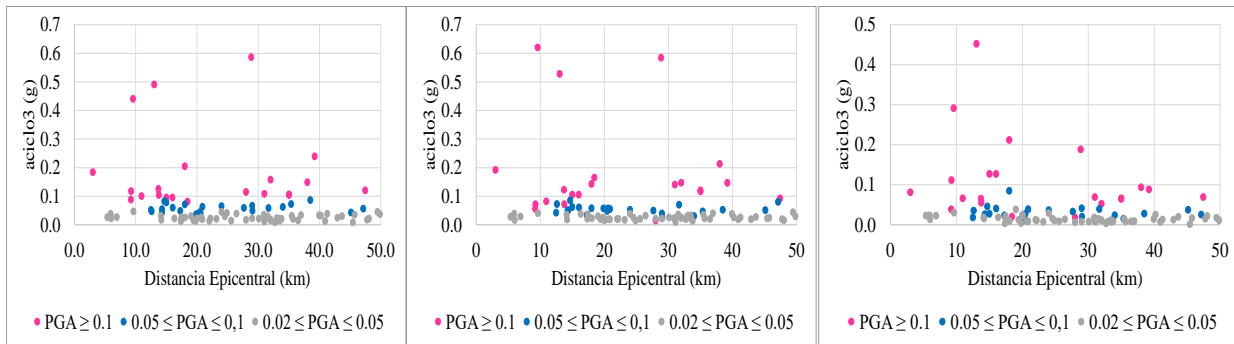


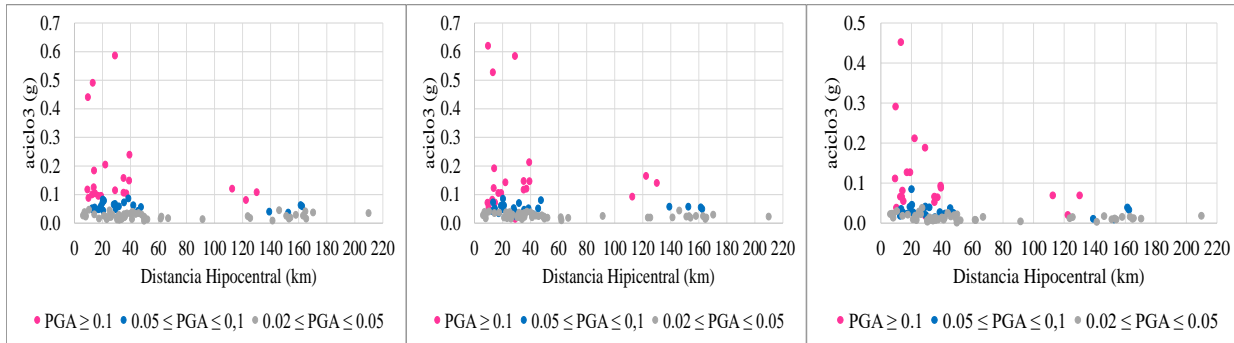
Figura E-18. Cociente entre CV y CH de la CAV en función de las características generales del sismo.



(a) aciclo3 - EW vs Magnitud momento (b) aciclo3- NS vs Magnitud momento (c) aciclo3-V vs Magnitud momento



(d) aciclo3- EW vs Distancia epicentral (e) aciclo3- NS vs Distancia epicentral (f) aciclo3-V vs Distancia epicentral



(g) aciclo3- EW vs Distancia hipocentral (h) aciclo3- NS vs Distancia hipocentral (i) aciclo3- V vs Distancia hipocentral

Figura E-19. Aceleración sostenida tercer ciclo por componentes en función de las características generales del sismo.

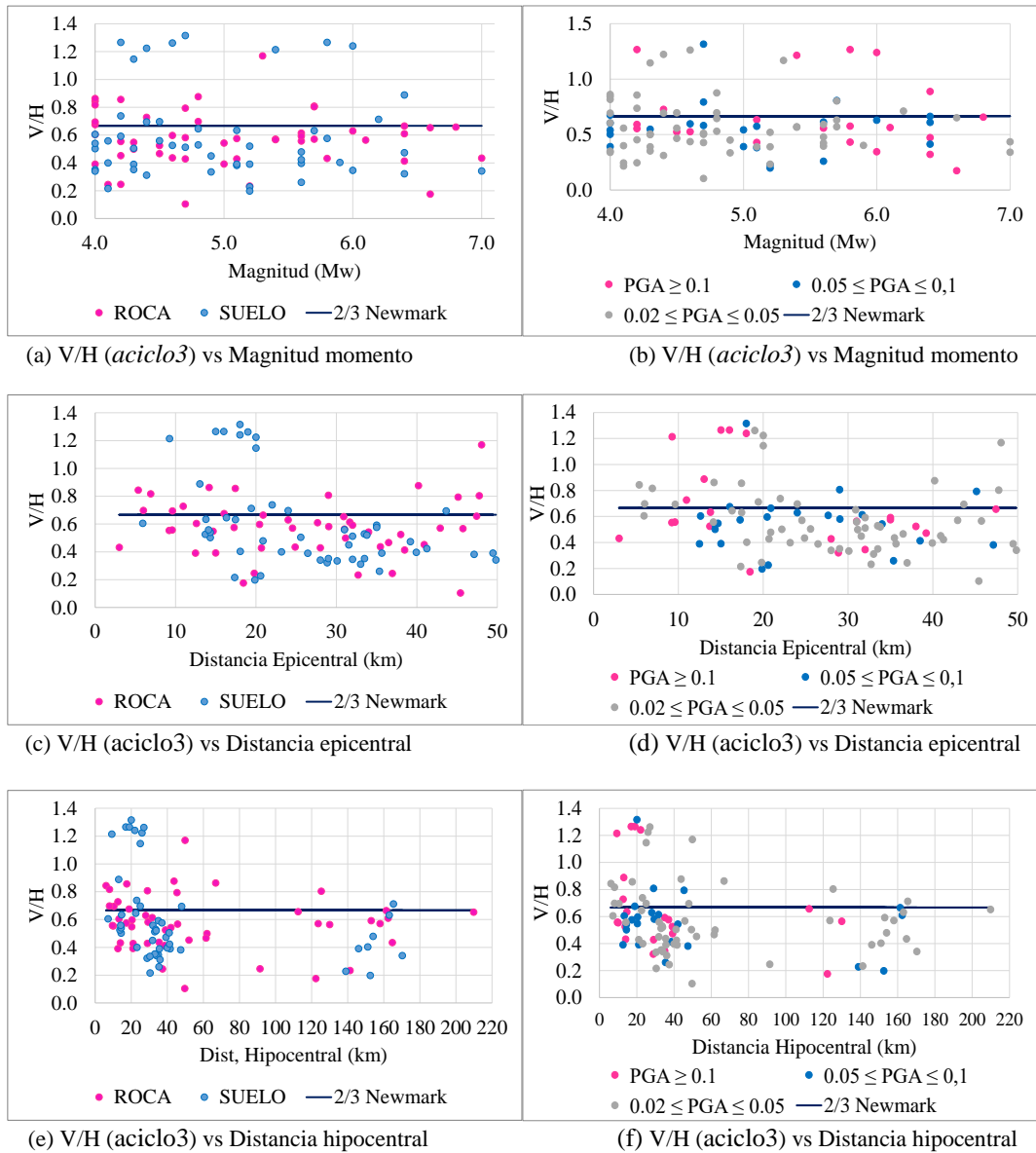


Figura E-20. Cociente entre CV y CH de la Aceleración sostenida tercer ciclo en función de las características generales del sismo.

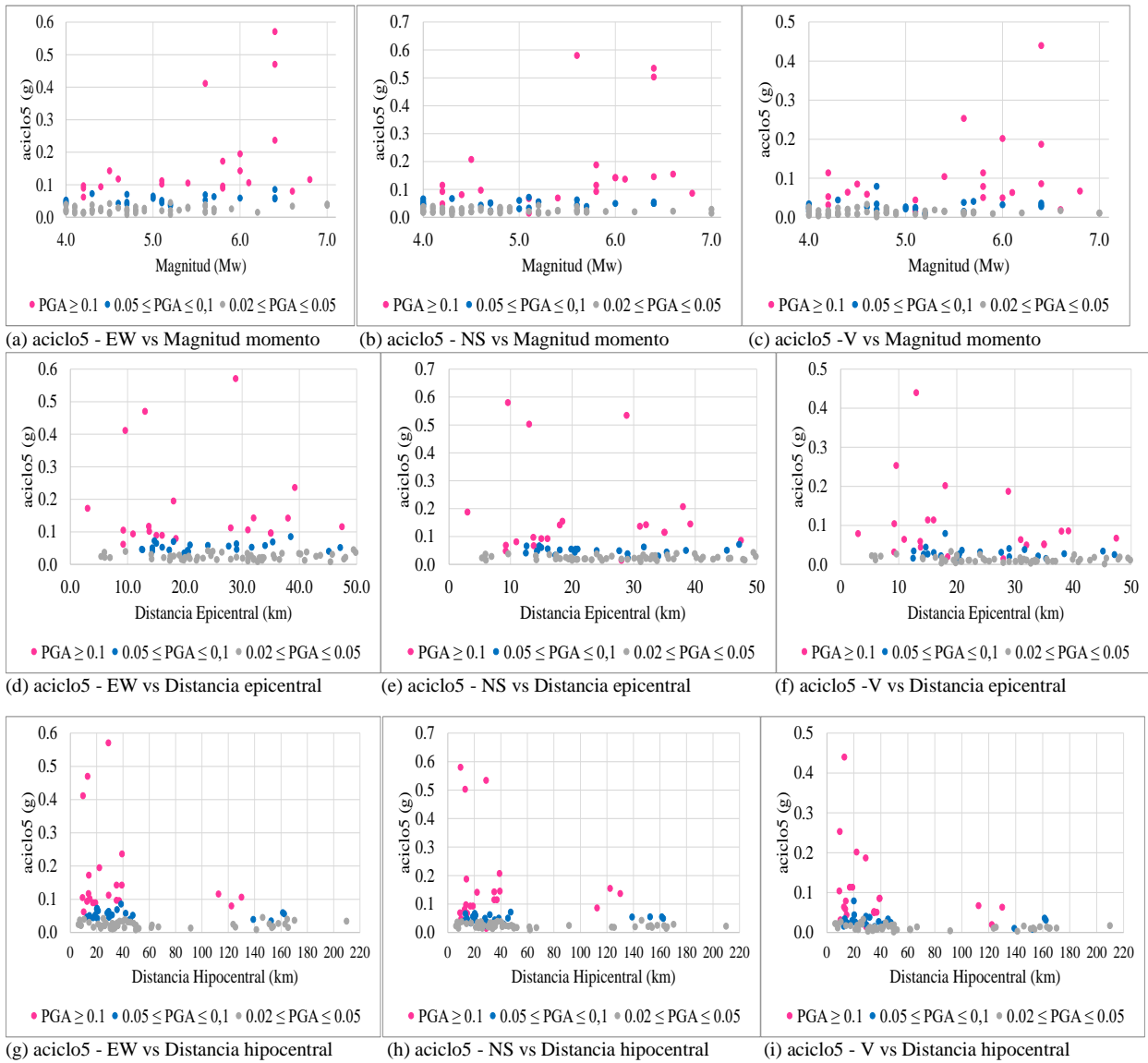


Figura E-21. Aceleración sostenida quinto ciclo por componentes en función de las características generales del sismo.

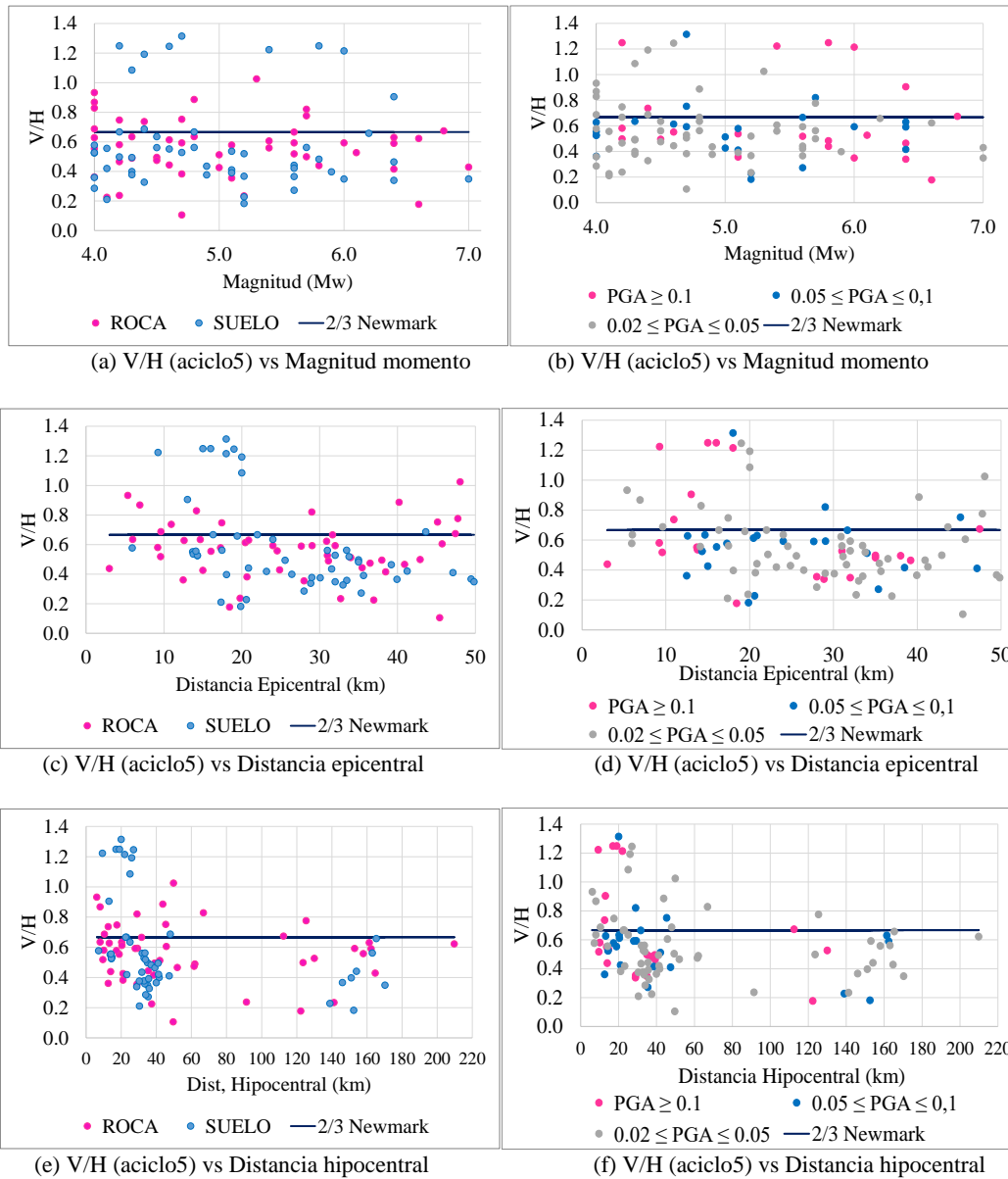
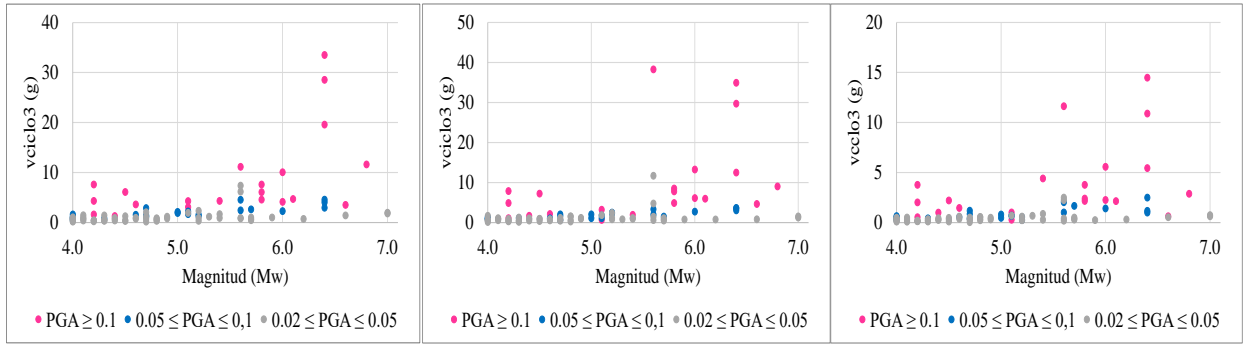
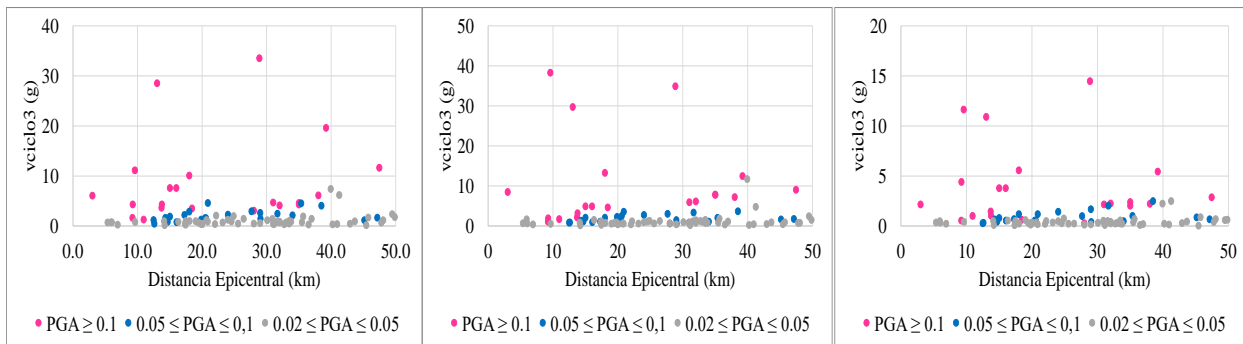


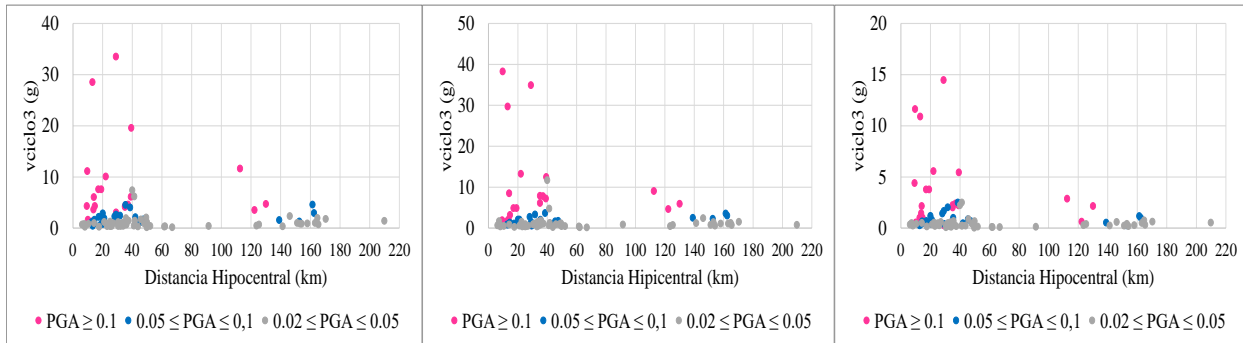
Figura E-22. Cociente entre CV y CH de la Aceleración sostenida quinto ciclo en función de las características generales del sismo.



(a) vciclo3 - EW vs Magnitud momento (b) vciclo3 - NS vs Magnitud momento (c) vciclo3 - V vs Magnitud momento



(d) vciclo3 - EW vs Distancia epicentral (e) vciclo3 - NS vs Distancia epicentral (f) vciclo3 - V vs Distancia epicentral



(g) vciclo3 - EW vs Distancia hipocentral (h) vciclo3 - NS vs Distancia hipocentral (i) vciclo3 - V vs Distancia hipocentral

Figura E-23. Velocidad sostenida tercer ciclo por componentes en función de las características generales del sismo.

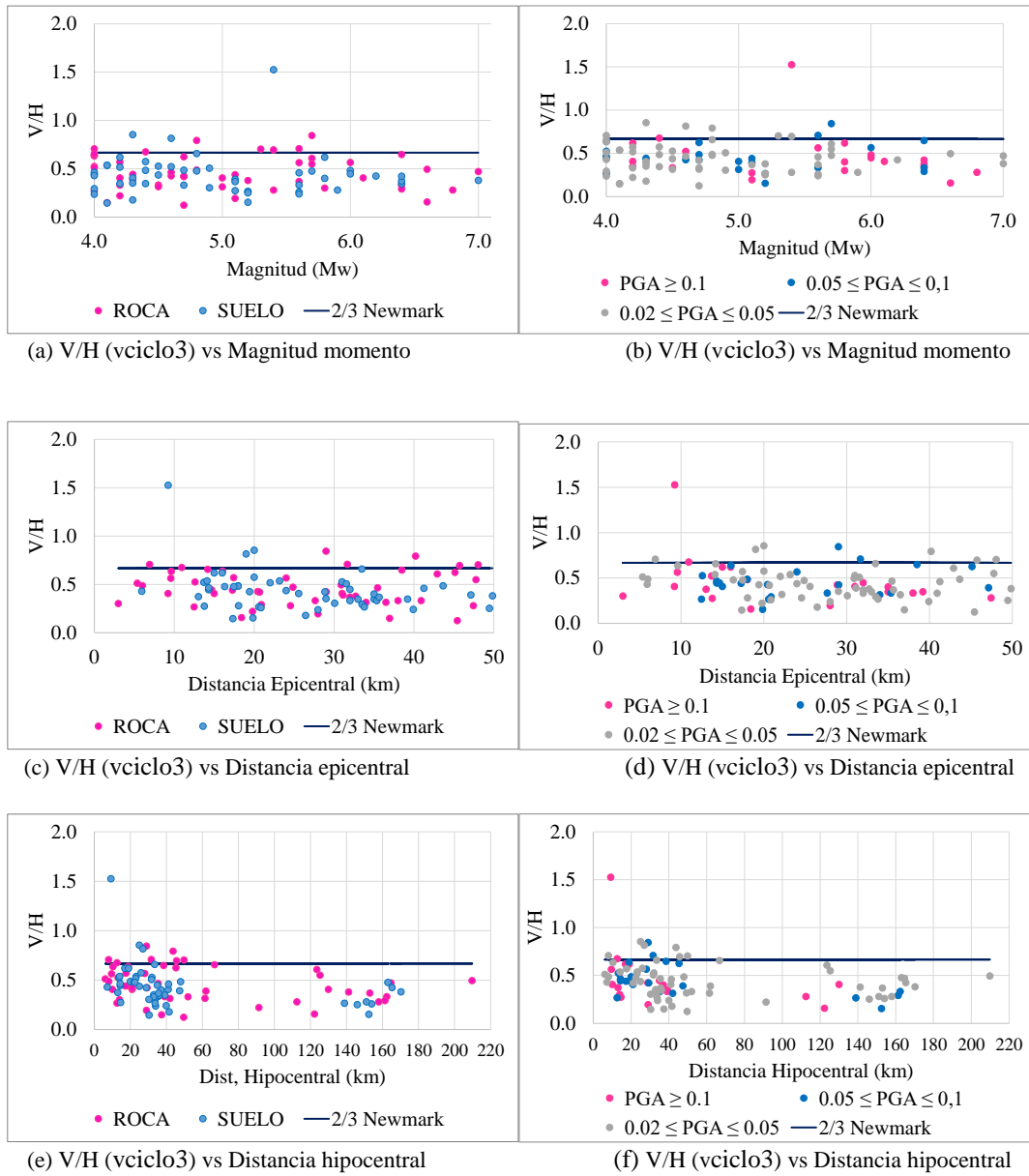


Figura E-24. Cociente entre CV y CH de la Velocidad sostenida tercer ciclo en función de las características generales del sismo.

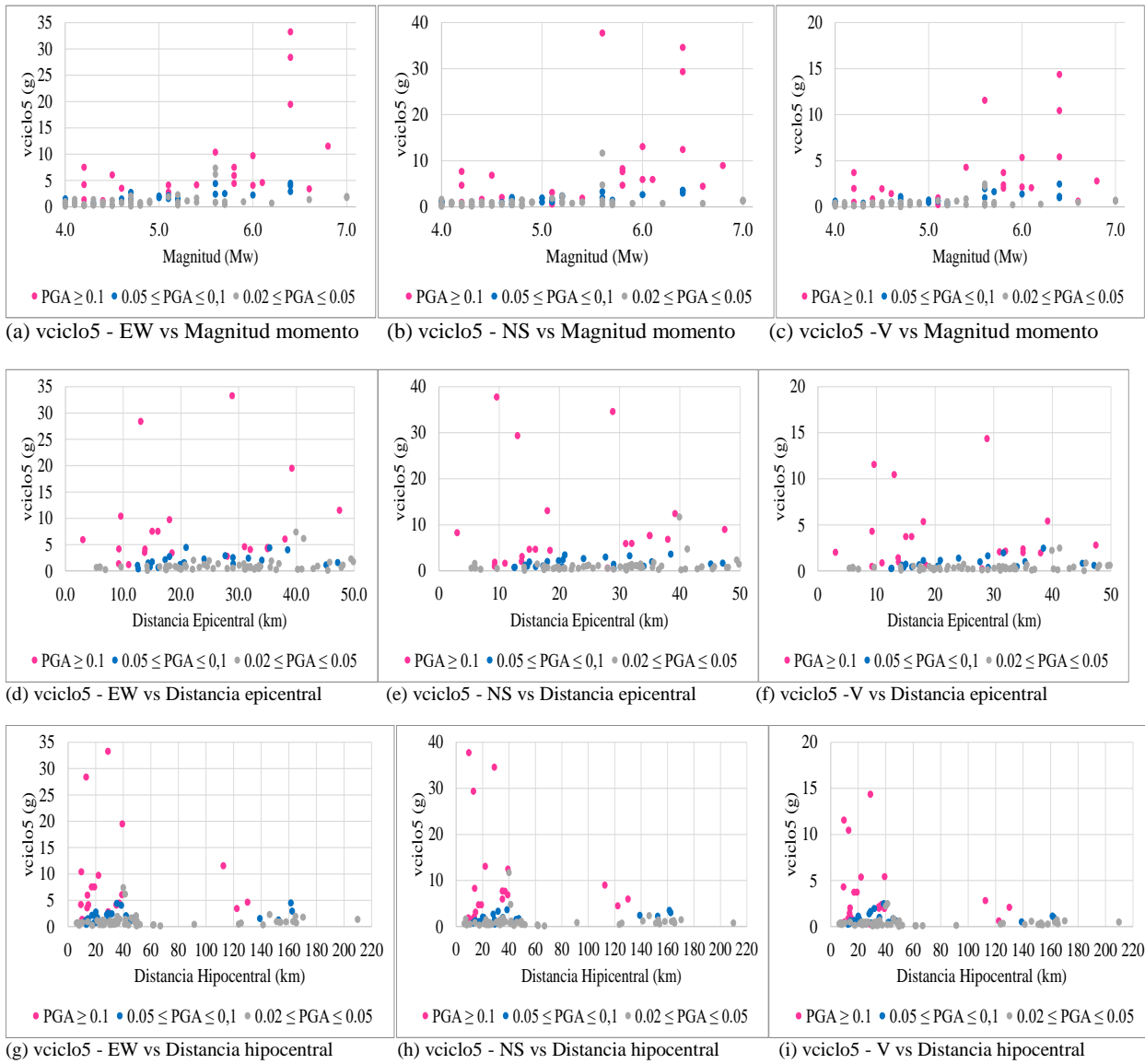


Figura E-25. Velocidad sostenida quinto ciclo por componentes en función de las características generales del sismo.

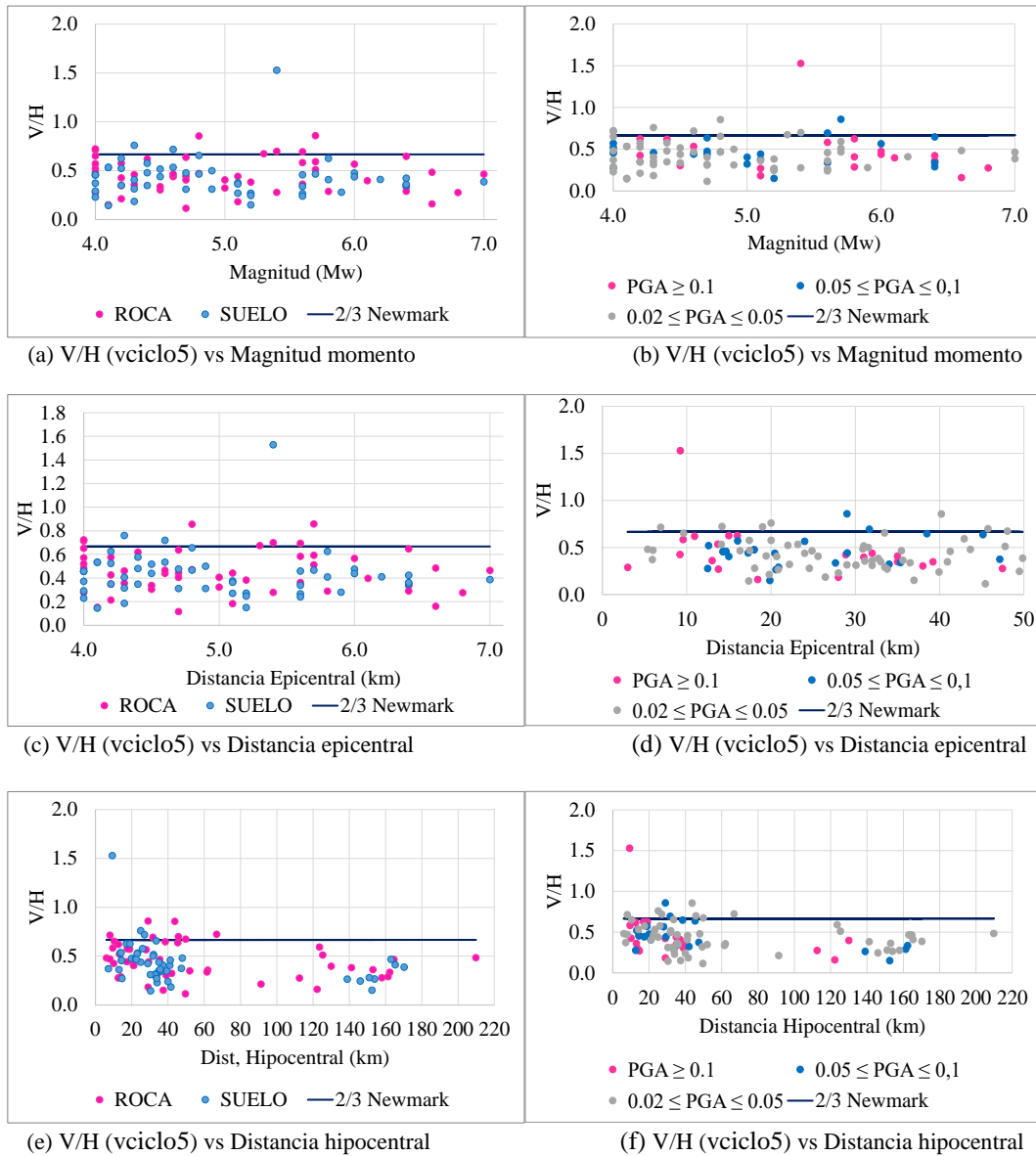


Figura E-26. Cociente entre CV y CH de la Velocidad sostenida quinto ciclo en función de las características generales del sismo.

Apéndice F. Gráficos de variación de espectros PSa en función de las características generales del sismo.

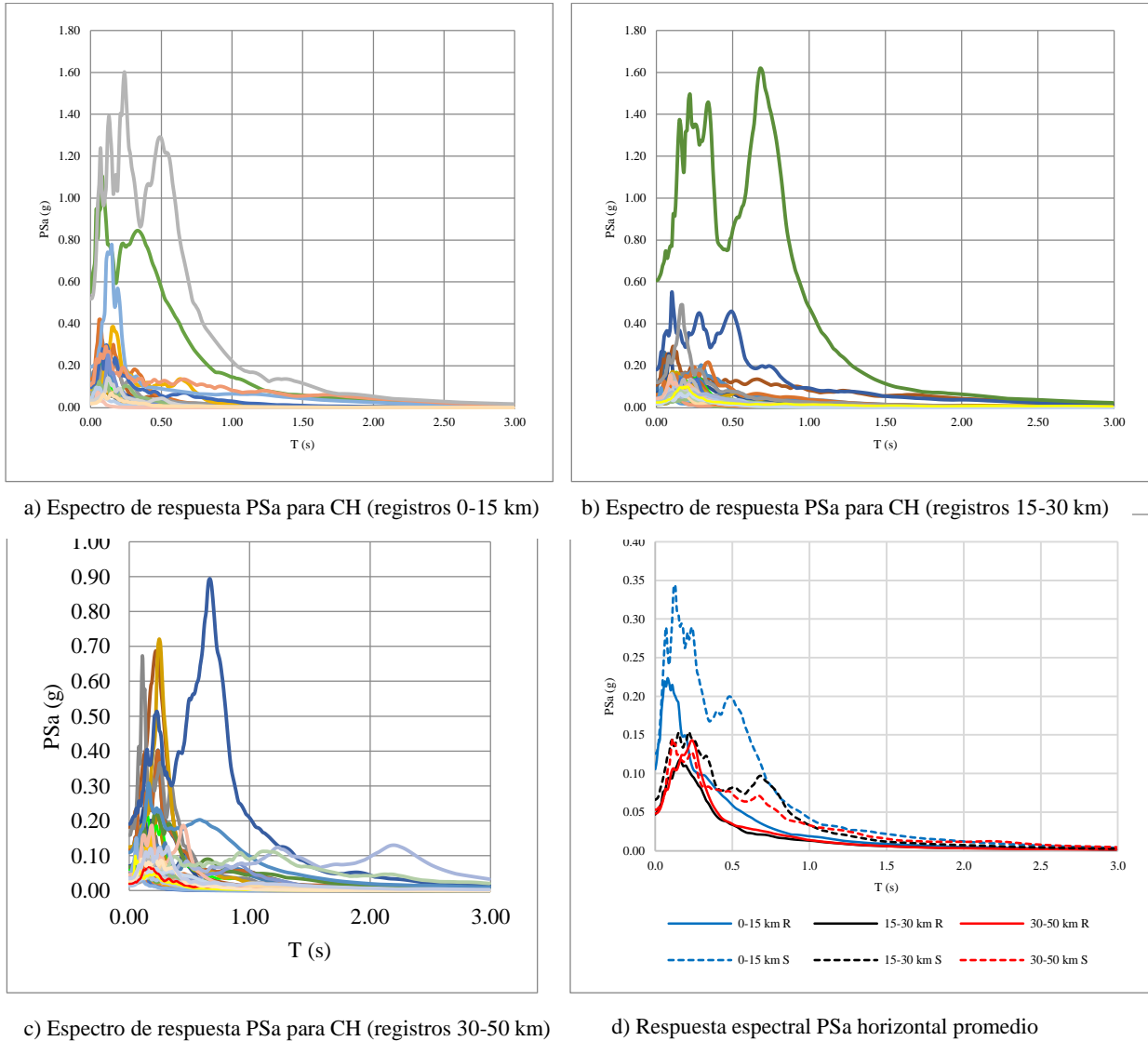
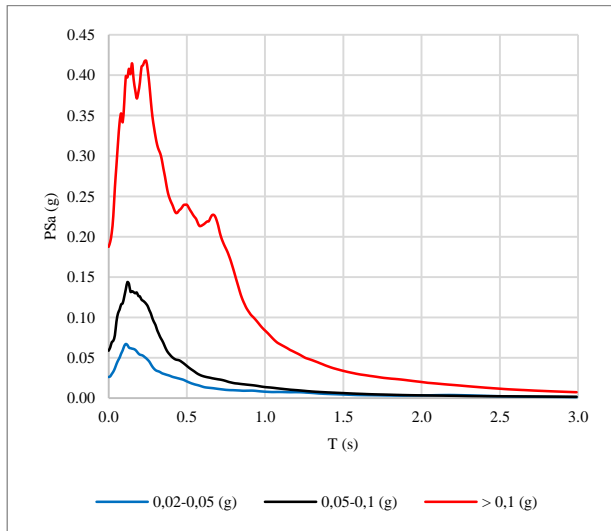
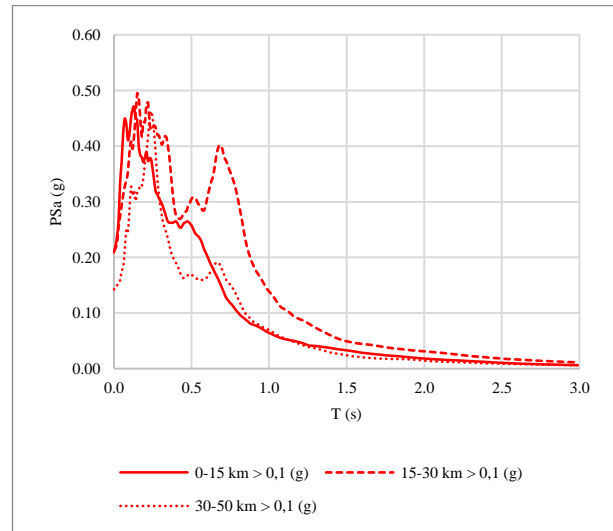


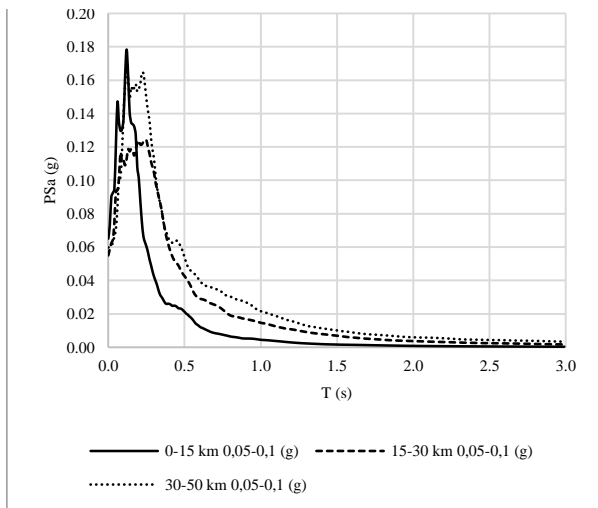
Figura F-1. Espectros de respuesta PSa individuales para CH, clasificados por distancia epicentral y tipo de suelo.



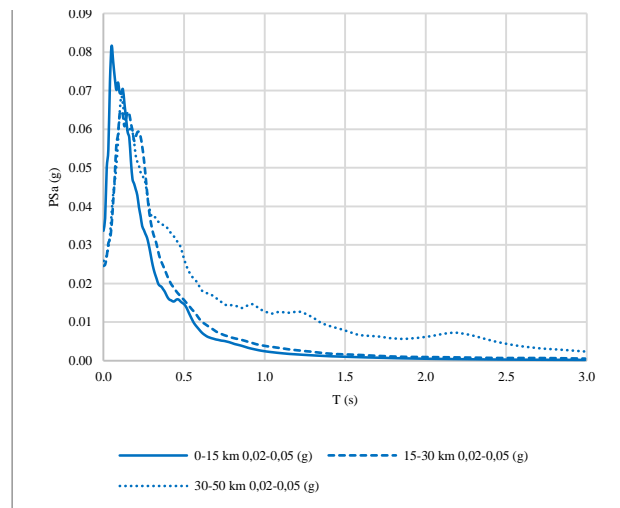
a) Respuesta espectral PSa horizontal promedio



b) Respuesta espectral PSa horizontal promedio (registros > 0.1g)

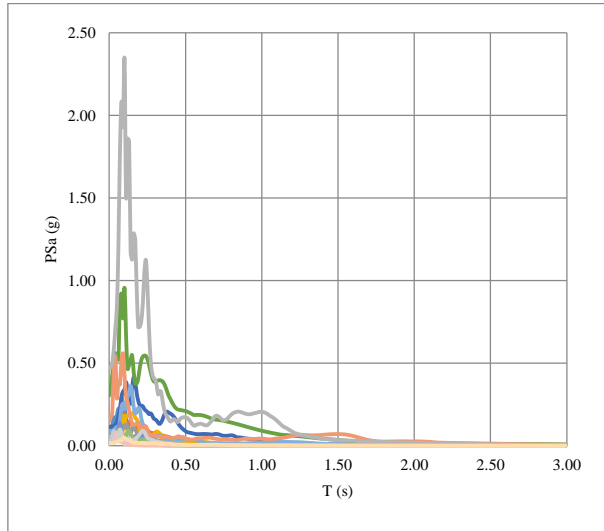


c) Respuesta espectral PSa horizontal promedio (registros 0.05g - 0.1g)

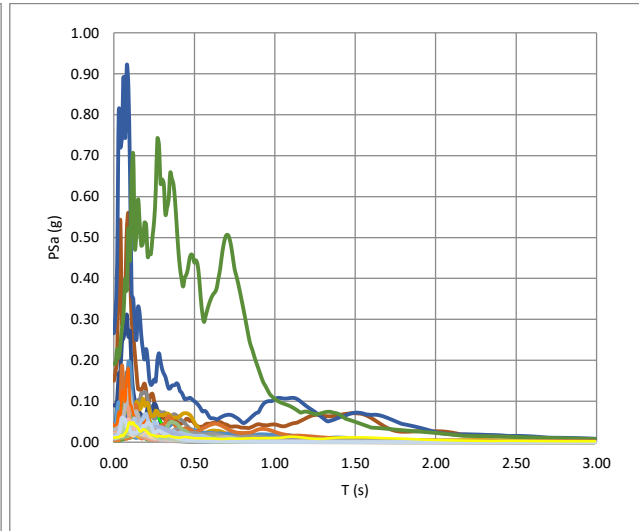


d) Respuesta espectral PSa horizontal promedio (registros 0.02g - 0.05g)

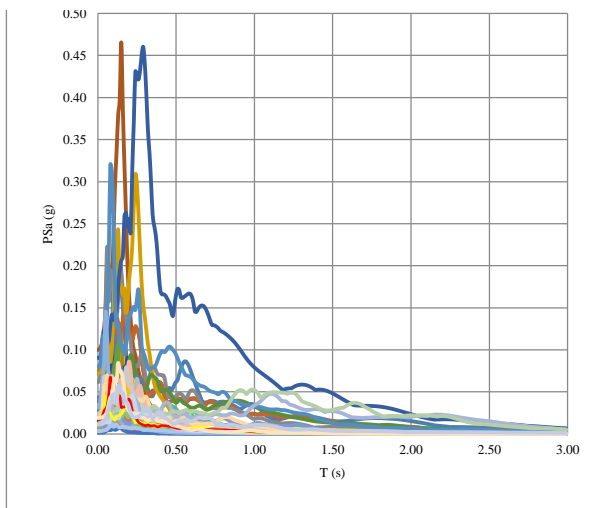
Figura F-2. Relación V/H de espectros de respuesta PSa promedio, clasificados por nivel de PGAH y distancia epicentral.



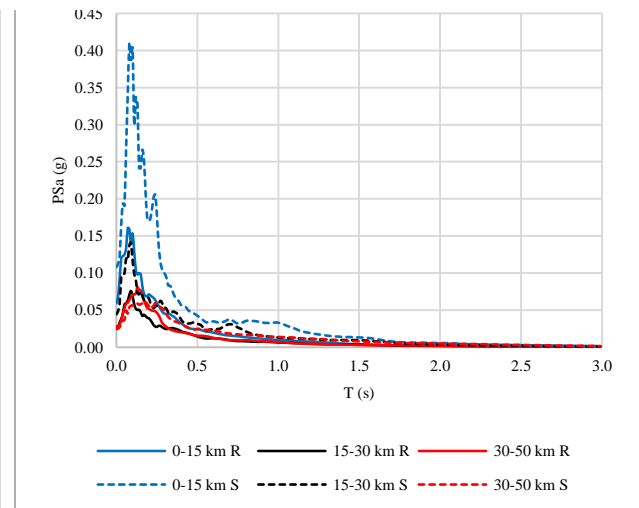
a) Espectro de respuesta PSa para CV (registros 0-15 km)



b) Espectro de respuesta PSa para CV (registros 15-30 km)

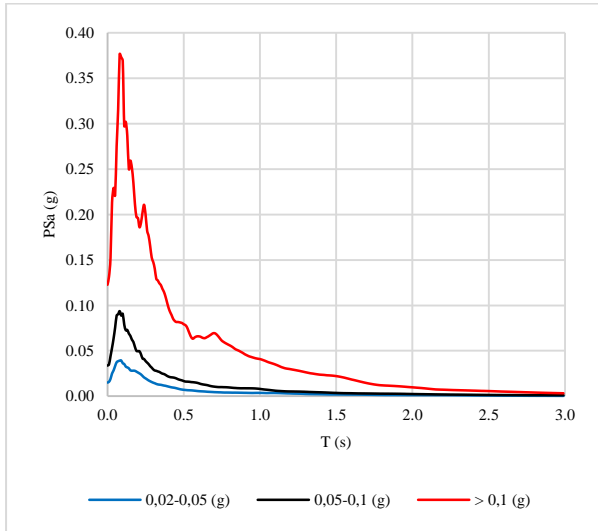


c) Espectro de respuesta PSa para CV (registros 30-50 km)

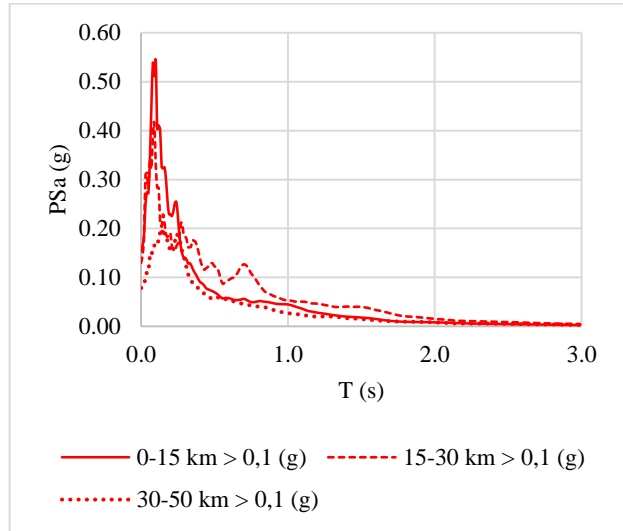


d) Respuesta espectral PSa vertical promedio

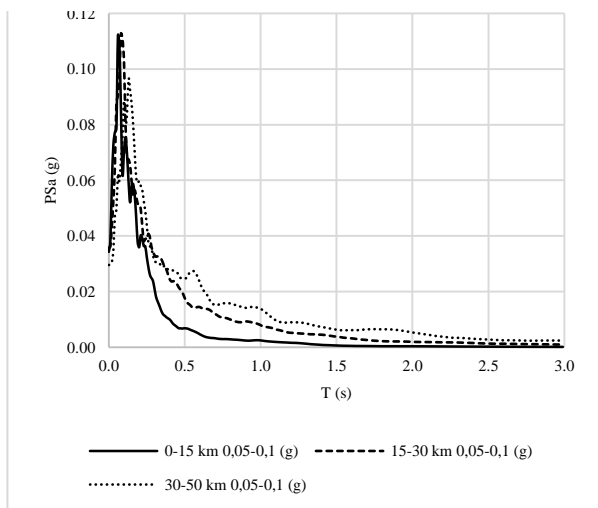
Figura F-3. Espectros de respuesta PSa individuales para CV, clasificados por distancia epicentral y tipo de suelo.



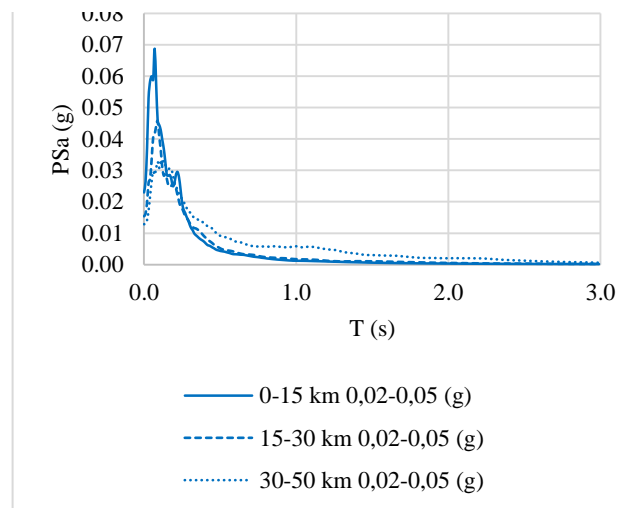
a) Respuesta espectral PSa vertical promedio



b) Respuesta espectral PSa vertical promedio (registros > 0.1g)



c) Respuesta espectral PSa vertical promedio (registros 0.05g - 0.1g)



d) Respuesta espectral PSa vertical promedio (registros 0.02g - 0.05g)

Figura F-4. Relación V/H de espectros de respuesta PSa promedio, clasificados por nivel de PGAH y distancia epicentral.

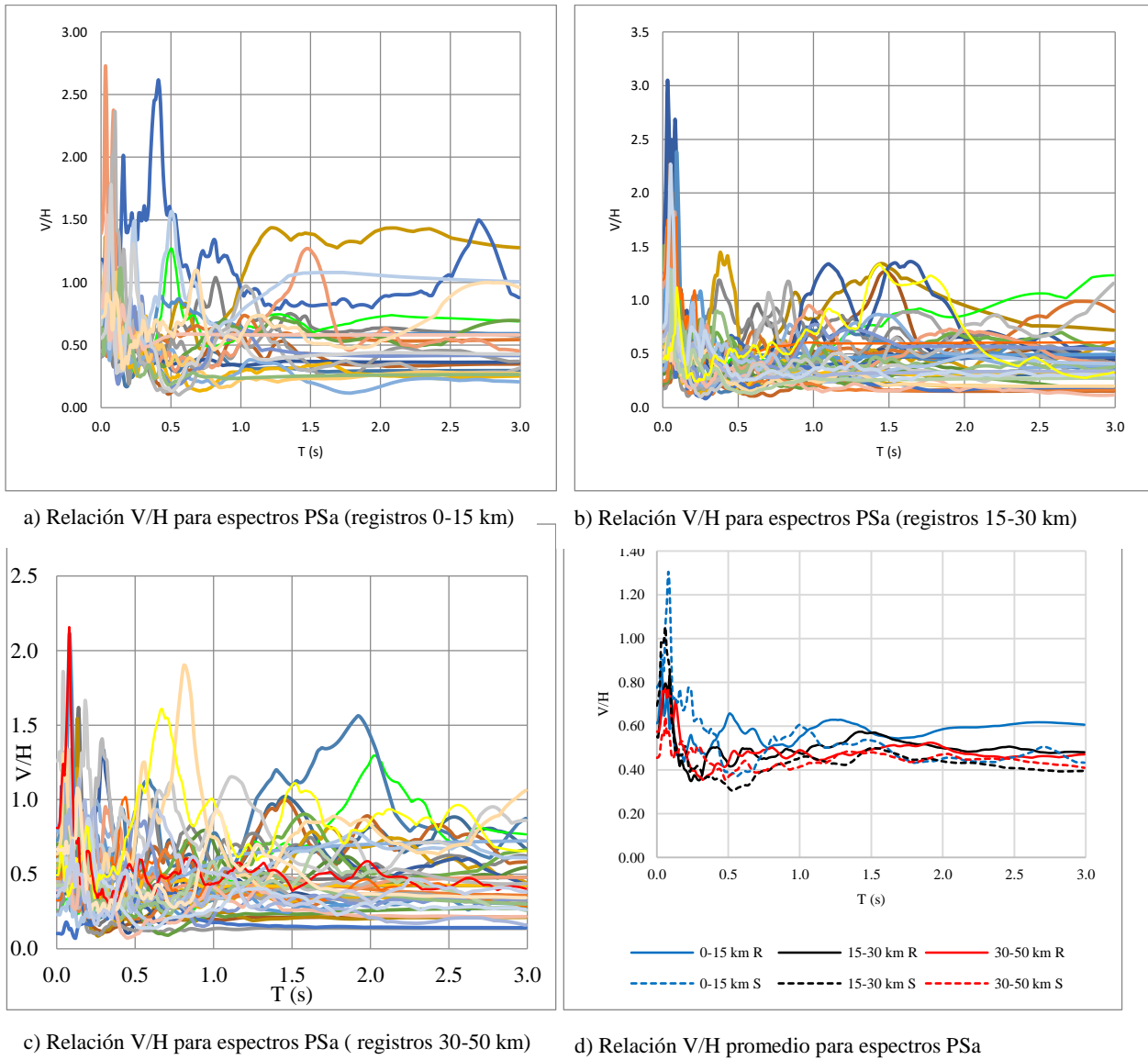
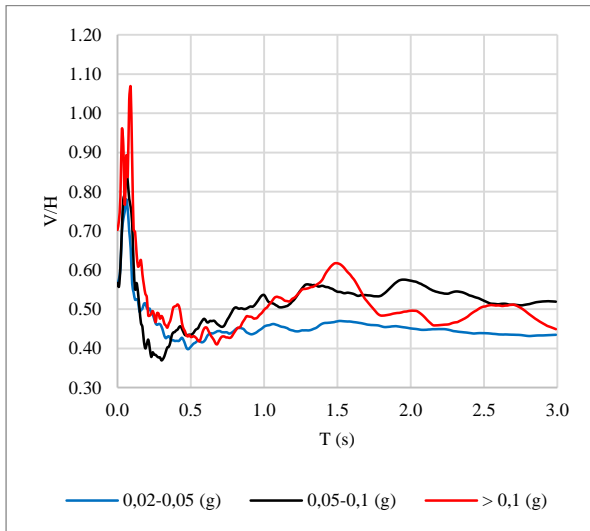
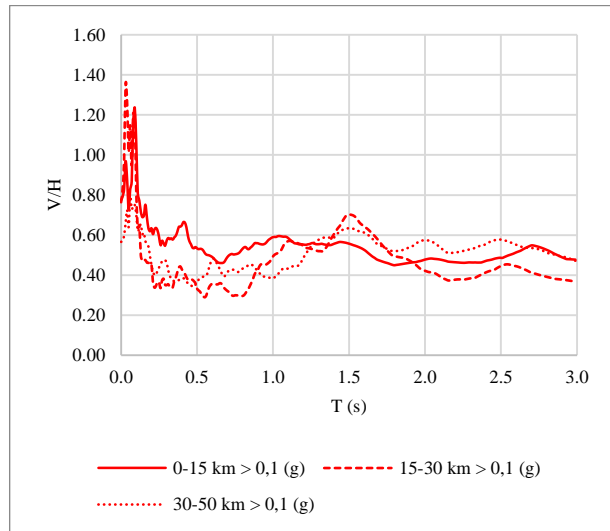


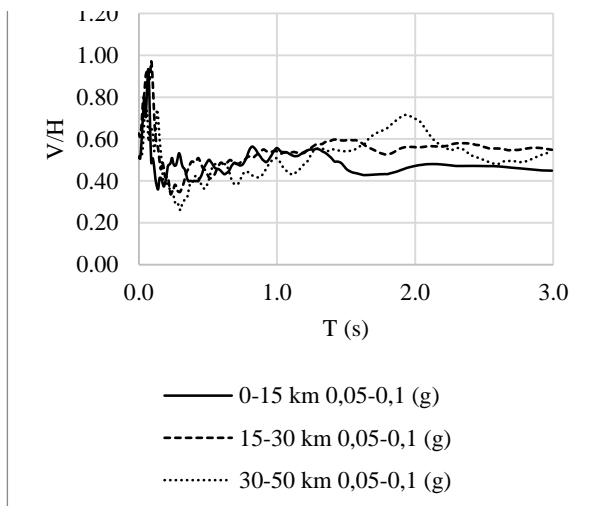
Figura F-5. Espectros de respuesta PSa individuales para CH, clasificados por distancia epicentral y tipo de suelo.



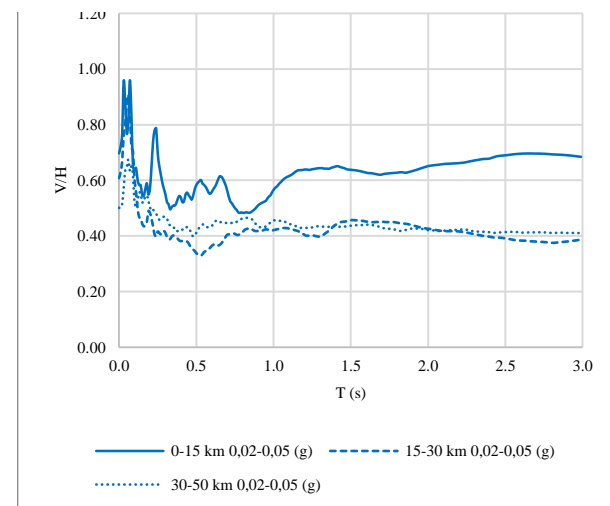
a) Relación V/H promedio para espectros PSa



b) Relación V/H promedio para espectros PSa (registros > 0.1g)



c) Relación V/H promedio para espectros PSa (registros 0.05g - 0.1g)



d) Relación V/H promedio para espectros PSa (registros 0.02g - 0.05g)

Figura F-6. Relación V/H de espectros de respuesta PSa promedio, clasificados por nivel de PGAH y distancia epicentral.