



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**CARACTERÍSTICAS DE ESPECTROS DE RESPUESTA CON DISTINTAS
ROTACIONES DE EJES Y REPRESENTACIONES**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

DANIELA PAZ VILCHES GONZÁLEZ

PROFESOR GUÍA:
RUBÉN BOROSCHEK KRAUSKOPF

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
VICTOR CONTRERAS LUARTE
MAURICIO SARRAZIN ARELLANO

SANTIAGO DE CHILE

2016

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE:** Ingeniera Civil
POR: Daniela Paz Vilches González
FECHA: 17/10/2016
PROFESOR GUÍA: Rubén Boroschek Krauskopf

CARACTERÍSTICAS DE ESPECTROS DE RESPUESTA CON DISTINTAS ROTACIONES DE EJES Y REPRESENTACIONES

La media geométrica ha sido una representación de la componente horizontal ampliamente utilizada para la generación de curvas de atenuación para el diseño sísmico, pero existen otras representaciones que podrían ser más adecuadas para el diseño dependiendo de las características propias de la estructura o del lugar donde se emplace, he aquí la necesidad de convertir curvas de atenuación ya existentes, obtenidas para la media geométrica, a otras definiciones más apropiadas que mejoren la calidad y precisión del diseño sísmico.

Para el estudio realizado en esta memoria se recopilan registros de aceleración de las redes de estaciones sísmicas nacionales, RENADIC y ONEMI, y se obtiene información de eventos de magnitud superior a 5.5 Mw ocurridos en Chile hasta el 23 de septiembre de 2015. Los registros son procesados y filtrados conservando aquellos cuyo PGA es mayor al 1% de g. Mediante un estudio se determina que, de un total de 680 registros, asociados a 131 eventos sísmicos, cerca del 80% de los espectros calculados alcanzan un periodo de uso igual o superior a 10 s, permitiendo extender el rango de estudio hasta los 10 s.

Las estadísticas presentadas aquí están basadas en el trabajo de Beyer y Bommer (2006), y permiten la transformación de curvas de atenuación a diferentes representaciones de la componente horizontal del movimiento. Las definiciones consideradas son las siguientes: RotD100 o máxima dirección, envolvente, random, GMRotD50, GMRotI50, media geométrica, media aritmética, componentes principales 1 y 2 y componentes ortogonales horizontales (H1 y H2), orientadas según los ejes del equipo de registro en terreno. Adicionalmente, se introduce la componente vertical.

Se logró determinar funciones que relacionan la media geométrica con las otras definiciones de la componente horizontal. Los resultados encontrados son similares, pero no idénticos, a los reportados previamente en la literatura. La principal diferencia observada es el efecto de direccionalidad para las componentes horizontales H1 y H2, efecto atribuido a la orientación de los equipos en terreno que permitiría, en la mayoría de los casos, considerar H1 y H2 normal y paralela a la falla respectivamente. Dicha direccionalidad se acentúa para periodos altos, sismos interplaca y magnitudes sobre 6.5 Mw.

Para la componente vertical se obtienen factores de conversión mucho menores que para las distintas representaciones de la horizontal, pero con mayor variabilidad, la razón cambia ampliamente entre distintos rangos de periodos, presenta una variación importante con el amortiguamiento para periodos bajos y con la magnitud para periodos altos y es destacable su comportamiento con el mecanismo de falla, siendo mayor para sismos intraplaca en periodos bajos y para interplaca en periodos altos.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 Objetivos.....	4
1.1.1. Objetivo General.....	4
1.1.2. Objetivos Específicos.	4
1.2 Organización.	5
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 Definiciones de la Componente Horizontal y Vertical del Movimiento Sísmico.....	6
2.2 Conversión de Ecuación de Predicción del Movimiento Sísmico GMPE para Diferentes Definiciones de la Componente Horizontal y la Componente Vertical.	9
3. BASE DE DATOS.....	11
3.1 Registros RENADIC	11
3.1.1 Eventos Sísmicos Asociados a Registros RENADIC.....	12
3.1.2 Estaciones Sísmicas RENADIC.....	15
3.2 Registros ONEMI.....	16
3.2.1 Eventos Asociados a Registros Sísmicos ONEMI.	17
3.2.2 Estaciones Sísmicas ONEMI.	18
3.3 Procesamiento de Registros.	20
3.4 Determinación Periodo de Corte.....	22
4. ESPECTROS PARA DIFERENTES DEFINICIONES DE LA COMPONENTE HORIZONTAL DEL MOVIMIENTO Y COMPONENTE VERTICAL.....	25
4.1 Cálculo de Espectros.	25
4.2 Estructura de Datos.....	27
5. RELACIÓN ENTRE LAS DIFERENTES DEFINICIONES DE LA COMPONENTE HORIZONTAL Y LA COMPONENTE VERTICAL DEL MOVIMIENTO.....	28
5.1 Cálculo de Razón entre cada Definición y la Media Geométrica GMxy de las componentes Horizontales.....	28
6. RESULTADOS.....	42
6.1 Regresión y Obtención de Curvas de Conversión para las Diferentes Definiciones. ...	42
6.1.1 Comparación de los Resultados de Factores de Conversión con los obtenidos por K.Beyer y J.J.Bommer	48
6.1.2 Variación de la Mediana de la Razón con el Amortiguamiento.....	50
6.1.3 Variación de la Mediana de la Razón con el Tipo de Suelo.	56
6.1.4 Variación de la Mediana de la Razón con la Magnitud Mw.....	62
6.1.5 Variación de la Mediana de la Razón con el Mecanismo de Falla.....	68

6.2	Regresión y Obtención de Factores para la Variabilidad de la Definición Convertida.	74
6.2.1	Regresión y Obtención de curvas para la Desviación Estándar del Logaritmo de la Razón de Espectros.	74
6.2.1.1	Regresión para la Desviación del Logaritmo de la Razón de las Diferentes Definiciones.	77
6.2.1.2	Comparación con Resultados Obtenidos por K.Beyer y J.J.Bommer para la Desviación del Logaritmo de la Razón de las Diferentes Definiciones.	82
6.2.1.3	Razón de la Desviación Estándar del Logaritmo de las Diferentes Definiciones. 84	
7.	CONCLUSIONES	89
8.	BIBLIOGRAFÍA	95
	ANEXO A. FIGURAS.....	97

1. INTRODUCCIÓN

Chile es uno de los países más sísmico del mundo, por lo mismo es de suma importancia contar con una base de datos de registros sísmicos amplia, actualizada y adecuada para su procesamiento y que permita predecir el comportamiento, frente a un sismo, de los distintos tipos de suelos presentes en el territorio nacional y a su vez proporcione información para el correcto diseño de las estructuras que allí se emplazan. La primera meta de este trabajo es precisamente la adecuación de la base de datos de registros sísmicos chilenos para su posterior uso en este y futuros estudios.

Por otra parte, dada la amplia variedad de estructuras y su distinto comportamiento, en lo que se refiere a modos de oscilación, periodo, rigidez en ejes principales de respuesta, etc., es fundamental que el espectro de diseño sísmico sea compatible con estas características, por esta razón la segunda meta de este trabajo es la caracterización de distintos espectros obtenidos a partir de distintas definiciones de la componente horizontal del movimiento (Ref. 1), que podrían ser más o menos adecuados según la estructura y el lugar donde esta se ubique. El estudio estadístico realizado permitirá transformar una ecuación de predicción del movimiento (GMPE), que ha sido obtenida a partir de alguna definición de la componente horizontal del movimiento, a otra GMPE para una definición diferente.

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivo General.

El objetivo general de esta memoria es la caracterización de espectros de respuesta de aceleración para distintas definiciones de la componente horizontal del movimiento y la componente vertical.

1.1.2. Objetivos Específicos.

El objetivo específico es encontrar la relación entre las distintas definiciones de la componente horizontal del movimiento (Ref. 1) que permita transformar una GMPE, obtenida de alguna definición de la componente horizontal del movimiento, a distintas definiciones o representaciones de la componente horizontal o a la componente vertical. Para esto se debe:

1. Conformar una base de datos de sismos mayores a 5.5 Mw con registros obtenidos de estaciones sísmicas distribuidas en gran parte del territorio nacional.
2. Evaluar distintas definiciones de rotación de ejes horizontales de registros sísmicos.
3. Estimar la relación de conversión entre las distintas definiciones de la componente horizontal y la componente vertical del movimiento.

1.2 Organización.

En el capítulo 2 se estudian las referencias bibliográficas y se rescatan los conocimientos necesarios para el desarrollo del trabajo de título, se establece un marco teórico.

En el capítulo 3 se describe el proceso de recolección y selección de información para la generación y procesamiento de una base de datos de registros de eventos sísmicos de magnitudes superiores a 5,5 Mw ocurridos al 23 de septiembre del 2015. Se establece un rango de periodo hasta los 10 segundos para el estudio a realizar.

En el capítulo 4 se calculan los espectros de aceleración para la componente horizontal en sus distintas representaciones y para la componente vertical, considerando amortiguamientos del 2, 5 y 10% mediante diferentes rutinas desarrolladas en matlab.

En el capítulo 5 se obtienen las razones entre las distintas definiciones de la componente horizontal y la componente vertical del movimiento, con media geométrica, mediante un análisis estadístico, obteniendo la mediana y el 80 percentil en función del periodo.

En el capítulo 6 se presentan los resultados obtenidos para las regresiones para las medianas de las razones de las diferentes definiciones y para la desviación estándar asociada a la conversión. También se determinan los factores de conversión para la desviación estándar de la GMPE original y se comparan resultados con los obtenidos por Beyer y Bommer 2006 (Ref. 1).

En el capítulo 7 se enuncian las conclusiones a partir de trabajo realizado.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1 Definiciones de la Componente Horizontal y Vertical del Movimiento Sísmico.

En ingeniería se han utilizado diferentes definiciones de la componente horizontal del movimiento para la obtención de curvas de atenuación o ecuaciones de predicción del movimiento (GMPE). Aunque se ha identificado la Media Geométrica, denominada GMxy en este documento, como la que genera menor incertidumbre aleatoria en comparación con casi todas las otras definiciones (Ref. 1), esta podría presentar otros problemas como su dependencia de la orientación de los sensores en terreno. Por esta razón no es posible decir cuál es la mejor definición a usar, sin embargo, es de suma importancia que una vez escogida una definición, se sea consistente tanto en la obtención de las GMPE como en la generación de los espectros de respuesta y su utilización en el diseño estructural.

Este estudio considera algunas de las definiciones usadas por Beyer y Bommer 2006 (Ref. 1), como la máxima dirección, la envolvente, Random, GMRotD50, GMRotI50, la media geométrica, la media aritmética, componentes principales y las componentes ortogonales horizontales de registro e introduce la componente vertical.

Las definiciones usadas en este estudio son las siguientes.

H1 y H2: Espectros calculados para las componentes horizontales ortogonales 1 y 2 correspondientes a las direcciones de los ejes del sensor en terreno. En Chile la mayoría de los equipos de registro sísmico están orientados o semi orientados en las direcciones Norte-Sur y Este-Oeste, por lo que H1 queda asociada a la componente Este-Oeste, aproximadamente normal a la fosa de subducción, y H2 a la componente Norte-Sur, paralela a la fosa.

AMxy: Media aritmética entre H1 y H2.

$$AMxy(T_i) = \frac{H1(T_i) + H2(T_i)}{2}$$

Considerando la dependencia de la Media Geométrica (GMxy) con la orientación de los sensores en terreno, este estudio incluye las definiciones para distintas rotación de ejes (Ref.3).

GMRotDpp(θ, T_i): Se calcula la media geométrica entre las aceleraciones espectrales calculadas para un periodo T_i de los ejes rotados en un ángulo θ . Con θ de 0° a 90° con incrementos de 1° , obteniendo una matriz que asocia un valor diferente para la media geométrica a cada par (θ, T_i) .

$$\begin{aligned} Rr_1(\theta, T_i) &= R_1(T_i) \cdot \cos \theta + R_2(T_i) \cdot \sin \theta \\ Rr_2(\theta, T_i) &= -R_1(T_i) \cdot \sin \theta + R_2(T_i) \cdot \cos \theta \end{aligned}$$

$R_1(T_i), R_2(T_i)$: Respuesta para periodo T_i en los ejes horizontales sin rotar.

$Rr_1(\theta, T_i), Rr_2(\theta, T_i)$: Respuesta para periodo T_i en los ejes horizontales rotados un ángulo θ .

$$GMRotDpp(\theta, T_i) = \sqrt{Rr_1(\theta, T_i)_{max} \cdot Rr_2(\theta, T_i)_{max}}$$

GMxy: Media Geométrica, corresponde a $GMRotDpp(0, T_i)$, es decir, al espectro obtenido de la media geométrica entre las respuestas de los ejes sin rotar.

$$GMxy(T_i) = \sqrt{Rr_1(0, T_i)_{max} \cdot Rr_2(0, T_i)_{max}}$$

GMRotD50: Corresponde a la mediana de $GMRotDpp(\theta, T_i)$.

$$GMRotD50(T_i) = \text{median}(GMRotDpp(\theta, T_i))$$

Notar que el ángulo θ para el que se obtiene la mediana puede ser diferente dependiendo del periodo T_i .

GMRotI50: Esta definición es una aproximación a $GMRotD50$ pero se considera un único ángulo de rotación θ para todo periodo T_i , el ángulo de rotación es escogido de manera que se minimice la suma de las diferencias entre $GMRotD50$ y $GMRotI50$. El procedimiento es el siguiente.

Calculo función penalty $P(\theta)$.

$$P(\theta) = \frac{1}{N_T} \sum_{i=1}^n [GMRotD(\theta, T_i) / GMRotD50(T_i) - 1]^2$$

N_T : Numero de periodos considerados, en este caso se usa un vector de 300 periodos o menos dependiendo del periodo de uso de cada registro.

La rotación a usar, θ_{min} , es el ángulo para el cual $P(\theta)$ es mínimo.

$$GMRotI50(T_i) = GMRotD(\theta_{min}, T_i)$$

Máxima Dirección o RotD100: Las componentes horizontales del registro son combinadas en una única señal considerando un ángulo θ y se calcula el espectro para dicha señal, se incrementa el ángulo en 1° desde 0° a 180° , una vez obtenidos los espectros para cada ángulo se escoge el máximo valor espectral para cada periodo T_i (Ref.4).

$$Ar(\theta) = A_1 \cdot \cos \theta + A_2 \cdot \sin \theta$$

A_1, A_2 : Componentes horizontales del registro.

$Ar(\theta)$: Señal resultante de la combinación de las componentes horizontales para un ángulo θ .

$$RotD(\theta, T_i) = Sa(Ar(\theta), T_i)$$

$Sa(Ar(\theta), T_i)$: Aceleración espectral para un periodo T_i calculado para la señal rotada en un ángulo θ .

$$MaxDir(T_i) = \max (RotD(\theta, T_i))$$

Principal 1 y Principal 2: Corresponde al espectro en las direcciones donde las señales rotadas presenten mayor independencia entre sí. Procedimiento:

$$\begin{aligned} Ar_1(\theta) &= A_1 \cdot \cos \theta + A_2 \cdot \sin \theta \\ Ar_2(\theta) &= -A_1 \cdot \sin \theta + A_2 \cdot \cos \theta \end{aligned}$$

A_1, A_2 : Componentes horizontales del registro.

$Ar_1(\theta), Ar_2(\theta)$: Señales de las componentes ortogonales rotadas un ángulo θ .

$$\rho_{xy}(\theta) = \frac{\mu_{xy}(\theta)}{\sigma_x(\theta) \cdot \sigma_y(\theta)}$$

$\rho_{xy}(\theta)$: Correlación cruzada de las señales horizontales para los ejes rotados en un ángulo θ .

$\mu_{xy}(\theta)$: Covarianza de las señales horizontales para los ejes rotados en un ángulo θ .

$\sigma_i(\theta)$: Desviación estándar de cada una de las señales horizontales para los ejes rotados en un ángulo θ .

Se consideran rotaciones θ de 0° a 90° con incrementos de 1° , se definen las direcciones principales 1 y 2 como aquellas en que la correlación cruzada es mínima y se calcula el espectro de cada componente para esa rotación $\theta_{\rho min}$.

$$\begin{aligned} Principal\ 1 &= Sa(Ar_1(\theta_{\rho min})) \\ Principal\ 2 &= Sa(Ar_2(\theta_{\rho min})) \end{aligned}$$

$Sa(Ar_1(\theta_{\rho min}))$: Espectro en la dirección principal 1.

$Sa(Ar_2(\theta_{\rho min}))$: Espectro en la dirección principal 2.

Envolvente: Para cada periodo T_i del espectro se escoge el máximo valor entre los espectros H1 y H2.

$$Env(T_i) = \max (H1(T_i), H2(T_i))$$

Random: Se escoge aleatoriamente alguna de las dos componentes horizontales de los sensores en terreno y se genera el espectro.

Vertical: Espectro calculado a partir de la señal vertical del registro.

2.2 Conversión de Ecuación de Predicción del Movimiento Sísmico GMPE para Diferentes Definiciones de la Componente Horizontal y la Componente Vertical.

El estudio que aquí se presenta está basado en el trabajo realizado por Beyer y Bommer 2006 (Ref. 1), en el cual se propone un método para la obtención de factores de conversión de GMPE a diferentes definiciones de la componente horizontal del movimiento sísmico.

Una GMPE puede ser dividida en dos partes, la primera representa el logaritmo promedio para el valor de la medida del movimiento, en este caso aceleración, y la segunda representa su variación en torno al promedio (Ref. 1).

$$\log(Sa_i) = \mu_{\log(Sa_i)} + \varepsilon \cdot \sigma_{\log(Sa_i)}$$

$\mu_{\log(Sa_i)}$: Valor esperado para el logaritmo de la aceleración espectral.

$\varepsilon \cdot \sigma_{\log(Sa_i)}$: Variabilidad asociada a la predicción.

$\sigma_{\log(Sa_i)}$: Desviación estándar de $\log(Sa_i)$.

ε : Factor de ponderación de la desviación estándar.

Bajo el supuesto de que Sa_i tiene una distribución log normal, se definen las siguientes ecuaciones que permiten convertir la curva de predicción para GMxy a la GMPE para alguna otra definición y calcular la variabilidad correspondiente.

$$\hat{S}a_i = \hat{S}a_{GM} \cdot \left(\frac{Sa_i}{Sa_{GM}} \right)_{median}$$

$\hat{S}a_i$: Mediana de la nueva definición.

$\hat{S}a_{GM}$: Mediana de GMxy obtenida de la GMPE.

$\left(\frac{Sa_i}{Sa_{GM}}\right)_{median}$: Mediana de la razón entre la nueva definición y GMxy obtenida del presente estudio.

$$\sigma_{tot,log}^2(Sa_i) = \sigma_{log}^2(Sa_{GM}) \left(\frac{\sigma_{log}(Sa_i)}{\sigma_{log}(Sa_{GM})} \right)^2 + \sigma_{log}^2(Sa_i/Sa_{GM})$$

$\sigma_{tot,log}(Sa_i)$: Desviación estándar total del logaritmo de la aceleración espectral para GMPE de la nueva definición.

$\sigma_{log}(Sa_{GM})$: Desviación estándar del logaritmo de GMxy obtenida de la GMPE.

$\frac{\sigma_{log}(Sa_i)}{\sigma_{log}(Sa_{GM})}$: Razón de la desviación estándar de los logaritmos de las definiciones obtenida en el presente estudio.

$\sigma_{log}(Sa_i/Sa_{GM})$: Desviación estándar del logaritmo de las razones de las definiciones.

3. BASE DE DATOS

Los registros sísmicos utilizados en este estudio provienen de dos redes de estaciones sísmicas nacionales, la red del Departamento de Ingeniería Civil de La Universidad de Chile RENADIC y la red de la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública ONEMI.

3.1 Registros RENADIC

Se cuenta con una base inicial de 1593 registros sísmicos desde el 8 de julio de 2008 al 24 de septiembre de 2014 obtenidos de la red de estaciones sísmicas RENADIC, los cuales son comparados mediante su fecha y hora con información obtenida del Centro Sismológico Nacional CSN, esto permite asociar cada registro a un evento con sus características de longitud, latitud y profundidad.

La magnitud de momento M_w , es obtenida del catalogo de eventos sísmicos de Global Centroid Moment Tensor (CMT), en caso de no aparecer el evento en este catalogo se recurre a la información disponible en United States Geological Survey (USGS) y por último al Centro Sismológico Nacional (CSN), si ninguna de las tres fuentes reporta la magnitud de momento entonces se homologa la magnitud local M_l obtenida de CSN a M_w mediante la fórmula $M_w = 0.86 M_l + 0.81$ (Ref. 6).

El mecanismo de falla de cada evento es determinado considerando su longitud, latitud, profundidad y mecanismo focal.

Una vez caracterizado completamente un evento, se conservan los sismos de magnitud superior a 5.5 M_w . Posteriormente los registros son filtrados por su PGA (*Peak Ground Acceleration*) de acuerdo al equipo de registro (Ver Tabla 3.1).

Tabla 3.1 PGA Mínimos en función del Equipo de Registro

Equipo	PGA Mínimo [g]
SMA-1	0.03
QDR	0.02
CUSP-3A	0.02
SSR-1	0.02
SSA2	0.02
ETNA	0.01
K2	0.01
BASALT	0.01
OBSIDENT	0.01

De esta selección resultan 304 registros a los cuales se les suman 103 registros de eventos sísmicos de magnitud superior a 6.5 Mw previamente seleccionados y procesados por López 2016 (Ref.8), quedando un total de 407 registros sísmicos asociados a 100 eventos de magnitud superior o igual a 5.5 Mw (ver Tabla 3.2 a Tabla 3.6)

3.1.1 Eventos Sísmicos Asociados a Registros RENADIC.

Tabla 3.2 Eventos Sísmicos Asociados a Registro RENADIC

N°	Fecha	Hora	Mw	Latitud	Longitud	Prof.[km]	Mecanismo Falla
1*	30-07-1995	5:11:56	8	-23.567	-70.600	33	Interplaca
2*	14-10-1997	1:03:31	7.1	-30.900	-71.200	58	Intraplaca prof. Intermedia
3*	30-11-1999	4:01:53	6.5	-18.901	-69.171	128.1	Intraplaca prof. Intermedia
4*	23-06-2001	20:33:16	8.4	-15.907	-73.622	33	Interplaca
5*	07-07-2001	9:38:58	7.6	-17.400	-71.800	37	Interplaca
6*	13-06-2005	22:44:14	7.8	-19.903	-69.128	111	Intraplaca prof. Intermedia
7*	14-11-2007	15:40:49	7.7	-22.692	-70.215	38.9	Interplaca
8*	16-12-2007	8:09:17	6.7	-22.947	-70.180	42	Interplaca
9	10-09-2008	16:12:03	5.7	-20.45	-69.491	34.2	Cortical
10	12-10-2008	20:55:39	6.2	-20.471	-66.144	393.7	Intraplaca profundo
11	18-12-2008	21:19:28	6.1	-32.476	-71.9	24.8	Interplaca
12	31-01-2009	16:29:36	5.5	-19.626	-69.435	100	Intraplaca prof. Intermedia
13	11-02-2009	20:45:31	5.5	-20.335	-69.217	116.8	Intraplaca prof. Intermedia
14	16-04-2009	17:43:31	5.6	-19.411	-69.938	70.2	Intraplaca prof. Intermedia
15	17-04-2009	2:08:08	6.1	-19.666	-70.68	37.2	Interplaca
16	01-07-2009	18:39:01	5.5	-20.228	-69.428	93	Intraplaca prof. Intermedia
17	12-07-2009	6:12:43	6.1	-15.300	-70.912	190	Intraplaca prof. Intermedia
18	15-07-2009	15:21:26	5.6	-20.444	-69.34	119.9	Intraplaca prof. Intermedia
19	13-11-2009	3:05:57	6.5	-19.508	-70.505	39	Interplaca
20	12-02-2010	12:03:38	5.8	-33.686	-69.06	192.4	Intraplaca prof. Intermedia
21*	27-02-2010	6:34:08	8.8	-36.290	-73.239	30	Interplaca
22	27-02-2010	7:34:26	5.6	-33.976	-72.352	15.8	Interplaca
23*	28-02-2010	11:25:33	6.2	-35.010	-71.924	19.4	Interplaca
24	03-03-2010	19:58:26	5.8	-33.429	-72.223	38.9	Interplaca
25	04-03-2010	1:59:44	6.0	-33.219	-72.554	34.5	Interplaca
26	04-03-2010	22:39:23	6.3	-22.613	-68.798	126.3	Intraplaca prof. Intermedia
27	05-03-2010	11:47:03	6.6	-36.575	-73.923	17.5	Interplaca
28	11-03-2010	14:39:41	6.9	-34.301	-72.13	33.1	Cortical
29	11-03-2010	14:55:24	7.0	-34.451	-72.206	31	Cortical
30	11-03-2010	15:06:00	5.9	-34.444	-72.096	28.6	Interplaca
31	13-03-2010	10:34:35	5.8	-37.603	-74.081	13.5	Interplaca

*Eventos sísmicos extraídos de López 2016 (Ref.8).

Tabla 3.3 Eventos Sísmicos Asociados a Registro RENADIC (Continuación)

N°	Fecha	Hora	Mw	Latitud	Longitud	Prof.[km]	Mecanismo Falla
32	15-03-2010	11:08:00	6.2	-35.404	-74.953	10	Outer rise
33*	16-03-2010	2:21:57	6.6	-36.471	-73.900	25	Interplaca
34	16-03-2010	3:04:34	5.9	-36.491	-73.689	21.2	Interplaca
35	26-03-2010	14:52:06	6.1	-28.089	-70.964	51.2	Interplaca
36	28-03-2010	21:38:28	6.0	-35.364	-73.423	27.8	Interplaca
37	02-04-2010	19:34:09	5.5	-36.118	-72.898	29	Interplaca
38	05-04-2010	22:36:57	5.8	-20.022	-69.246	106.6	Intraplaca prof. Intermedia
39	16-04-2010	23:15:27	5.7	-37.604	-74.658	20	Outer rise
40	02-05-2010	14:52:39	5.9	-34.29	-72.088	32.1	Cortical
41	03-05-2010	23:09:38	6.2	-38.268	-74.345	22.9	Interplaca
42	06-05-2010	2:42:48	6.2	-18.316	-70.766	38.9	Interplaca
43	29-06-2010	1:40:00	5.5	-37.883	-73.622	25.4	Interplaca
44	01-07-2010	20:58:22	5.6	-35.655	-72.63	39.9	Interplaca
45	12-07-2010	0:11:18	6.2	-22.354	-68.633	125.3	Intraplaca prof. Intermedia
46	14-07-2010	15:05:46	5.8	-38.291	-73.868	20.9	Interplaca
47	17-07-2010	6:07:47	5.5	-24.299	-70.322	86.1	Intraplaca prof. Intermedia
48	05-08-2010	6:01:44	5.9	-37.42	-74.073	33.5	Interplaca
49	05-08-2010	17:49:41	5.7	-37.562	-73.772	29.3	Interplaca
50	09-09-2010	7:27:54	6.2	-36.986	-74.397	28.8	Outer rise
51	30-09-2010	0:26:10	5.6	-36.249	-74.256	20.2	Outer rise
52	21-10-2010	2:49:56	5.9	-34.792	-73.957	32.6	Outer rise
53	22-10-2010	19:31:35	5.8	-21.01	-68.806	136.3	Intraplaca prof. Intermedia
54	23-10-2010	5:58:26	5.5	-37.791	-74.088	45.5	Interplaca
55	23-10-2010	15:47:40	5.5	-36.608	-73.505	20.7	Interplaca
56	27-10-2010	20:09:02	5.8	-19.121	-69.76	88.3	Intraplaca prof. Intermedia
57	18-01-2011	21:30:47	5.8	-19.201	-69.397	102.7	Intraplaca prof. Intermedia
58	11-02-2011	20:05:26	6.8	-36.679	-73.593	20.9	Interplaca
59	12-02-2011	1:17:00	6.0	-36.958	-74.155	25.4	Interplaca
60	28-02-2011	1:29:25	5.8	-37.36	-73.695	31.5	Interplaca
61	06-03-2011	12:31:57	6.3	-18.309	-69.44	112.4	Intraplaca prof. Intermedia
62	16-03-2011	22:36:16	5.5	-32.564	-71.726	32.7	Interplaca
63	02-04-2011	10:59:38	5.9	-19.684	-69.355	100.5	Intraplaca prof. Intermedia
64	08-06-2011	3:06:22	5.9	-17.534	-70.004	146.5	Intraplaca prof. Intermedia
65	20-06-2011	16:35:59	6.5	-21.874	-68.668	128.7	Intraplaca prof. Intermedia
66	16-07-2011	0:26:11	6.0	-33.901	-72.099	26	Interplaca
67	14-09-2011	7:03:51	5.9	-32.696	-71.797	37	Interplaca

*Eventos sísmicos extraídos de López 2016 (Ref.8).

Tabla 3.4 Eventos Sísmicos Asociados a Registro RENADIC (Continuación)

N°	Fecha	Hora	Mw	Latitud	Longitud	Prof.[km]	Mecanismo Falla
68	05-11-2011	7:13:57	5.7	-23.506	-70.236	43.2	Interplaca
69	17-01-2012	23:21:31	5.7	-31.765	-71.906	37.5	Interplaca
70	26-02-2012	8:08:52	5.6	-18.912	-69.642	106.7	Intraplaca prof. Intermedia
71*	25-03-2012	22:37:06	7.1	-35.200	-72.217	40.7	Interplaca
72	17-04-2012	3:50:14	6.7	-32.787	-71.812	35	Interplaca
73	14-05-2012	10:00:40	6.3	-18.115	-70.237	119.6	Intraplaca prof. Intermedia
74	11-10-2012	17:22:10	5.6	-32.879	-70.651	95	Intraplaca prof. Intermedia
75	10-07-2013	14:32:12	5.6	-19.367	-69.522	112.9	Intraplaca prof. Intermedia
76	23-08-2013	8:34:05	5.8	-22.278	-68.855	117.5	Intraplaca prof. Intermedia
77	31-10-2013	23:03:58	6.5	-30.372	-71.501	52	Interplaca
78	08-01-2014	4:22:11	5.7	-20.774	-70.678	30.2	Interplaca
79	12-02-2014	11:43:11	5.8	-22.348	-68.724	98.7	Intraplaca prof. Intermedia
80*	16-03-2014	21:16:29	6.7	-19.965	-70.814	20.6	Interplaca
81	17-03-2014	5:11:34	6.4	-19.928	-70.944	28.3	Interplaca
82	18-03-2014	21:26:46	5.8	-19.957	-70.95	39.2	Interplaca
83	22-03-2014	12:59:54	6.2	-19.836	-71.384	31.8	Outer rise
84	23-03-2014	18:20:00	6.2	-19.794	-70.943	33.8	Interplaca
85	24-03-2014	15:45:32	5.7	-19.594	-70.791	43	Interplaca
86	31-03-2014	12:53:06	5.6	-19.511	-69.174	114.5	Intraplaca prof. Intermedia
87*	01-04-2014	23:46:45	8.1	-19.572	-70.908	38.9	Interplaca
88	02-04-2014	4:46:20	5.5	-20.134	-70.792	38.6	Interplaca
89*	03-04-2014	5:26:15	6.5	-20.798	-70.651	38	Interplaca
90	04-04-2014	1:37:52	6.2	-20.622	-70.605	32.6	Interplaca
91	05-04-2014	2:22:39	5.6	-32.669	-71.295	42.3	Interplaca
92	11-04-2014	0:01:44	6.1	-20.71	-70.653	37.4	Interplaca
93	17-05-2014	9:11:07	5.5	-20.001	-70.967	37.2	Interplaca
94	30-05-2014	15:32:27	5.6	-21.302	-69.999	59.6	Intraplaca prof. Intermedia
95	19-06-2014	19:54:05	5.8	-19.815	-70.941	40.1	Interplaca
96	13-07-2014	20:54:15	5.6	-20.235	-70.312	36.1	Interplaca
97	23-07-2014	21:39:08	5.6	-20.238	-68.74	122	Intraplaca prof. Intermedia
98	23-08-2014	4:45:33	5.6	-20.187	-69.081	100.2	Intraplaca prof. Intermedia
99	23-08-2014	22:32:23	6.4	-32.737	-71.505	40.7	Interplaca
100	24-09-2014	11:16:14	6.2	-23.622	-67.163	257.6	Intraplaca profundo

*Eventos sísmicos extraídos de López 2016 (Ref.8).

3.1.2 Estaciones Sísmicas RENADIC.

Tabla 3.5 Estaciones Sísmicas RENADIC

Nº	Estación	Latitud	Longitud	Suelo NCh433	Equipo
1	Alto Hospicio	-20.277	-70.099	B *	QDR
2	Angol-Hospital	-37.795	-72.706	D ^{vs}	QDR
3	Antofagasta-Hospital	-23.570	-70.379	II	ETNA
4	Antofagasta-UCN	-23.681	-70.411	A ^h	ETNA
5	Arica-Cementerio	-18.478	-70.308	C ^{vs}	QDR
6	Arica-Cerro La Cruz	-18.491	-70.311	A ^{vs}	ETNA
7	Arica-Chacalluta	-18.315	-70.314	F *	ETNA
8	Arica-Costanera	-18.466	-70.306	C ^{vs}	SMA-1
9	Arica-Hospital	-18.483	-70.314	C ^{vs}	ETNA
10	Arica-UTA	-18.471	-70.312	-	QDR
11	Calama-Hospital	-22.459	-68.930	A ^h	ETNA
12	Cauquenes	-35.963	-72.324	B ^{vs}	SMA-1
13	Colegio Inmaculada Concepción	-36.828	-73.048	D ^{vs}	SMA-1
14	Colegio San Pedro de la Paz Concepción	-36.844	-73.109	C ^{vs}	ETNA
15	Constitución	-35.340	-72.406	D ^{vs}	SMA-1
16	Copiapó	-27.374	-70.322	II	QDR
17	Curicó	-34.990	-71.236	B ^{vs}	QDR
18	Cuya	-19.160	-70.180	C *	QDR
19	El Loa	-21.424	-70.056	A *	ETNA
20	Fuerte Baquedano	-20.133	-69.751	D *	QDR
21	Hospital Rancagua	-34.168	-70.727	II	QDR
22	Hualañe	-34.977	-71.805	B ^{vs}	SMA-1
23	Illapel	-31.627	-71.164	B ^{vs}	SMA-1
24	Iquique Escuela Chipana	-20.252	-70.125	D *	ETNA
25	Iquique Hospital	-20.214	-70.138	A ^h	ETNA
26	Iquique IDIEM	-20.220	-70.142	D *	QDR
27	Iquique plaza	-20.213	-70.149	F *	SMA-1
28	La Serena-Universidad	-29.909	-71.246	C *	QDR
29	Llolleo	-33.616	-71.611	D ^{vs}	SMA-1
30	Maipú-Centro de Referencia de Salud	-33.509	-70.772	C ^{vs}	QDR
31	Matanzas	-33.960	-71.873	C ^{vs}	SMA-1
32	Mejillones-EDELNOR	-23.088	-70.411	D *	ETNA
33	Mejillones-Hospital	-23.103	-70.446	D *	ETNA
34	Mejillones-Puerto	-23.076	-70.385	A *	ETNA

* Clasificación de suelo por razones espectrales H/V Idini 2016 (Ref.9).

^{vs} Estaciones con información de Vs30.

^h Homologación suelos tipo I NCh433-1996 a suelos tipo A NCh433-DS61.

Tabla 3.6 Estaciones Sísmicas RENADIC(Continuación)

N°	Estación	Latitud	Longitud	Suelo NCh433	Equipo
35	Michilla	-22.720	-70.280	A ^h	ETNA
36	Papudo	-32.507	-71.448	B ^{vs}	SMA-1
37	Pica	-20.492	-69.330	B *	ETNA
38	Pichilemu	-34.388	-72.014	B ^{vs}	QDR
39	Pisagua	-19.598	-70.214	A ^h	ETNA
40	Poconchile	-18.452	-70.068	B ^{vs}	ETNA
41	Punta Patache	-20.807	-70.194	A ^h	CUSP-3A
42	Putre-Retén	-18.195	-69.559	F *	QDR
43	San Pedro de Atacama	-22.910	-68.200	E *	ETNA
44	Santiago Centro-Conjunto Villa Andalucía	-33.467	-70.652	D *	SSA-2
45	Santiago Metro Estación Mirador	-33.514	-70.606	B ^{vs}	K2
46	Santiago Hospital Luis Tisné Peñalolen	-33.501	-70.579	D ^{vs}	QDR
47	Santiago Hospital Sotero del Rio	-33.577	-70.581	D *	QDR
48	Santiago Ingeniería	-33.457	-70.662	F *	SSR-1
49	Santiago-Pedro Fontova Huechuraba	-33.365	-70.671	-	SSA2EVT
50	Talca	-35.430	-71.665	B ^{vs}	SMA-1
51	Talcahuano-C.BioBio	-36.743	-73.120	-	K2
52	Tocopilla-Gobernación	-22.093	-70.201	A *	ETNA
53	Tocopilla-Puerto	-22.090	-70.200	A ^h	ETNA
54	Valdivia	-39.831	-73.239	D ^{vs}	QDR
55	Vallenar	-28.576	-70.755	B *	QDR
56	Valparaíso Almendral	-33.030	-71.620	C ^{vs}	SMA-1
57	Valparaíso UTFSM	-33.035	-71.596	A ^{vs}	SMA-1
58	Viña Centro	-33.025	-71.553	D ^{vs}	QDR
59	Viña del mar-Marga Marga 1	-33.048	-71.510	F *	ETNA
60	Viña del mar-Marga Marga 2	-33.048	-71.510	F *	QDR
61	Viña El Salto	-33.048	-71.509	III	ETNA

* Clasificación de suelo por razones espectrales H/V Idini 2016 (Ref.9).

^{vs} Estaciones con información de Vs30.

^h Homologación suelos tipo I NCh433-1996 a suelos tipo A NCh433-DS61.

3.2 Registros ONEMI.

De la red de estaciones sísmicas de ONEMI (Tabla 3.7 a Tabla 3.9) se obtienen 377 registros de eventos sísmicos ocurridos entre el 7 de octubre de 2014 y el 28 de septiembre de 2015 con magnitudes superiores a 5.5 Mw. De este grupo se seleccionan los con PGA superior a 0.01 g, quedando un total de 273 registros los cuales aparecen ya asociados a 31 eventos.

3.2.1 Eventos Asociados a Registros Sísmicos ONEMI.

Tabla 3.7 Eventos Asociados a Registros Sísmicos ONEMI.

Nº	Fecha	Hora	Mw	Latitud	Longitud	Prof.[km]	Mecanismo Falla
1	10-11-2014	11:38:59	5.5	-21.631	-68.725	111.3	Intraplaca prof. Intermedia
2	11-02-2015	18:57:19	6.7	-23.167	-66.863	238.9	Intraplaca profundo
3	18-03-2015	18:27:24	6.1	-36.101	-74.138	23	Outer rise
4	23-03-2015	4:51:38	6.4	-18.416	-69.269	121	Intraplaca prof. Intermedia
5	28-03-2015	16:36:53	5.7	-22.191	-68.7	111.7	Intraplaca prof. Intermedia
6	26-05-2015	10:32:00	5.6	-22.061	-68.522	133.6	Intraplaca prof. Intermedia
7	10-06-2015	13:52:09	6.1	-22.425	-68.581	130.5	Intraplaca prof. Intermedia
8	23-08-2015	23:10:03	5.7	-29.723	-71.25	50.1	Interplaca
9	16-09-2015	22:54:28	8.3	-31.553	-71.864	11.1	Interplaca
10	16-09-2015	22:59:15	6.2	-31.618	-71.745	26.7	Interplaca
11	16-09-2015	23:03:56	6.1	-31.733	-71.677	30	Interplaca
12	16-09-2015	23:16:08	6.2	-31.901	-71.899	29.2	Interplaca
13	16-09-2015	23:18:35	7.1	-31.589	-71.791	16.5	Interplaca
14	16-09-2015	23:38:01	6.0	-31.882	-71.888	35.1	Interplaca
15	17-09-2015	1:41:05	6.4	-31.113	-71.651	49.5	Interplaca
16	17-09-2015	2:59:28	5.5	-30.98	-71.364	53.7	Interplaca
17	17-09-2015	3:55:15	6.5	-31.461	-71.704	53.3	Interplaca
18	17-09-2015	4:02:09	5.7	-31.247	-71.894	33	Interplaca
19	17-09-2015	4:10:27	6.8	-31.542	-71.748	40.7	Interplaca
20	18-09-2015	9:10:40	6.1	-32.06	-72.102	33	Interplaca
21	19-09-2015	5:06:45	5.9	-29.653	-72.276	30	Outer rise
22	19-09-2015	9:07:07	5.8	-31.128	-71.578	34.2	Interplaca
23	19-09-2015	12:52:20	6.2	-32.326	-71.906	26.9	Interplaca
24	21-09-2015	5:39:34	6.1	-31.759	-71.737	40.7	Interplaca
25	21-09-2015	15:37:07	5.5	-31.113	-71.792	29.8	Interplaca
26	21-09-2015	17:39:58	6.6	-31.759	-71.553	13	Interplaca
27	21-09-2015	18:36:53	5.8	-31.087	-71.769	31.4	Interplaca
28	21-09-2015	19:56:09	5.7	-31.77	-71.599	36.5	Interplaca
29	22-09-2015	7:12:59	6.1	-31.451	-71.13	63.3	Intraplaca prof. Intermedia
30	26-09-2015	2:51:18	6.3	-30.794	-71.418	40.3	Interplaca
31	28-09-2015	15:28:04	6.0	-23.875	-67.121	249.9	Intraplaca profundo

3.2.2 Estaciones Sísmicas ONEMI.

Tabla 3.8 Estaciones Sísmicas Red Nacional ONEMI.

Nº	Estación	Latitud	Longitud	Suelo NCh433	Equipo
1	AC04-Llanos de Challe	-28.205	-71.074	A *	CMG-5T
2	AP01-Aeropuerto Chacalluta	-18.371	-70.342	F *	CMG-5T
3	BI03-U. de Concepción	-36.844	-73.026	D ^{vs}	CMG-5T
4	BO01-Tunca	-34.392	-71.085	-	CMG-5T
5	C01O-La Serena-Comisaria	-29.877	-71.238	F *	-
6	C07O-illapel	-31.634	-71.168	F *	-
7	C09O-La Higuera-Comisaria	-29.511	-71.200	B *	-
8	C11O-Monte Patria-C.Salud	-30.696	-70.959	C *	-
9	C12O-Canela Baja	-31.398	-71.458	F *	-
10	C19O-Coquimbo-Las Tacas	-30.093	-71.369	-	-
11	C20O-Coquimbo-Hospital	-29.968	-71.337	B ^{vs}	-
12	C22O-Coquimbo-Larrondo	-29.966	-71.351	-	-
13	C26O-Coquimbo(Tongoy)	-30.259	-71.490	-	-
14	C33O-La Serena-Estadio	-29.911	-71.251	B ^{vs}	-
15	CO02-Combarbalá	-31.204	-71.000	D *	CMG-5T
16	CO03-El Pedregal	-30.839	-70.689	B *	CMG-5T
17	GO01-Chusmiza	-19.669	-69.194	A ^{vs}	EPISENSOR
18	GO04-Tololo - Vicuña	-30.173	-70.799	D *	EPISENSOR
19	LMEL-Las Melosas	-33.848	-70.203	C *	EPISENSOR
20	M09L-Empedrados	-35.591	-72.281	-	-
21	M10L-Pelluhue-Comisaria	-35.843	-72.630	-	-
22	M11L-Talca-Comisaria	-35.440	-71.632	C ^{vs}	-
23	MNMCX-Miñi-Miñi	-19.131	-69.596	B *	CMG-5T
24	MT01-Popeta	-33.864	-71.251	F *	CMG-5T
25	MT05-Cerro Colorado	-33.392	-70.738	D *	CMG-5T
26	MT09-Talagante	-33.776	-70.989	A *	CMG-5T
27	PB03-El Tigre	-22.048	-69.753	A *	EPISENSOR
28	PB06-Pedro de Valdivia	-22.706	-69.572	A *	EPISENSOR
29	PB07-Cerro Tatas	-21.727	-69.886	A *	EPISENSOR
30	PB08-Macaya	-20.141	-69.153	A *	EPISENSOR
31	PB11-Quebrada Aricilda	-19.761	-69.656	D *	EPISENSOR
32	PB15-Sierra Gorda	-23.208	-69.471	D *	EPISENSOR
33	PB16-Cerro Chapiquiña	-18.335	-69.508	A *	EPISENSOR
34	R02M-Estadio Militar	-33.473	-70.660	B ^{vs}	-

* Clasificación de suelo por razones espectrales H/V Idini 2016 (Ref.9).

^{vs} Estaciones con información de Vs30.

Tabla 3.9 Estaciones Sísmicas Red Nacional ONEMI. (Continuación)

N°	Estación	Latitud	Longitud	Suelo NCh433	Equipo
35	R05M-La Reina(Campo Militar Valenzuela Llanos)	-33.443	-70.534	-	-
36	R08M-Curacavi-Comisaria	-33.401	-71.120	B *	-
37	R12M-Huechuraba(P. Riesco)	-33.389	-70.622	B ^{vs}	-
38	R13M-Colina	-33.216	-70.767	-	-
39	R14M-Santiago-Hospital Fach	-33.397	-70.546	-	-
40	R18M-Maipu-Estadio	-33.508	-70.749	-	-
41	R19M-Melipilla-Estadio	-33.698	-71.217	-	-
42	R20M-Talagante-Hospital	-33.665	-70.929	-	-
43	R21M-Pudahuel-Aeropuerto	-33.381	-70.796	D ^{vs}	-
44	R22M-Nuñoa(Inacap)	-33.453	-70.592	-	-
45	ROC1-Cerro El Roble	-32.976	-71.016	A ^{vs}	EPISENSOR
46	T01A-Cerro Dragón(Tarapacà)	-20.273	-70.122	E *	Basalt
47	T02A-Alto Hospicio-Cerro	-20.252	-70.118	D ^{vs}	Basalt
48	T03A-Iq.Reg. Granaderos	-20.230	-70.146	B ^{vs}	Basalt
49	T04A-Iquique Parral-Cruz roja	-20.239	-70.133	A *	Basalt
50	T06A-Iq-Hosp. Regional Dr. Ernesto Torres Galdames	-20.214	-70.138	C *	Basalt
51	T07A-P.Almonte-Comisaría	-20.256	-69.786	D ^{vs}	Basalt
52	T08A-Alto Hospicio Ciudad	-20.270	-70.094	B ^{vs}	Basalt
53	T09A-Pisagua-Comisaria	-19.596	-70.211	A *	Basalt
54	T10A-Huara-Tenencia	-19.995	-69.767	C ^{vs}	Basalt
55	T11A-Camiña	-19.312	-69.427	E *	Basalt
56	T15A-A. Hospicio-Ruta A-610	-20.239	-70.054	-	-
57	T20A-Huara	-19.924	-69.512	C ^{vs}	-
58	TA02-Huaiquique	-20.270	-70.131	C *	CMG-5T
59	V01A-Valparaiso-Comisaria	-33.053	-71.622	F *	-
60	V02A-Viña del Mar-Comisaria	-33.023	-71.518	B *	-
61	V03A-Quilpuè-Comisaria	-33.055	-71.439	A *	-
62	V04A-Valparaiso-Petorca	-32.251	-70.931	D *	-
63	V09A-Valparaíso Almendral	-33.048	-71.604	E *	-
64	V11A-San Felipe Comisaria	-32.756	-70.726	A *	-
65	VA01-Valparaiso-Parque	-33.023	-71.637	B *	CMG-5T
66	VA03-San Esteban	-32.764	-70.551	F *	CMG-5T
67	VA05-Santo Domingo	-33.657	-71.614	D *	CMG-5T

* Clasificación de suelo por razones espectrales H/V Idini 2016 (Ref.9).

^{vs} Estaciones con información de Vs30.

3.3 Procesamiento de Registros.

Los registros son procesados haciendo uso del programa computacional PRS desarrollado por Rubén Boroschek & Asociados para el procesamiento de registros sísmicos. El programa permite aplicar a cada registro dos métodos de filtrado: NGA y PSSA2015.

Para todos los registros se realiza el proceso que se describe a continuación, aplicado, a modo de ejemplo al registro 2015259225409-R13M del terremoto del 16 de septiembre de 2015, 8.4 Mw, obtenido en estación sísmica Colina.

1. Corrección por línea base

Se carga el registro en formato V1, se visualiza en pantalla y se identifica el tiempo pre-evento, el registro es centrado con respecto al nivel de aceleración nula (Figura 3.1)

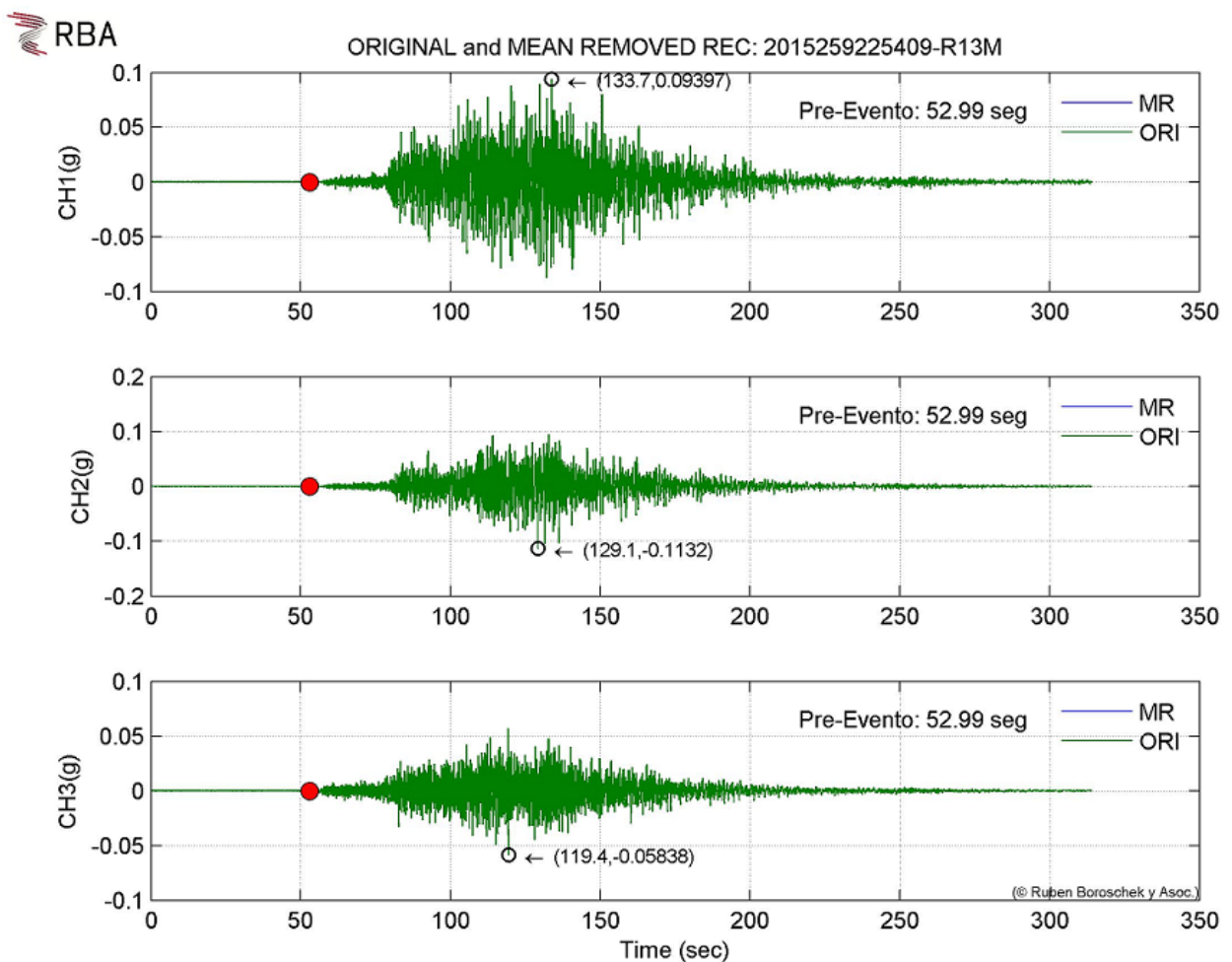


Figura 3.1 Registro 2015259225409-R13M. Corrección por línea base.

2. Ventana FAS(Fourier Amplitude Spectra).

La ventana FAS presenta los espectros de Fourier y permite seleccionar gráficamente las frecuencias mínimas y máximas de corte para cada canal(Figura 3.2).

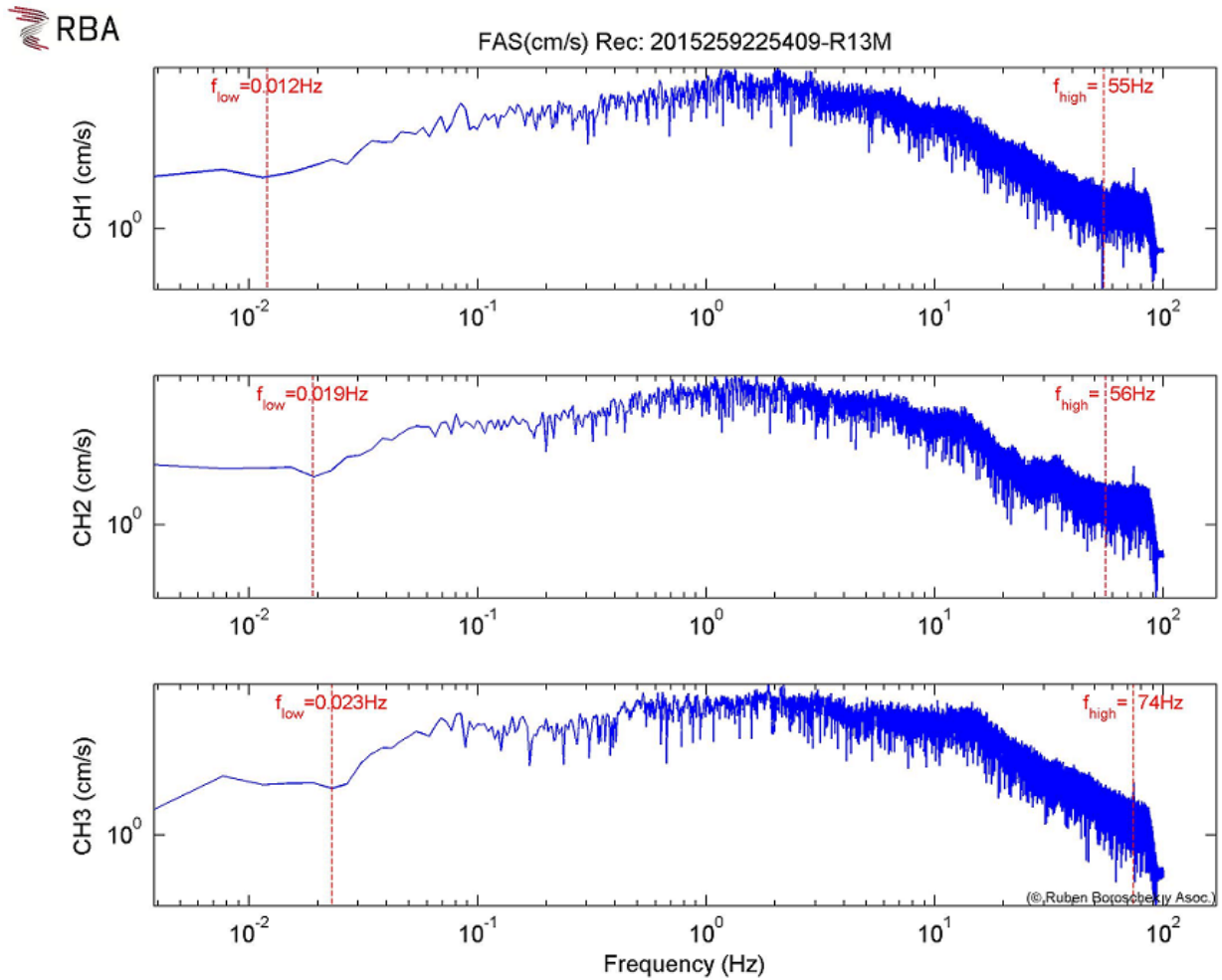


Figura 3.2 Registro 2015259225409-R13M. Selección frecuencias mínimas y máximas.

3. Filtrado

Selección de taper, generación de aceleración corregida y espectros de desplazamiento para periodos de corte de 5 s, 10 s, 15 s, 20 s, 25 s, 30 s, 35 s y 40 s. (Ver Figura 3.3 y Figura 3.4).

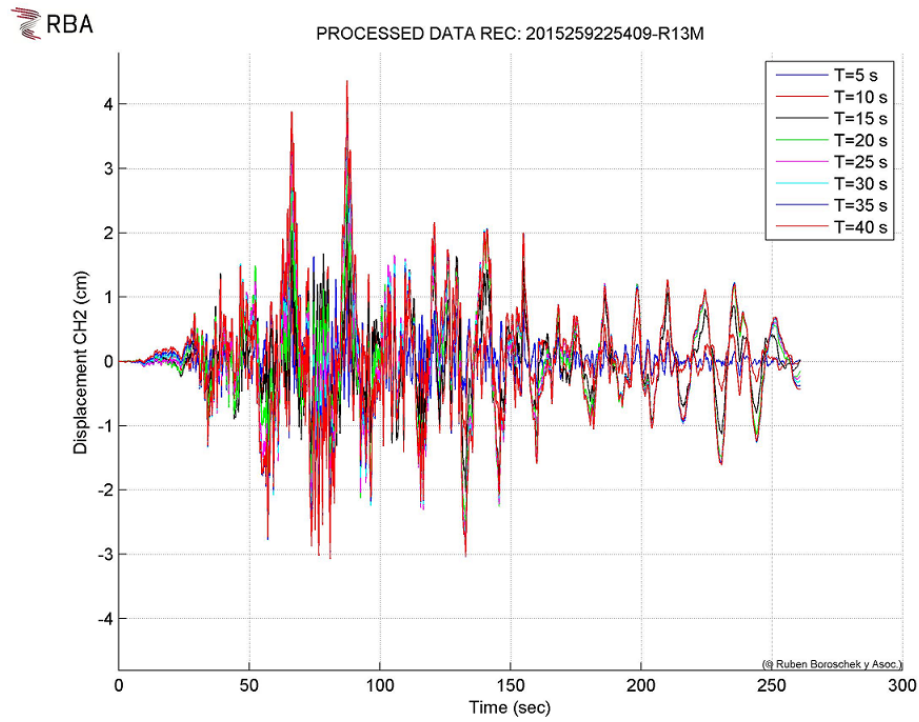


Figura 3.3 Registro 2015259225409-R13M. Aceleración corregida .

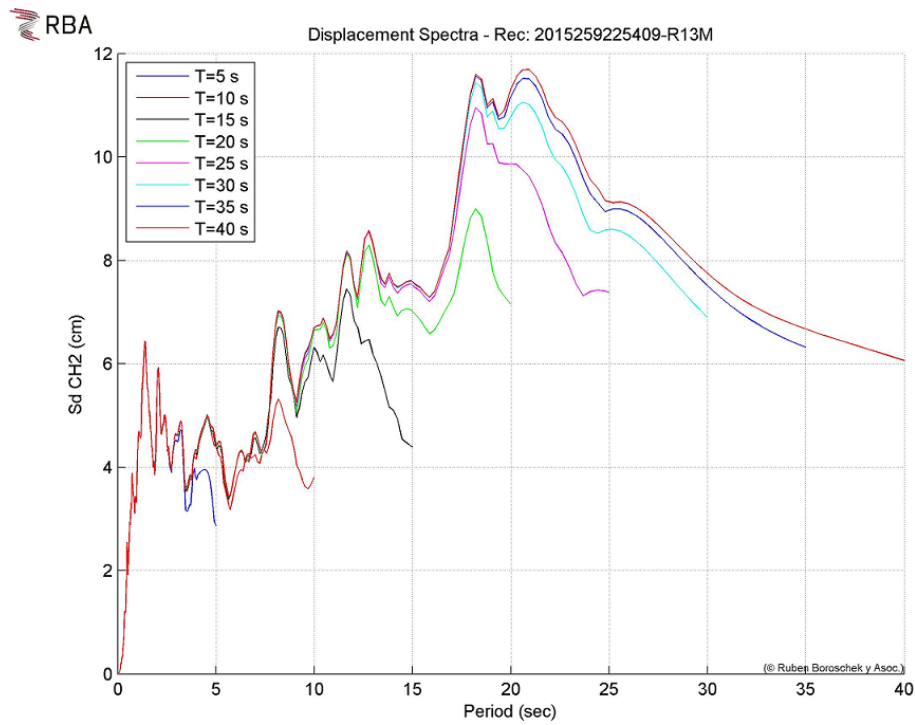


Figura 3.4 Registro 2015259225409-R13M. Espectros de desplazamiento.

3.4 Determinación Periodo de Corte.

El periodo de corte de cada registro es determinado comparando los espectros de desplazamiento resultantes del proceso de filtrado por los dos métodos mencionados en la sección anterior. Esta comparación se realiza mediante una rutina matlab que recibe como entrada los archivos de cada método de filtrado, el tiempo pre-evento resultante del procesamiento y la desviación estándar a considerar como límite máximo para la diferencia entre los espectros. Es necesario determinar la desviación estándar adecuada para hacer la comparación.

Además, se deben considerar las limitaciones de los equipos de registro en cada estación, en lo que a periodo de uso se refiere.

Tabla 3.10 Periodo de uso en función del equipo de registro.

Equipo	Periodo de Uso [s]
SMA-1	4
QDR	8
CUSP-3A	8
SSR-1	8
SSA2	6
ETNA	10
K2	10

Se realiza un estudio considerando un vector de desviaciones estándar de 0.05 a 0.4 cm, se calcula el periodo de uso para cada registro y cada desviación y a partir de los resultados obtenidos se concluye que el periodo de uso que debe considerarse para el cálculo de espectros de los registros de la red de estaciones sísmicas RENADIC es el correspondiente al definido por las limitaciones del equipo (Ver Tabla 3.10).

El mismo análisis se realiza para los registro de la red de estaciones sísmicas ONEMI, considerando desviaciones estándar de 0.05 y 0.25 cm. En este caso la desviación estándar adecuada es 0.25 cm. Esta desviación es usada para este grupo salvo 10 registros correspondientes al terremoto del 16 de Septiembre de 2015 magnitud 8.4 Mw, cuyos desplazamientos son mucho mayores que el resto del conjunto, para estos últimos se utiliza una desviación de 0.5 cm.

El periodo de corte usado para filtrar corresponde a dos veces el periodo de uso determinado anteriormente.

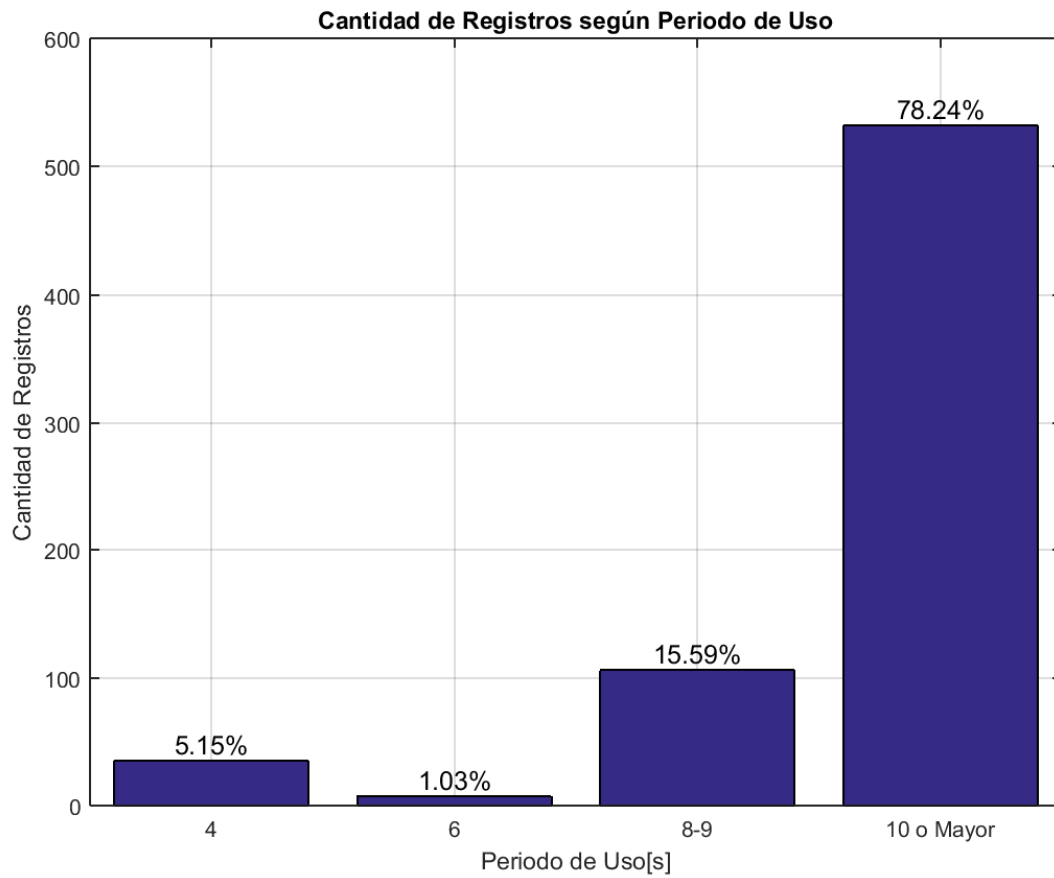


Figura 3.5 Histograma Periodo de Uso.

Como se puede apreciar, en casi el 80% de los casos, el espectro de registro sísmico llega a periodos de 10 segundos o más, esto se debe a la introducción de nuevos y mejores equipos de registros de datos en estaciones sísmicas nacionales.

4. ESPECTROS PARA DIFERENTES DEFINICIONES DE LA COMPONENTE HORIZONTAL DEL MOVIMIENTO Y COMPONENTE VERTICAL.

4.1 Cálculo de Espectros.

Se calculan los pseudo espectros de respuesta de aceleración de cada uno de los registros sísmicos para las diferentes definiciones de la componente horizontal del movimiento y para la componente vertical con amortiguamientos de 2, 5 y 10 %. Para esto se programan rutinas matlab para cada definición y se generan los gráficos correspondientes. A continuación se presentan gráficos generados para el registro del terremoto del 27 de Febrero del 2010 obtenido en estación sísmica Matanzas.

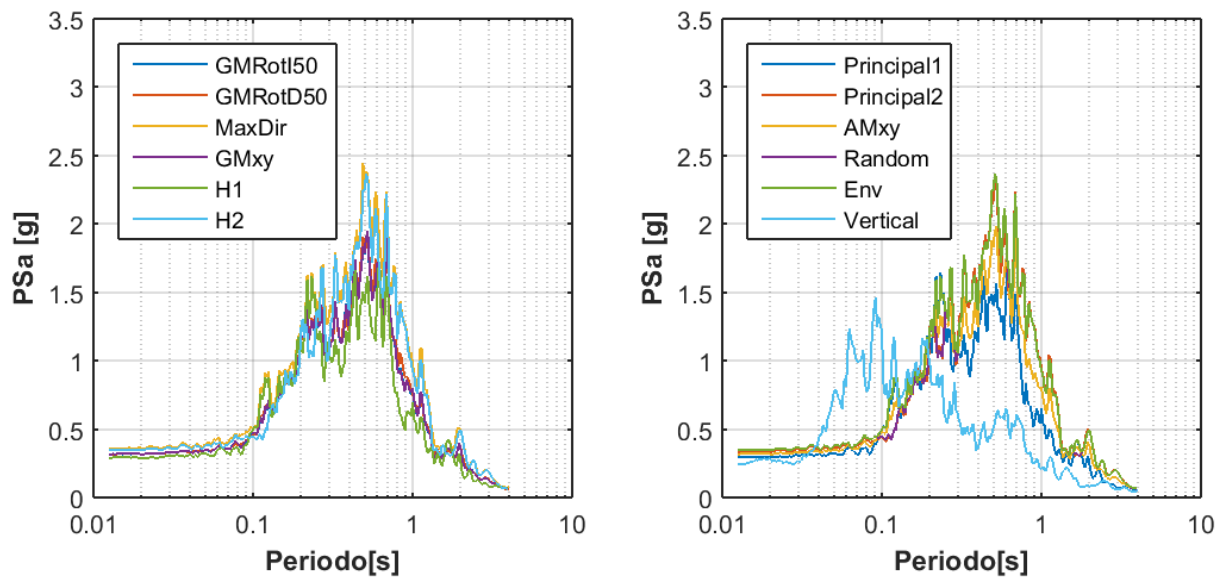


Figura 4.1 Espectros de Aceleración para las diferentes definiciones de la componente horizontal y componente vertical del movimiento con un 2% de amortiguamiento.

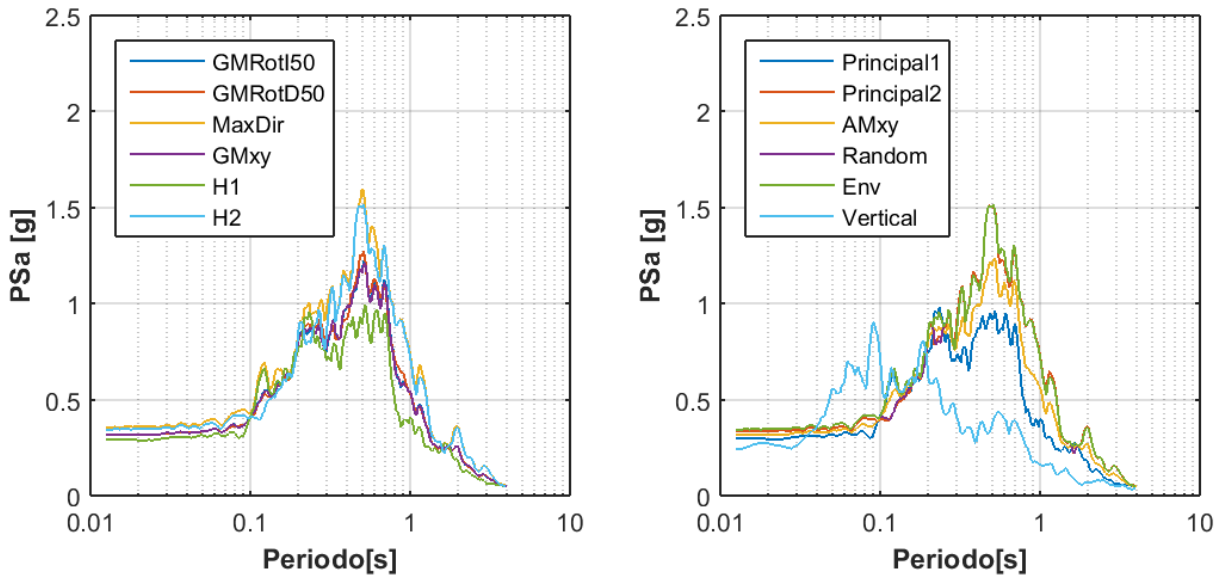


Figura 4.2 Espectros de Aceleración para las diferentes definiciones de la componente horizontal y componente vertical del movimiento con un 5% de amortiguamiento.

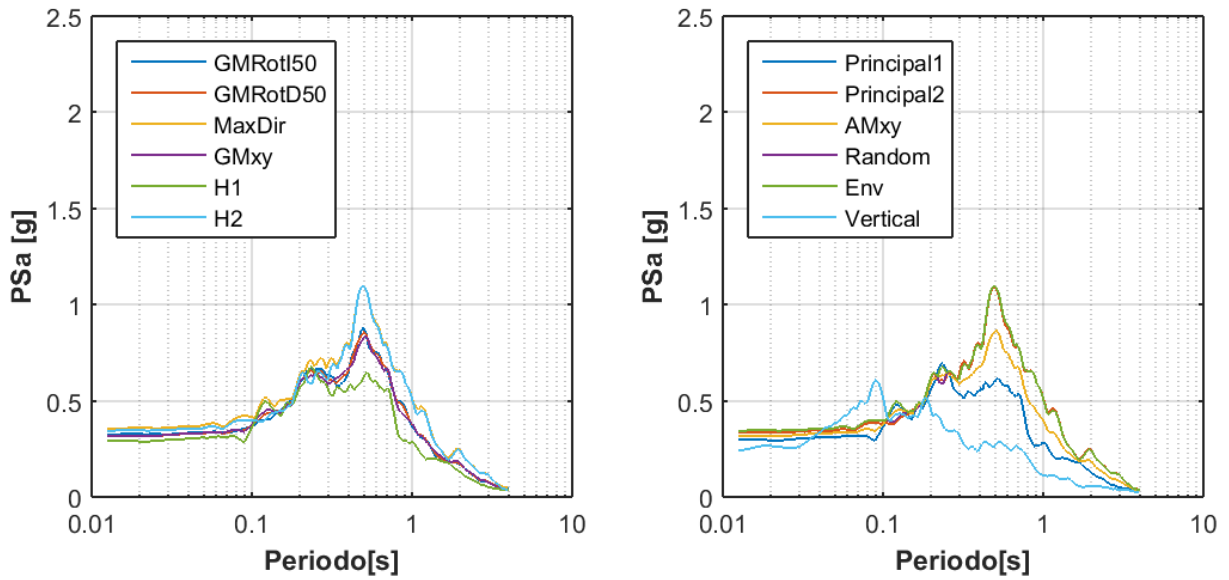


Figura 4.3 Espectros de Aceleración para las diferentes definiciones de la componente horizontal y componente vertical del movimiento con un 10% de amortiguamiento.

4.2 Estructura de Datos.

El esquema a continuación muestra la forma en que los datos son almacenados para cada registro sísmico, esto incluye, el evento asociado, la estación de registro, espectros calculados para las distintas definiciones y amortiguamientos y registro original procesado y sin procesar.

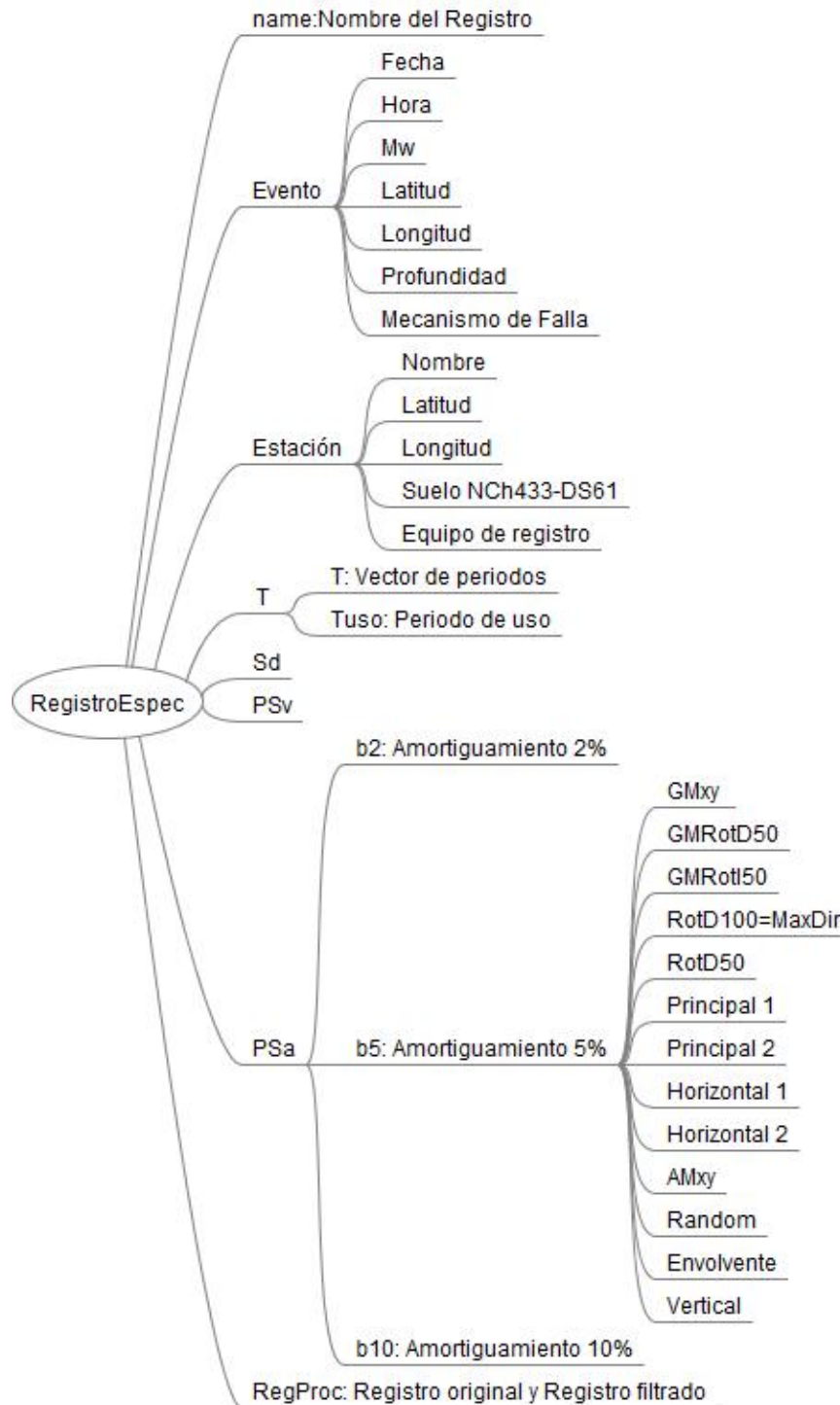


Figura 4.4 Estructura de datos

5. RELACIÓN ENTRE LAS DIFERENTES DEFINICIONES DE LA COMPONENTE HORIZONTAL Y LA COMPONENTE VERTICAL DEL MOVIMIENTO.

5.1 Cálculo de Razón entre cada Definición y la Media Geométrica GMxy de las componentes Horizontales.

Se calculan las curvas de relación entre las distintas definiciones de la componente horizontal y la componente vertical del movimiento con la media geométrica GMxy para cada espectro de la base de datos, luego se obtiene la curva para la mediana y el 80 percentil para cada definición. Para esto se programa en MATLAB una función que calcula y grafica los resultados para la mediana, el 80 percentil con la banda de espectros correspondiente y el resumen para las medianas en conjunto.

En las figuras siguientes se presentan las medianas de las razones de las diferentes definiciones en conjunto, permitiendo observar el comportamiento de cada razón respecto a las otras (ver Figura 5.1, Figura 5.2 y Figura 5.3).

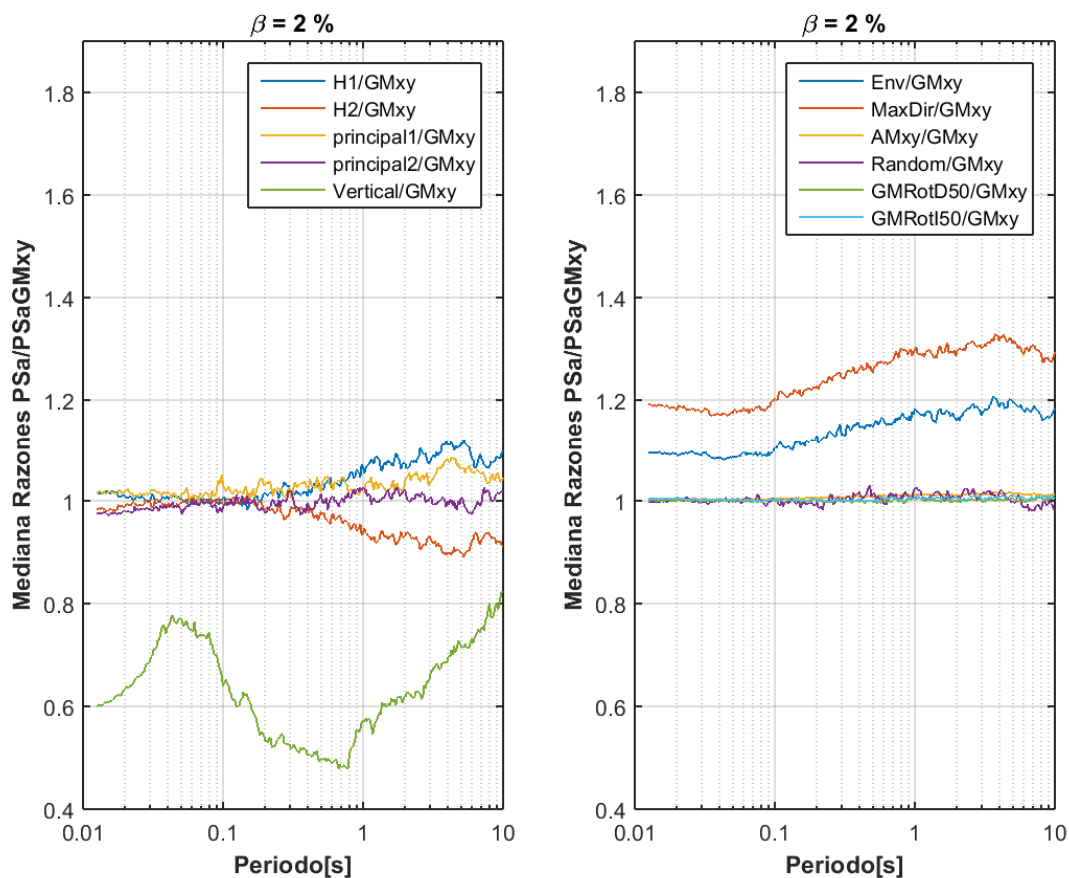


Figura 5.1 Mediana Razones de Seudo Espectros de Aceleración 2% de Amortiguamiento.

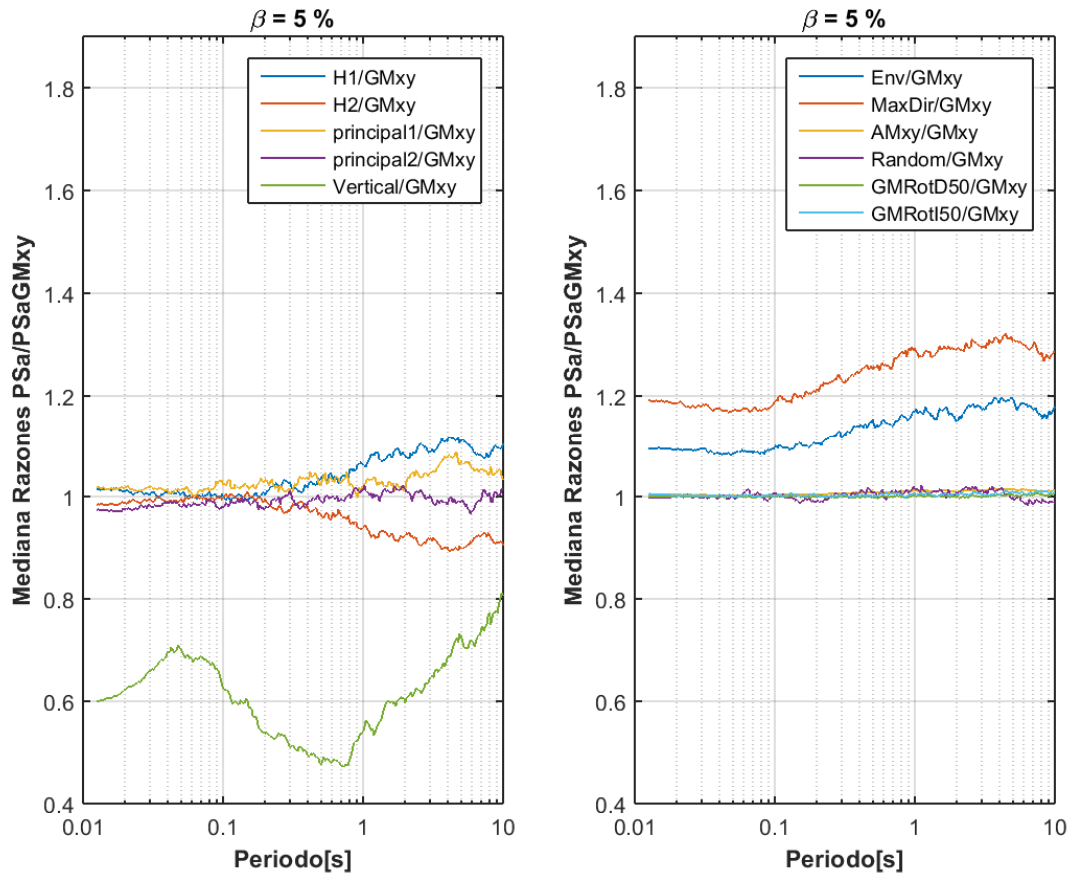


Figura 5.2 Mediana Razones de Seudo Espectros de Aceleración 5% de Amortiguamiento.

Las razones de Envoltante y Máxima Dirección presentan la misma forma pero MaxDir/GMxy está siempre por sobre las otras definiciones, le sigue Env/GMxy .

Para periodos entre 0.06 s y 0.2 s H1/GMxy y H2/GMxy son cercanos a la unidad y para el resto de periodos H1/GMxy es mayor que H2/GMxy , con una diferencia creciente desde los 0.2 s en adelante.

Principal 1/ GMxy y Principal 2/ GMxy presentan el mismo comportamiento que las horizontales 1 y 2 pero con diferencias menos pronunciadas.

La medianas para las razones de AMxy, Random, GMRotD50 y GMRotI50 son muy cercanas a la unidad en todo el rango de periodos.

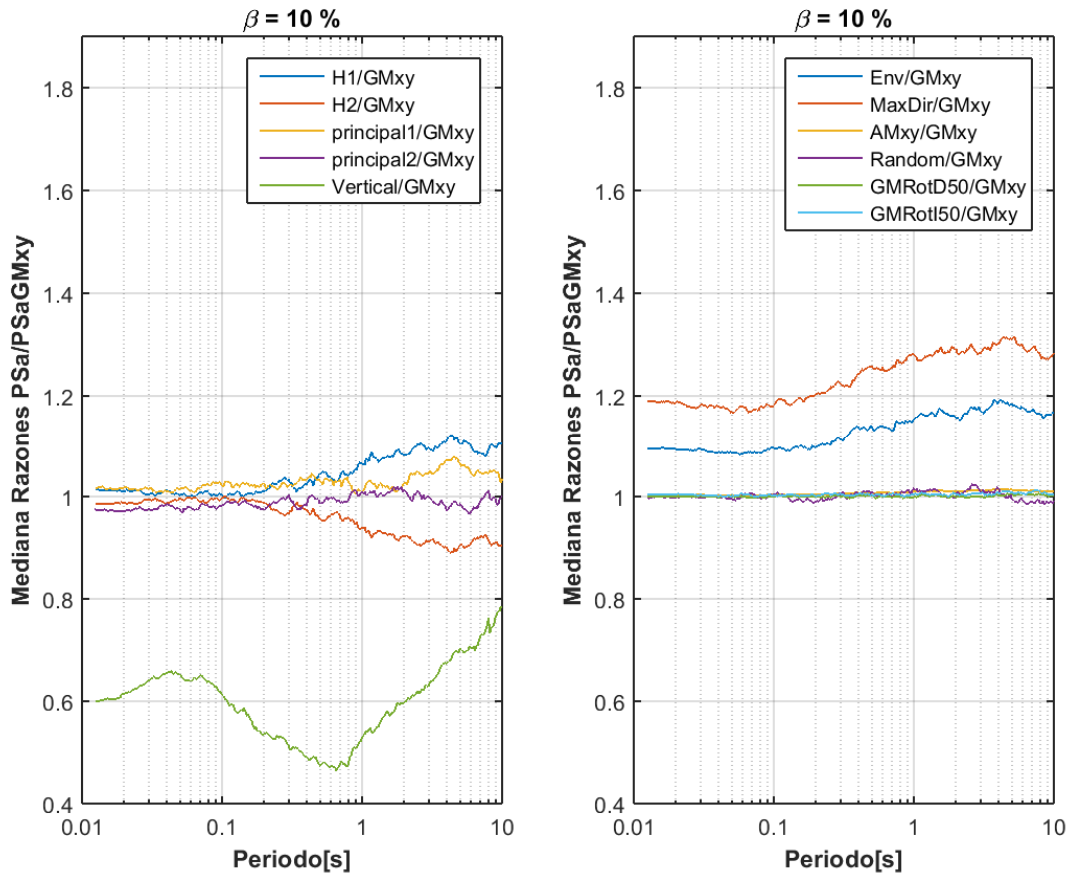


Figura 5.3 Mediana Razones de Seudo Espectros de Aceleración 10% de Amortiguamiento.

El comportamiento de las medianas de las razones de las diferentes definiciones de la componente horizontal del movimiento con respecto a las otras no cambia visiblemente con el amortiguamiento. Por el contrario, la mediana de la razón para componente vertical presenta un claro descenso de los puntos máximos al aumentar el amortiguamiento.

Los gráficos presentados a continuación corresponden a las curvas obtenidas para las diferentes definiciones de la componente horizontal y la componente vertical con un amortiguamiento de 5% , las figuras obtenidas para amortiguamiento de 2 y 10% se presentan en Anexo A , su comportamiento es el mismo que el aquí descrito y los valores significativos pueden ser revisados en el capítulo 6, donde se presentan las regresiones para la mediana de las razones.

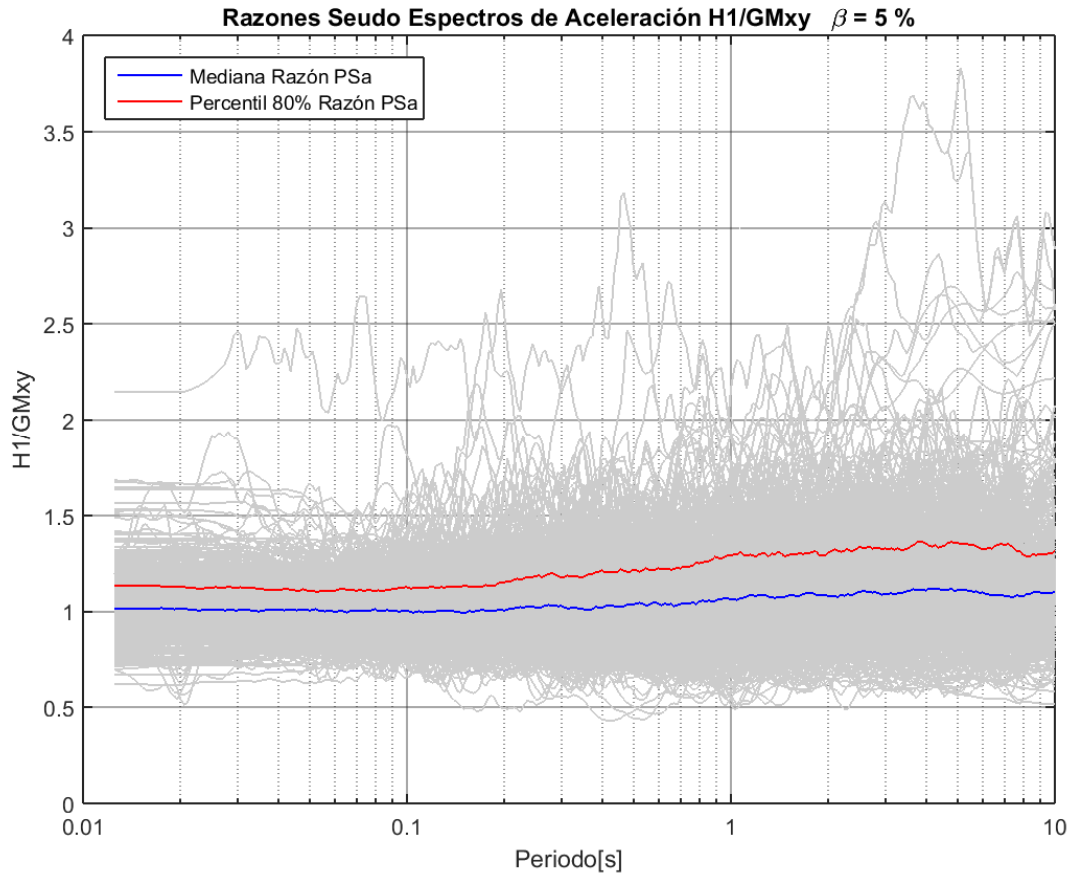


Figura 5.4 Razones de Seudo Espectros de Aceleración H1/GMxy

En la razón H1/GMxy se aprecia una diferencia importante entre la mediana y el 80 percentil, observándose valores aproximados de 1.006 para la primera y 1.11 para el segundo, para periodos menores a 0.2 s, llegando a 1.09 y 1.3 respectivamente entre los periodos 1 s y 10 s. La mediana de las razones se encuentra sobre la unidad para todo el rango de periodos y aumenta con este.

Su comportamiento es muy diferente a los resultados obtenidos por Beyer y Bommer (Ref.1) para la componente horizontal, ajustándose mejor a lo observado para la componente normal a la falla FN, esto es un indicador de efectos de direccionalidad.

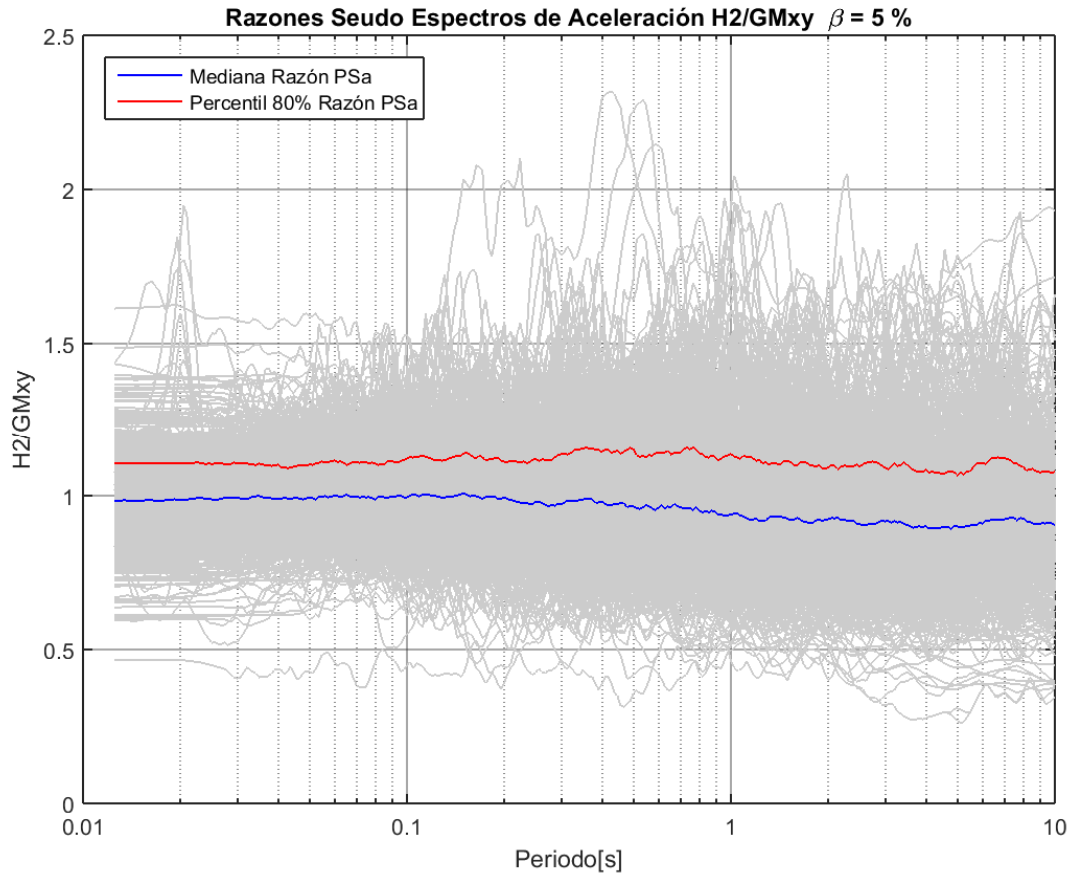


Figura 5.5 Razones de Seudo Espectros de Aceleración H2/GMxy.

El comportamiento de la mediana de la razón $H2/GM_{xy}$, al contrario de $H1/GM_{xy}$, se mantiene siempre bajo la unidad y disminuye con el periodo, esta se mueve de 0.995 en periodos menores a 0.2 hasta 0.916 para periodos sobre 1 s, mientras que el 80 percentil se presenta más uniforme con valores cercanos a 1.1 en todo el rango de periodos.

Su comportamiento es muy diferente a los resultados obtenidos por Beyer y Bommer (Ref.1) para la componente horizontal, ajustándose mejor a lo observado para la componente paralela a la falla FP.

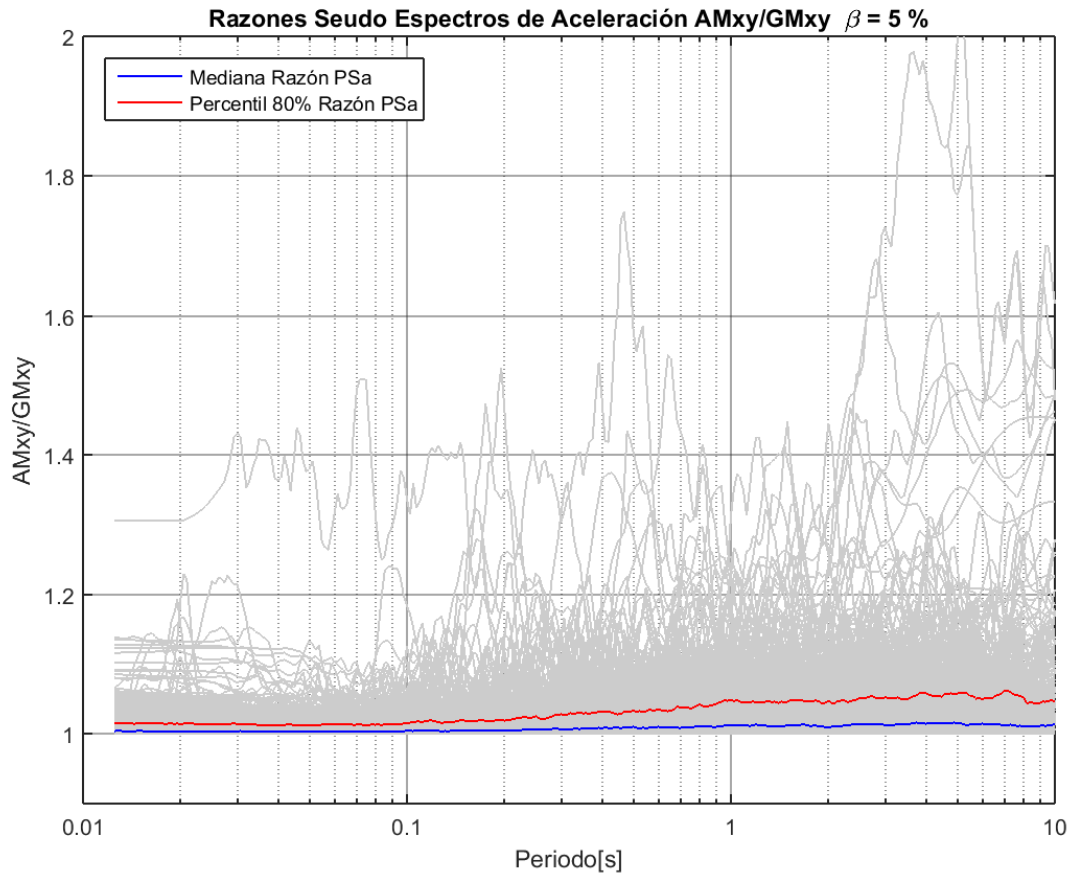


Figura 5.6 Razones de Seudo Espectros de Aceleración AM_{xy}/GM_{xy} .

Para la razón AM_{xy}/GM_{xy} se observa que hasta periodos de 0.1 s la mediana y el 80 percentil de la razón, son bastantes cercanos y uniformes, es decir, mantienen un valor aproximado, más o menos constante de 1 y 1.02 respectivamente. Entre los 0.1 y 1 s las curvas muestran un comportamiento creciente indicado que la diferencia entre la media aritmética y media geométrica aumenta. Para periodos entre 1 y 10 segundos las curvas vuelven a ser constantes pero la diferencia entre estas se hace mayor alcanzando el valor de 1.05 para el 80 percentil.

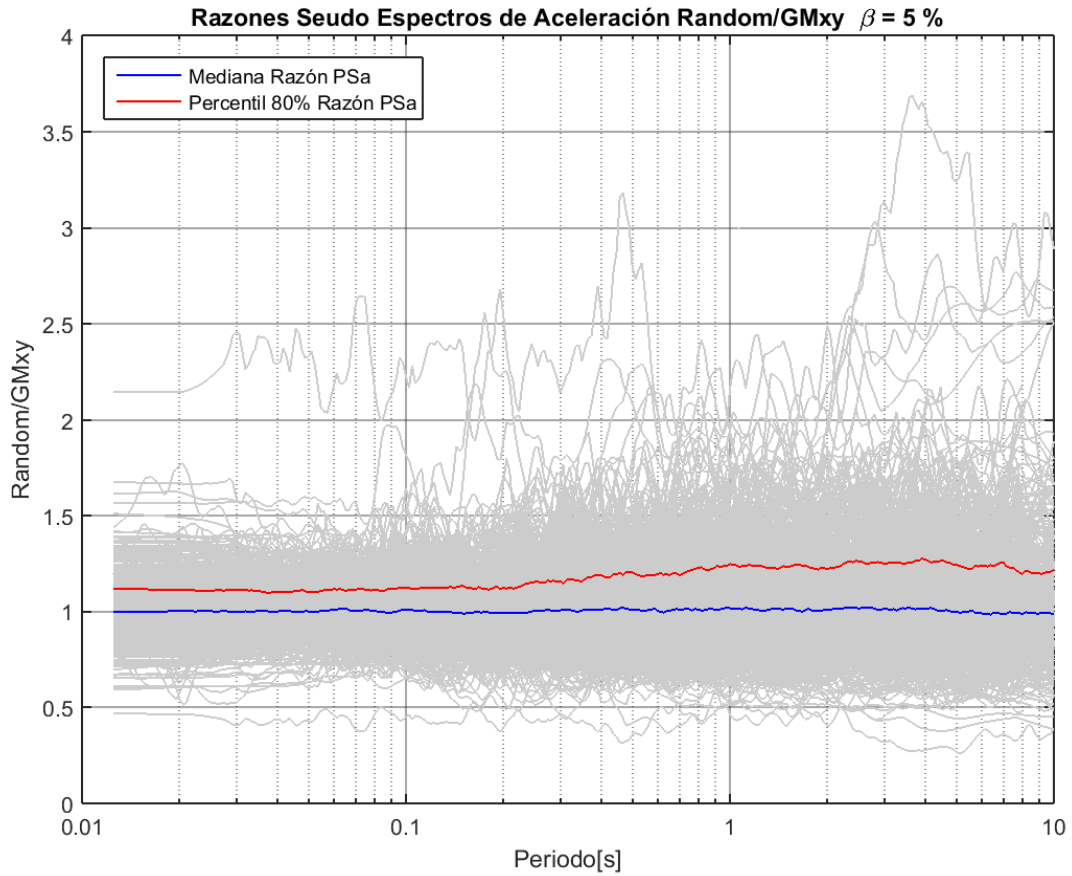


Figura 5.7 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Random/GMxy.

La mediana de Random/GMxy es aproximadamente igual a la unidad en todo el rango de periodos, mientras que el 80 percentil aumenta desde 1.18 para periodos menores a 0.1s a 1.25 para periodos entre 0.8 s y 8 s.

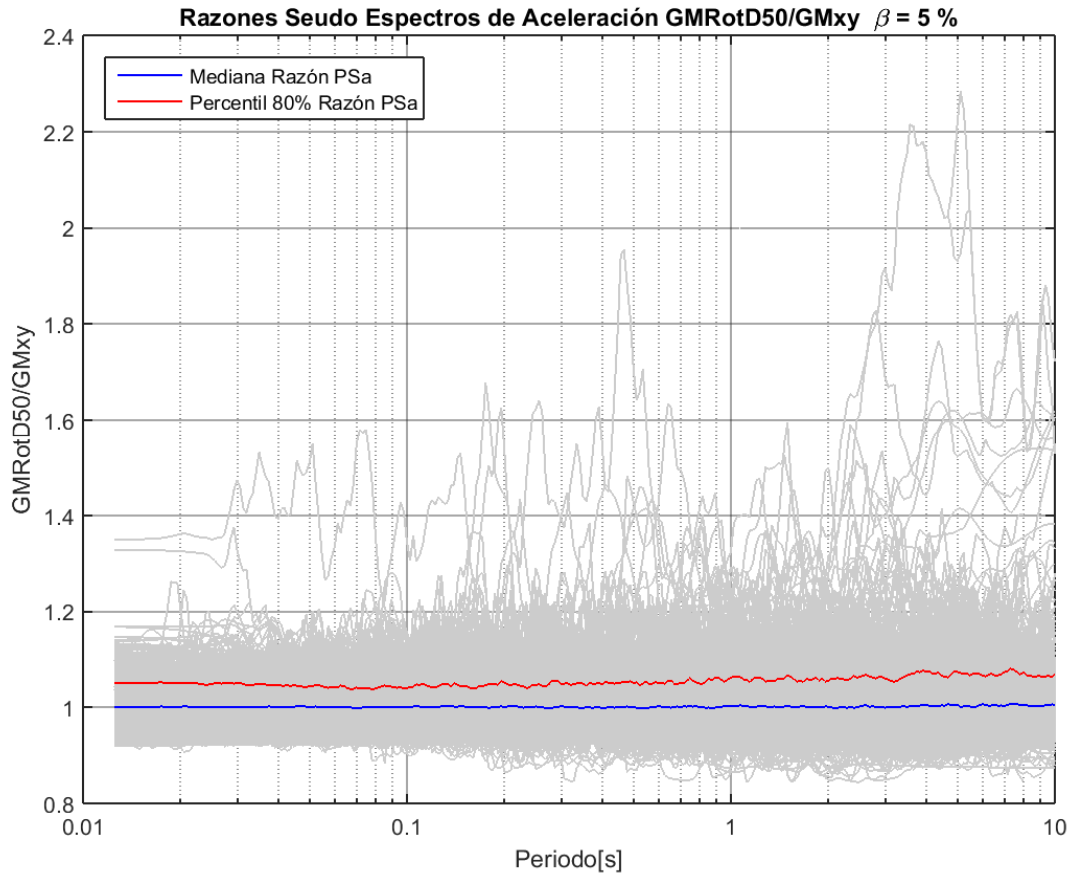


Figura 5.8 Razones de Seudo Espectros de Aceleración GMRotD50/GMxy.

Para GMRotD50/GMxy se puede decir que la mediana es igual a la unidad, mientras que el 80 percentil alcanza un valor aproximado de 1.07, ambas curvas presentan un comportamiento aparentemente uniforme para todo el rango de periodos.

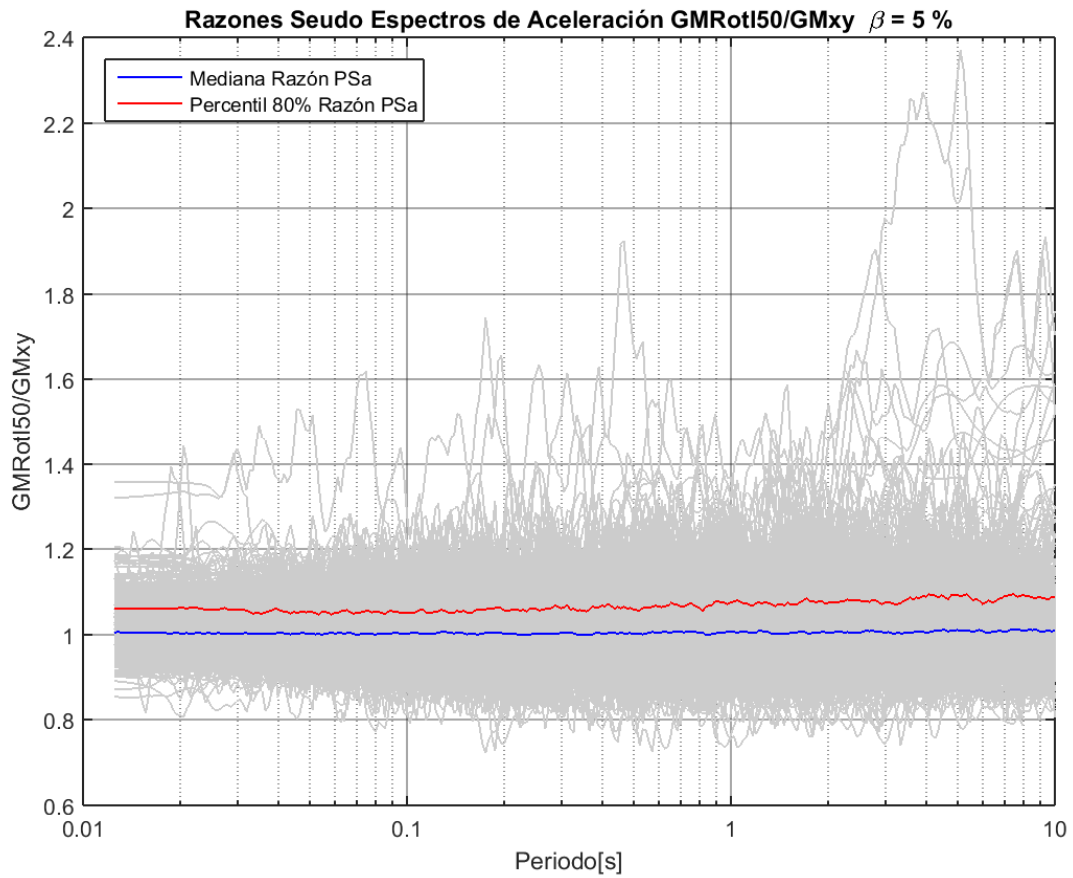


Figura 5.9 Razones de Seudo Espectros de Aceleración GMRotI50/GMxy.

La razón GMRotI50/GMxy presenta la misma tendencia que GMRotD50/GMxy con valores levemente mayores. El 80 percentil alcanza un valor aproximado de 1.08 para periodos sobre 1s.

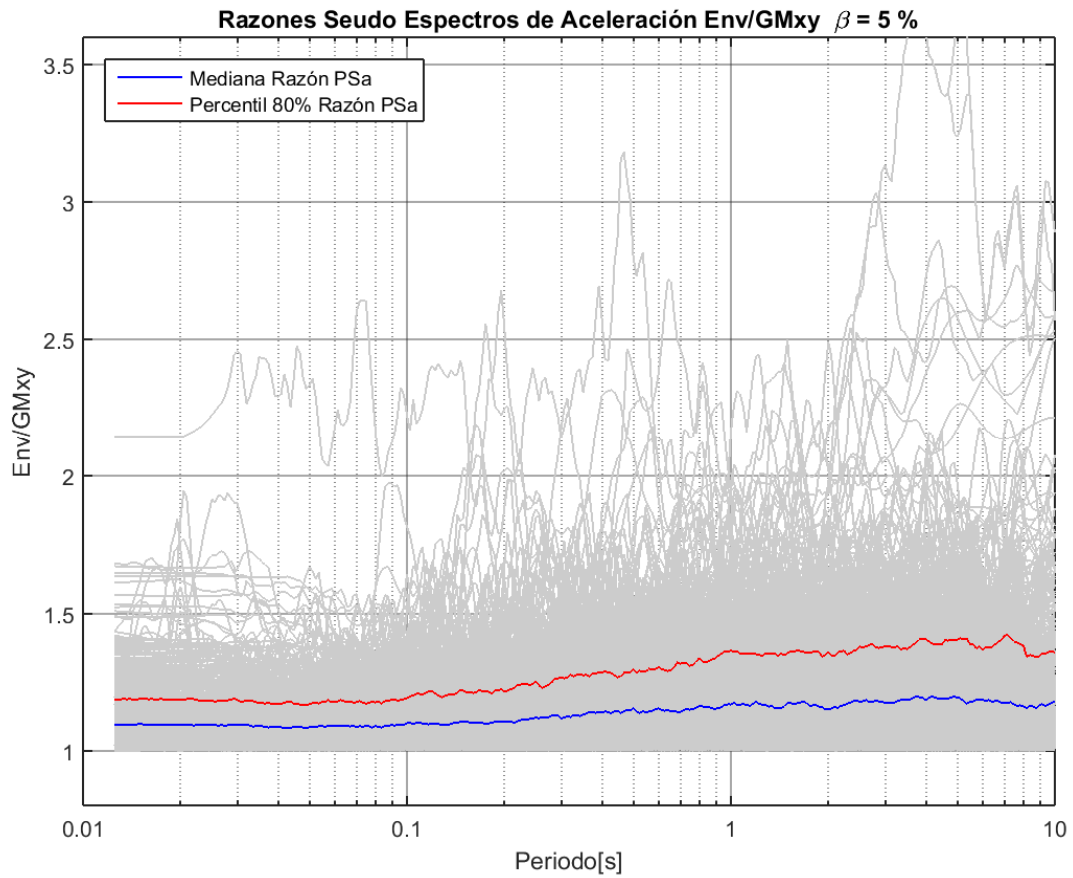


Figura 5.10 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Env/GMxy.

Aquí aparece una importante diferencia entre la mediana y el 80 percentil de 1.09 para la mediana a 1.18 para el 80 percentil en periodos menores 0.1 s, presentando la máxima diferencia entre los 1s y 8 s con 1.17 para la mediana y 1.35 para el 80 percentil. Al igual que AMxy, la Envolvente es siempre mayor que la media geométrica y su razón se hace mayor con el aumento del periodo.

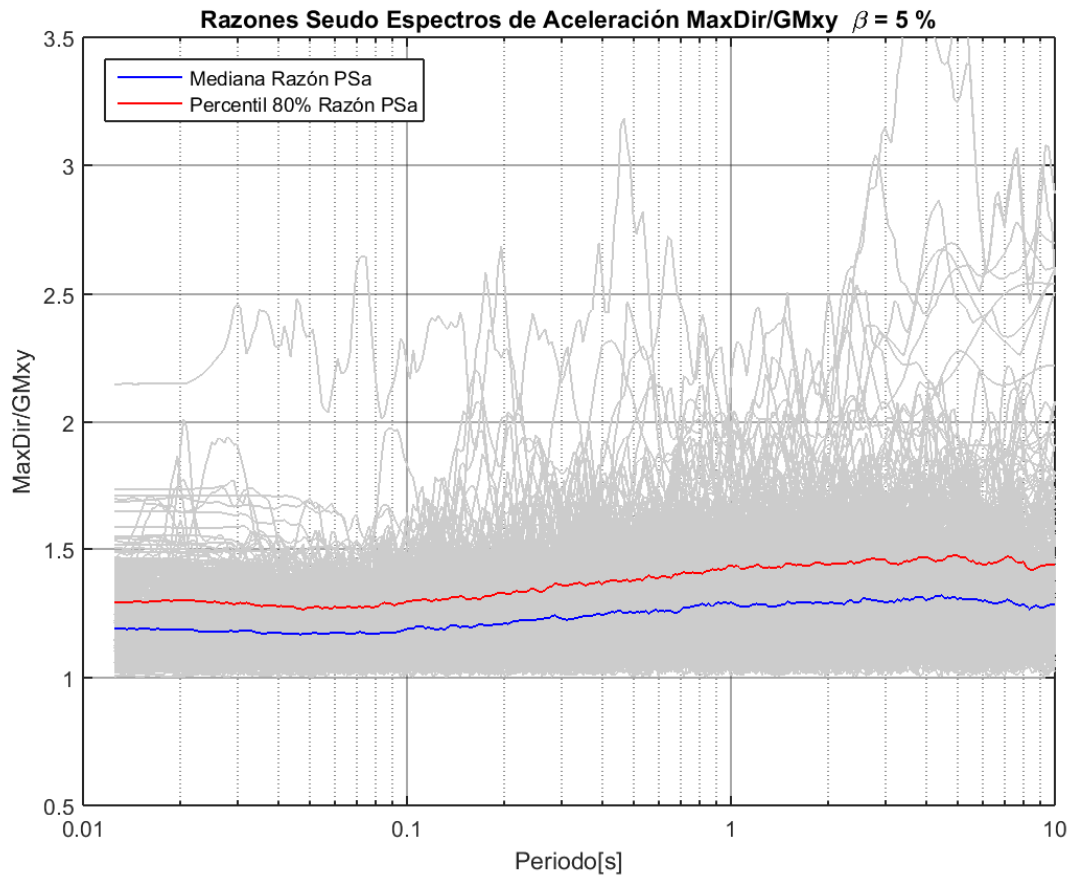


Figura 5.11 Razones de Seudo Espectros de Aceleración MaxDir/GMxy.

Al igual que para la Envolvente la razón MaxDir/GMxy presenta una diferencia importante entre la mediana y el 80 percentil, para periodos menores a 0.1s, la mediana tiene un valor aproximado de 1.18 y el 80 percentil de 1.3, para periodos entre 1s y 8s la mediana aumenta a 1.3 y el 80 percentil a 1.42.

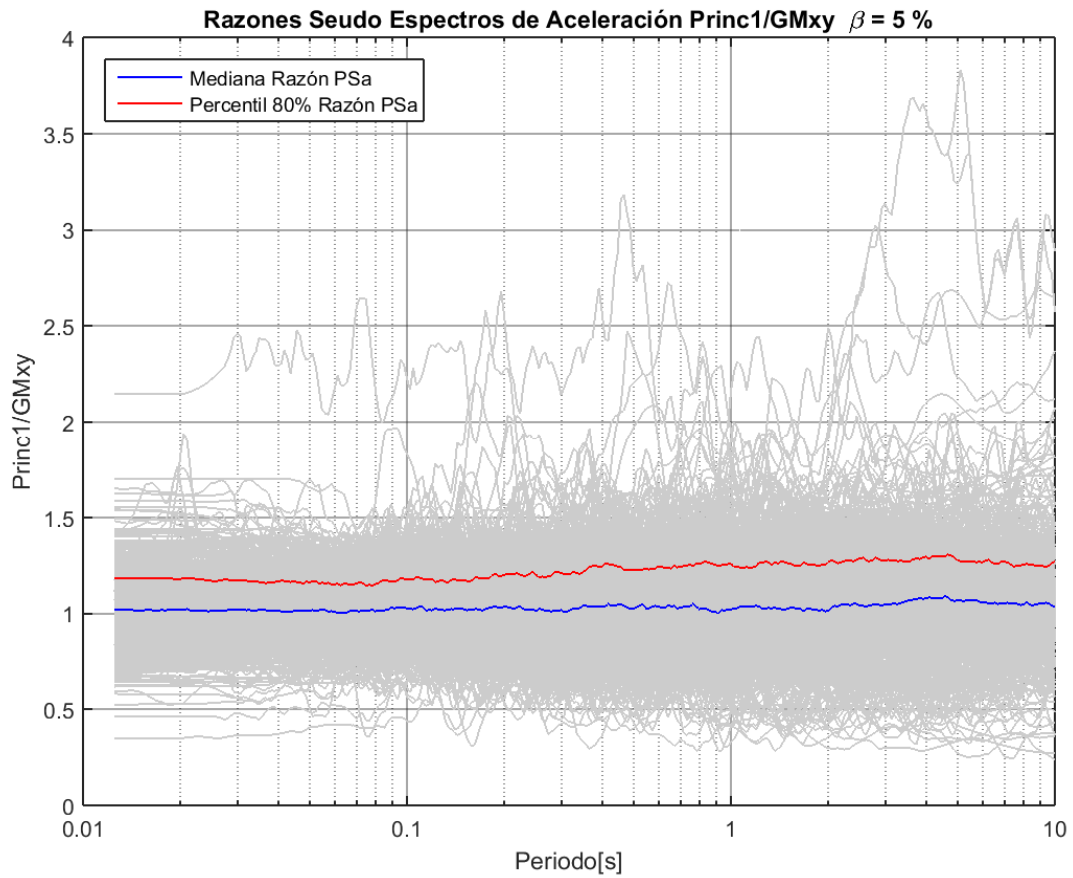


Figura 5.12 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Princ1/GMxy.

La mediana de la razón Princ1/GMxy es levemente mayor que uno y aumenta de 1.015 para periodos menores a 0.08 s a 1.055 para periodos sobre 0.8 s, el 80 percentil presenta el mismo comportamiento tomando valores aproximados de 1.17 a 1.27 para el mismo rango de periodos.

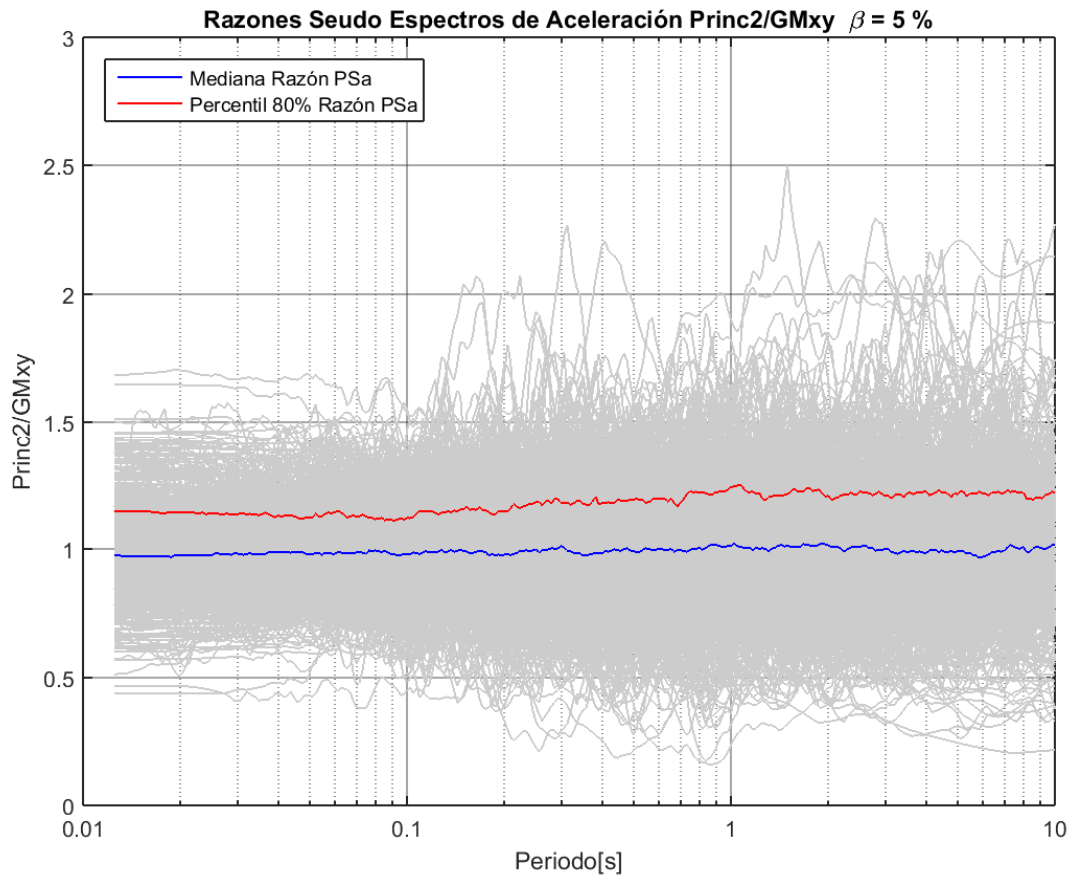


Figura 5.13 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Princ2/GMxy.

La mediana de Princ2/GMxy se comporta más uniforme que Princ1/GMxy tomando valores entre 0.981 y la unidad. El 80 percentil, por otro lado, se presenta creciente con valores desde 1.14 para periodos menores a 0.08 s a 1.2 para periodos sobre 0.8 s.

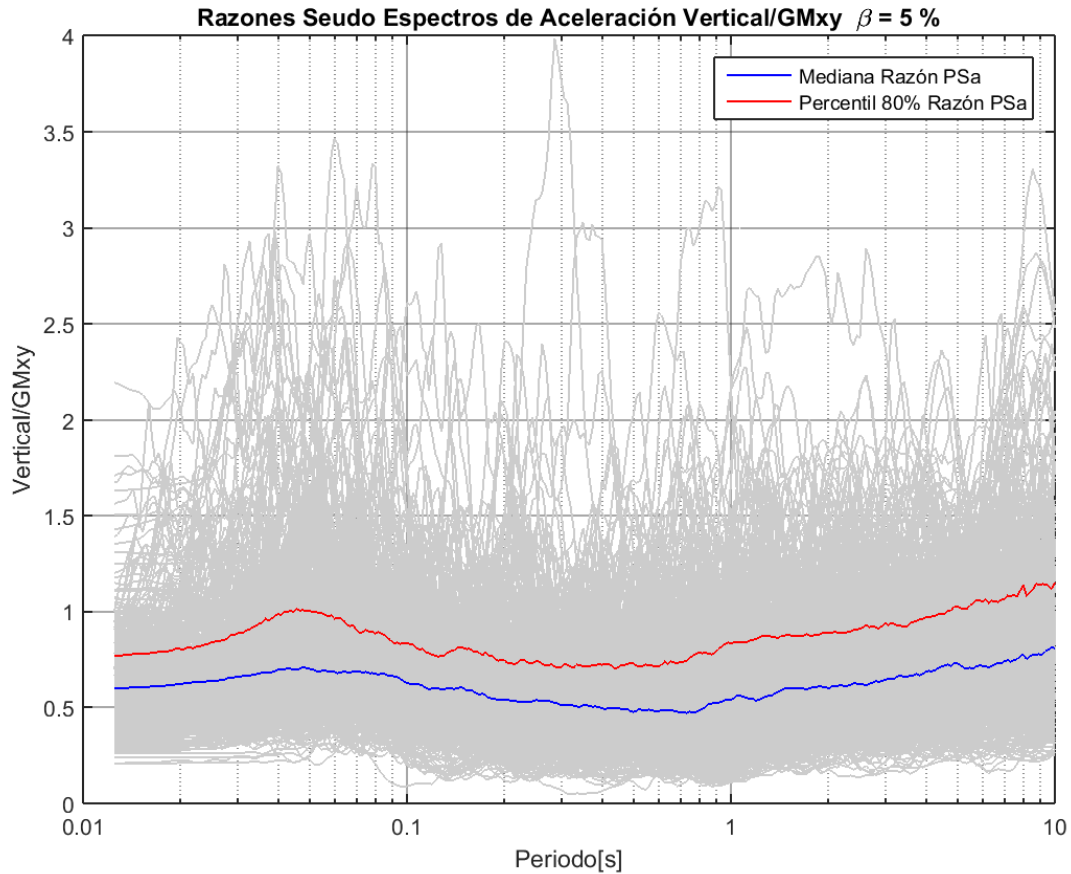


Figura 5.14 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Vertical/GMxy.

La mediana de la razón de la componente vertical y media geométrica de la componente horizontal presenta un comportamiento desigual para diferentes rango de periodos, los puntos importantes a destacar son: un máximo en 0.045 segundos, donde la mediana alcanza el valor aproximado de 0.7 y el 80 percentil llega a 0.9 y un mínimo en 0.8 segundos de 0.5 para la mediana y 0.72 para el 80 percentil. Sobre los 0.8 s la mediana de la razón aumenta hasta llegar a un valor de 0.8 para un periodo de 10 s.

Este comportamiento es muy similar al predicho por Bozorgnia y Campbell 2016 (Ref.10) en su modelo. En cuanto a amplitudes, se asemeja más a lo obtenido para suelos competentes $V_{s30} = 760$ m/s, esto puede deberse a la distribución de estaciones en el territorio nacional. En cuanto a forma es similar hasta periodos de 3 s, para periodos mayores a 3 s el comportamiento es diferente, mientras en este estudio la mediana se presenta creciente hasta los 10 s, en Bozorgnia y Campbell 2016 se observa un descenso, esto puede atribuirse a la definición de la componente horizontal usada para el cálculo de la razón V/H, la media geométrica en este estudio versus RotD50 en Bozorgnia y Campbell 2016 (Ref.10).

6. RESULTADOS

6.1 Regresión y Obtención de Curvas de Conversión para las Diferentes Definiciones.

Se realiza regresión lineal para obtener las curvas de conversión para las diferentes definiciones de la componente horizontal del movimiento y para la componente vertical. Las siguientes figuras corresponden a las regresiones realizadas para las medianas de las razones con un 5% de amortiguamiento, las figuras obtenidas para amortiguamientos de 2% y 10% se encuentran disponibles en Anexo A.

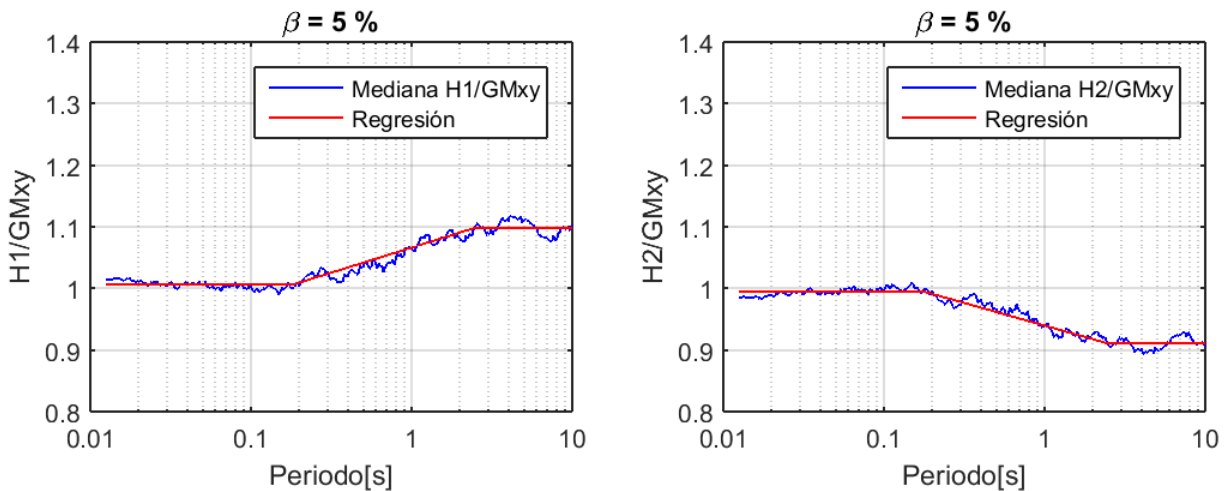


Figura 6.1 Regresión de Mediana de razones de Seudo Espectros Horizontales 1 y 2 . $\beta = 5\%$

En la Tabla 6.1 se presentan las constantes de regresión para las razones $H1/GM_{xy}$ y $H2/GM_{xy}$, para amortiguamientos de 2%, 5% y 10%, obtenidas para las siguientes ecuaciones:

$$\left(\frac{Sa_i(T_j)}{Sa_{GM}(T_j)} \right)_{mediana} = \begin{cases} C1 & T_j \leq 0.18 \text{ seg} \\ C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.18)}{\log(2.5/0.18)} & 0.18 \text{ seg} < T_j < 2.5 \text{ seg} \\ C2 & 2.5 \leq T_j \leq 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Tabla 6.1 Constantes de Regresión

Razón	β [%]	C1	C2
$\frac{H1}{GM_{xy}}$	2	1.004	1.092
	5	1.006	1.099
	10	1.008	1.101
$\frac{H2}{GM_{xy}}$	2	0.996	0.916
	5	0.994	0.910
	10	0.992	0.908

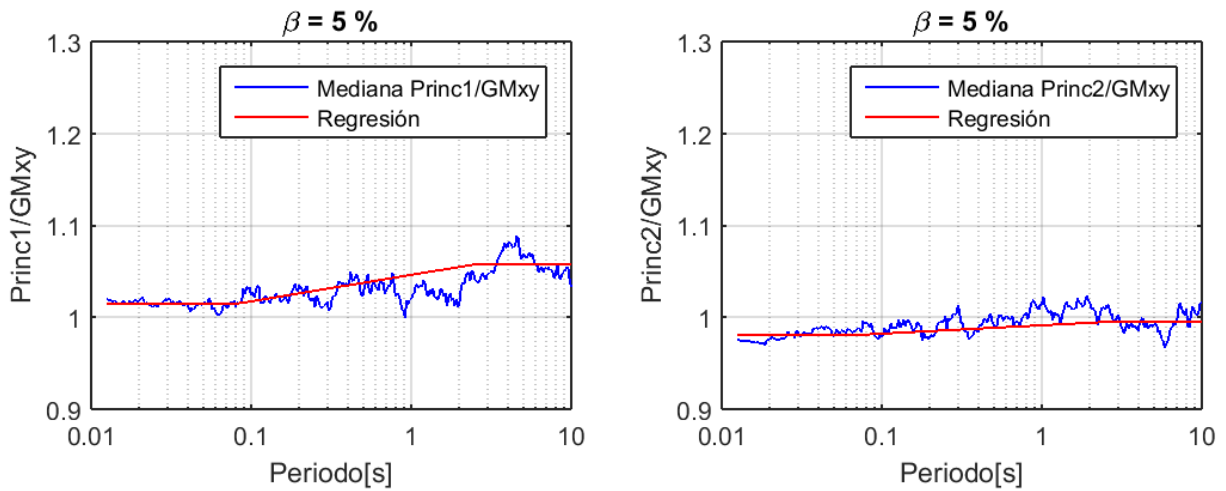


Figura 6.2 Regresión de Mediana de razones de Seudo Espectros Principal 1 y 2 . $\beta=5\%$

En la Tabla 6.2 se presentan las constantes de regresión para las razones $\text{Princ1}/GM_{xy}$ y $\text{Princ2}/GM_{xy}$, para amortiguamientos de 2%, 5% y 10%, obtenidas para las siguientes ecuaciones:

$$\left(\frac{Sa_i(T_j)}{Sa_{GM}(T_j)} \right)_{\text{mediana}} = \begin{cases} C1 & T_j \leq 0.08 \text{ seg} \\ C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.08)}{\log(2.5/0.08)} & 0.08 \text{ seg} < T_j < 2.5 \text{ seg} \\ C2 & 2.5 \leq T_j \leq 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Tabla 6.2 Constantes de Regresión

Razón	β [%]	C1	C2
Princ 1 GM_{xy}	2	1.015	1.057
	5	1.015	1.058
	10	1.016	1.054
Princ 2 GM_{xy}	2	0.986	1.001
	5	0.981	0.995
	10	0.977	0.990

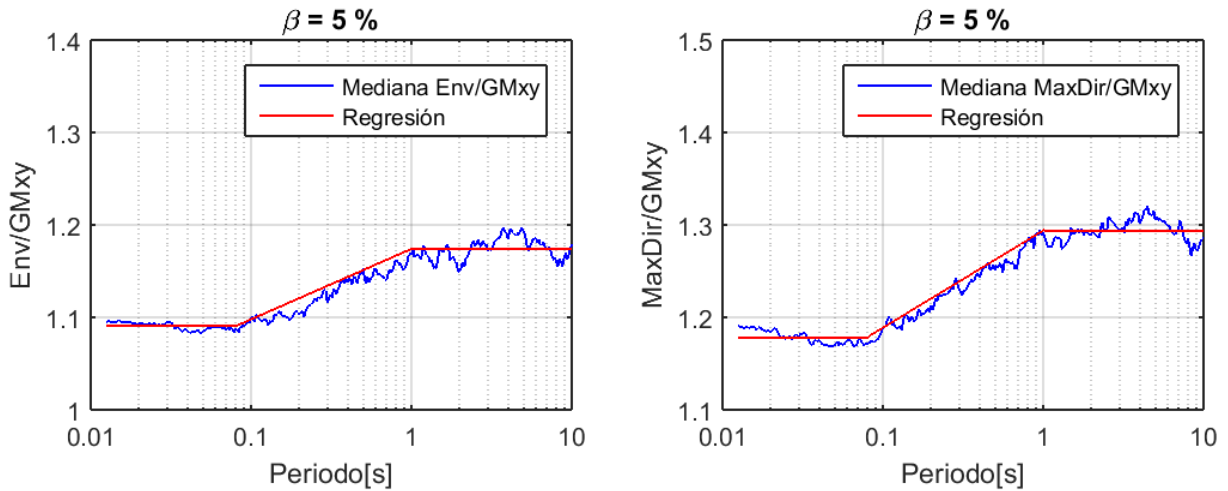


Figura 6.3 Regresión de Mediana de razones de Seudo Espectros Envoltente y Máxima Dirección. $\beta=5\%$

En la Tabla 6.3 se presentan las constantes de regresión para las razones $MaxDir/GM_{xy}$ y Env/GM_{xy} , para amortiguamientos de 2%, 5% y 10%, obtenidas para las siguientes ecuaciones:

$$\left(\frac{Sa_i(T_j)}{Sa_{GM}(T_j)} \right)_{mediana} = \begin{cases} C1 & T_j \leq 0.08 \text{ seg} \\ C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.08)}{\log(1/0.08)} & 0.08 \text{ seg} < T_j < 1 \text{ seg} \\ C2 & 1 \leq T_j \leq 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Tabla 6.3 Constantes de Regresión

Razón	β [%]	C1	C2
$\frac{Max Dir}{GM_{xy}}$	2	1.180	1.300
	5	1.179	1.294
	10	1.180	1.289
$\frac{Env}{GM_{xy}}$	2	1.091	1.179
	5	1.090	1.174
	10	1.091	1.169

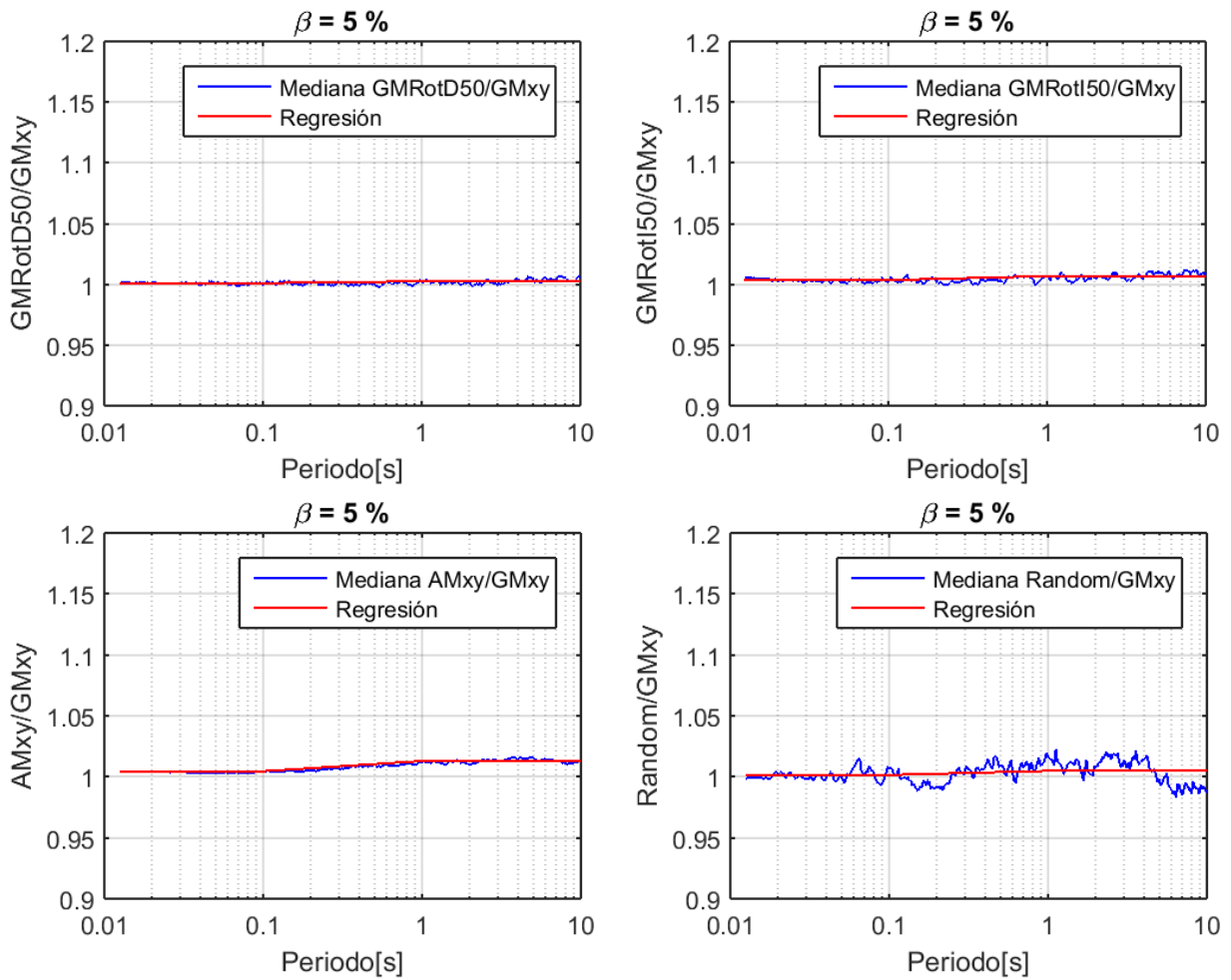


Figura 6.4 Regresión de Mediana de razones de Seudo Espectros GMRotD50, GMRotI50, AMxy y Random. $\beta=5\%$

En la Tabla 6.4 se presentan las constantes de regresión para las razones $GMRotD50/GM_{xy}$, $GMRotI50/GM_{xy}$, $AMxy/GM_{xy}$ y $Random/GM_{xy}$, para amortiguamientos de 2%, 5% y 10%, obtenidas para las siguientes ecuaciones:

$$\left(\frac{Sa_i(T_j)}{Sa_{GM}(T_j)} \right)_{mediana} = \begin{cases} C1 & T_j \leq 0.08 \text{ seg} \\ C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.08)}{\log(1/0.08)} & 0.08 \text{ seg} < T_j < 1 \text{ seg} \\ C2 & 1 \leq T_j \leq 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Tabla 6.4 Constantes de Regresión

Razón	β [%]	C1	C2	Razón	β [%]	C1	C2
GMRotD50 GM_{xy}	2	1.001	1.002	AMxy GM_{xy}	2	1.004	1.014
	5	1.001	1.003		5	1.004	1.013
	10	1.001	1.002		10	1.004	1.012
GMRotI50 GM_{xy}	2	1.003	1.007	Random GM_{xy}	2	1.001	1.006
	5	1.003	1.007		5	1.001	1.005
	10	1.004	1.007		10	1.000	1.004

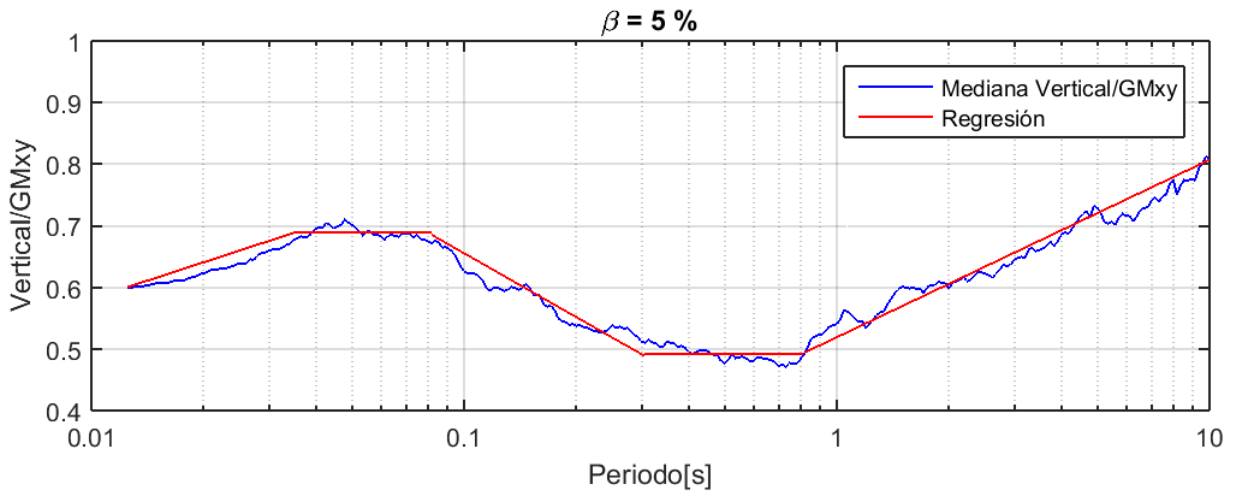


Figura 6.5 Regresión de Mediana de razones de Seudo Espectros Vertical. $\beta=5\%$

En la Tabla 6.5 se presentan las constantes de regresión para la razón Vertical/ GM_{xy} , para amortiguamientos de 2%, 5% y 10%, obtenidas para las siguientes ecuaciones:

$$\left(\frac{Sa_i(T_j)}{Sa_{GM}(T_j)} \right)_{mediana} = \begin{cases} C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.012)}{\log(0.035/0.012)} & T_j \leq 0.035 \text{ seg} \\ C2 & 0.035 \text{ seg} \leq T_j \leq 0.08 \text{ seg} \\ C2 + (C3 - C2) \cdot \frac{\log(T_j/0.08)}{\log(0.3/0.08)} & 0.08 \text{ seg} < T_j < 0.3 \text{ seg} \\ C3 & 0.3 \text{ seg} \leq T_j \leq 0.8 \text{ seg} \\ C3 + (C4 - C3) \cdot \frac{\log(T_j/0.8)}{\log(10/0.8)} & 0.8 \text{ seg} < T_j < 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Tabla 6.5 Constantes de Regresión

Razón	β [%]	C1	C2	C3	C4
Vertical <i>GM_{xy}</i>	2	0.600	0.752	0.502	0.823
	5	0.600	0.689	0.491	0.807
	10	0.599	0.648	0.486	0.785

6.1.1 Comparación de los Resultados de Factores de Conversión con los obtenidos por K.Beyer y J.J.Bommer

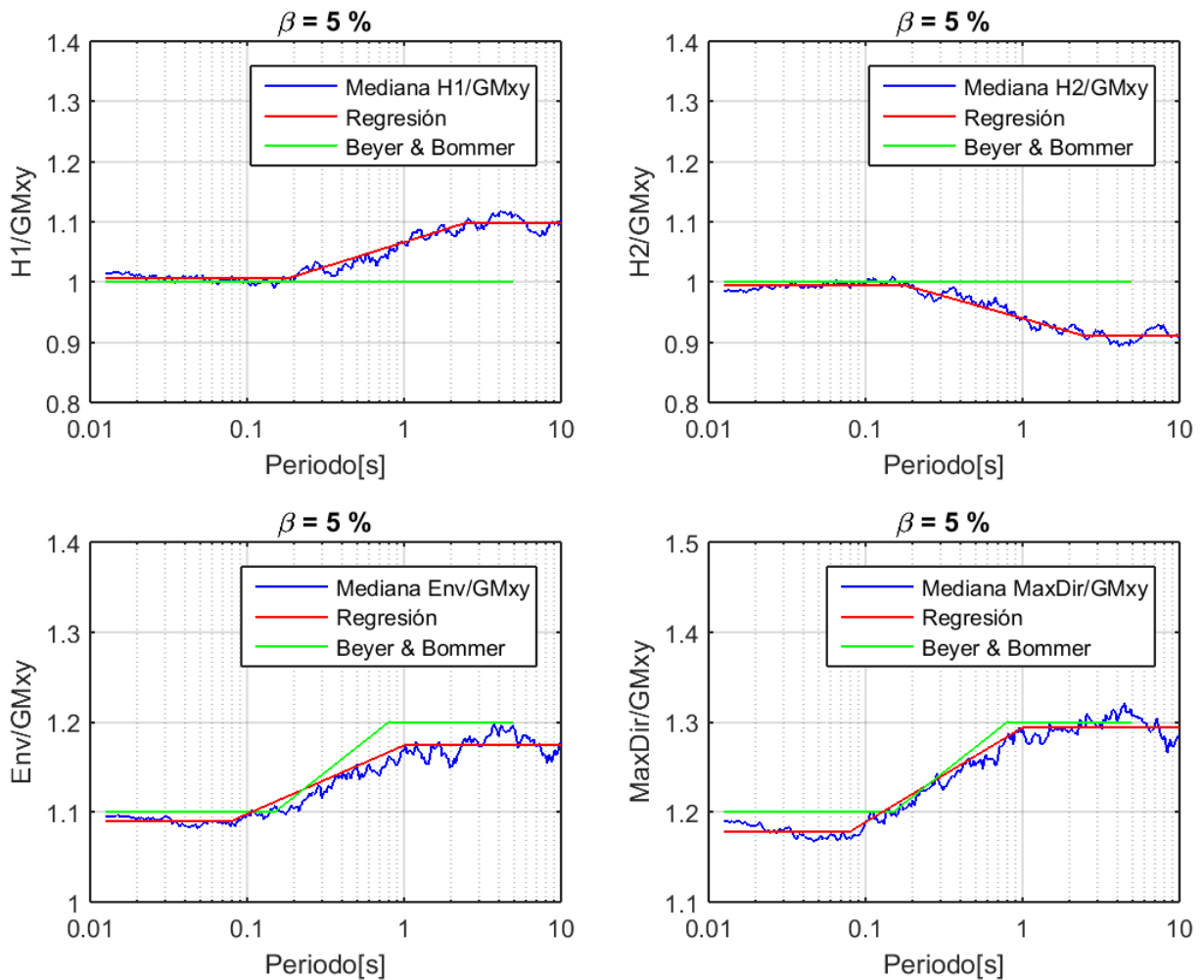


Figura 6.6 Comparación de resultados. $\beta=5\%$

Para la mediana de las razones de las componentes horizontales H1 y H2 con la media geométrica GMxy Beyer y Bommer (Ref.1), presentan un valor constante igual a la unidad, como se observa en los gráficos de la Figura 6.6, el resultado obtenido para registros sísmicos en Chile es completamente diferente para periodos mayores a 0.18 s.

En el caso de la mediana de la razón para la envolvente y la máxima dirección, los resultados obtenidos por Beyer y Bommer (Ref.1), son en general mayores a los obtenidos en este estudio, aunque la forma es muy similar.

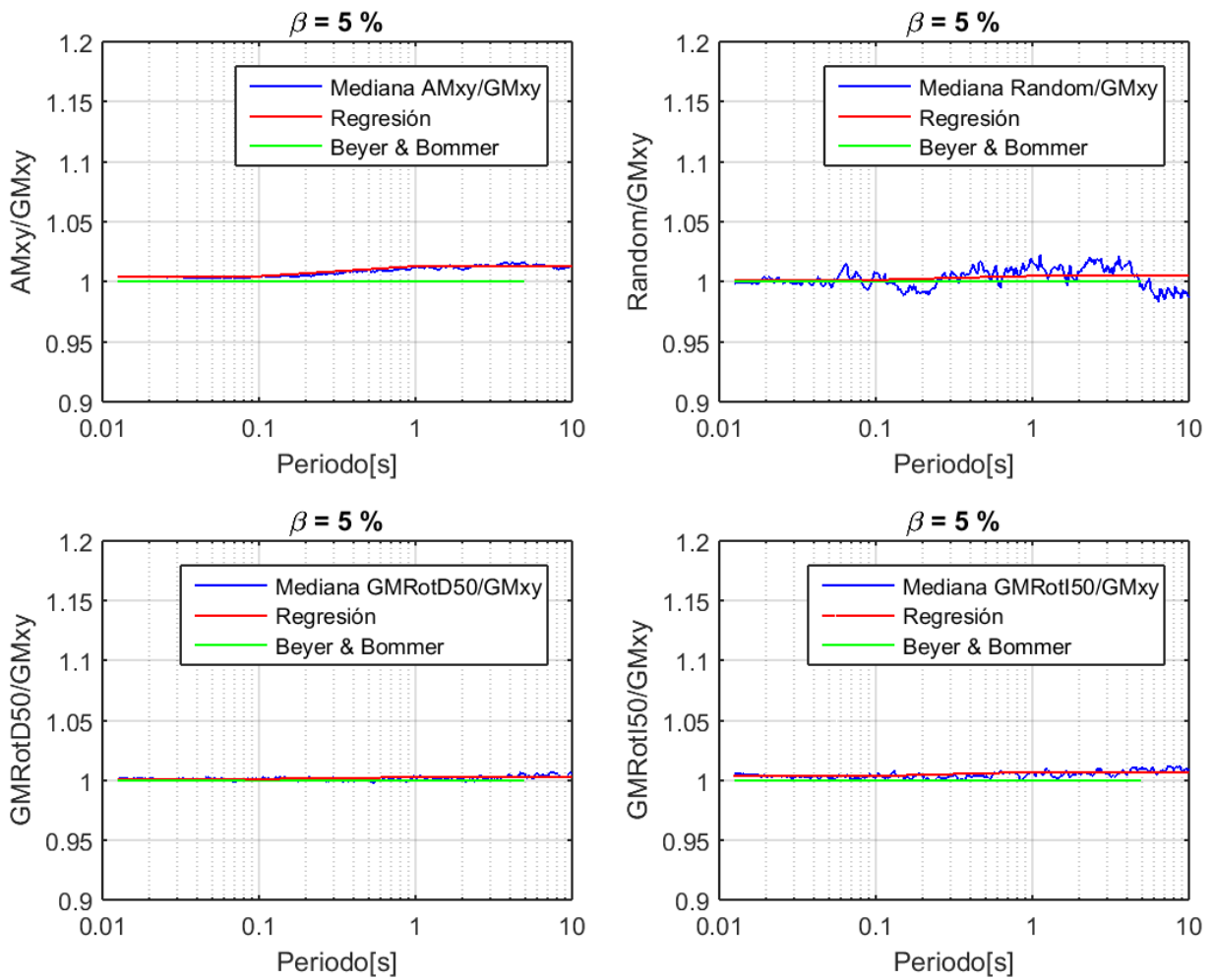


Figura 6.7 Comparación de resultados. $\beta=5\%$

Los valores para la mediana de la razón AMxy/GMxy obtenidos en este es trabajo son levemente mayores a los obtenidos por Beyer y Bommer(Ref.1) para periodos mayores a 0.1 s.

En el caso de Random, GMRotD50 y GMRotI50 la curva se presenta por sobre de la obtenida por Beyer y Bommer(Ref.1),pero muy cercana a la unidad.

6.1.2 Variación de la Mediana de la Razón con el Amortiguamiento.

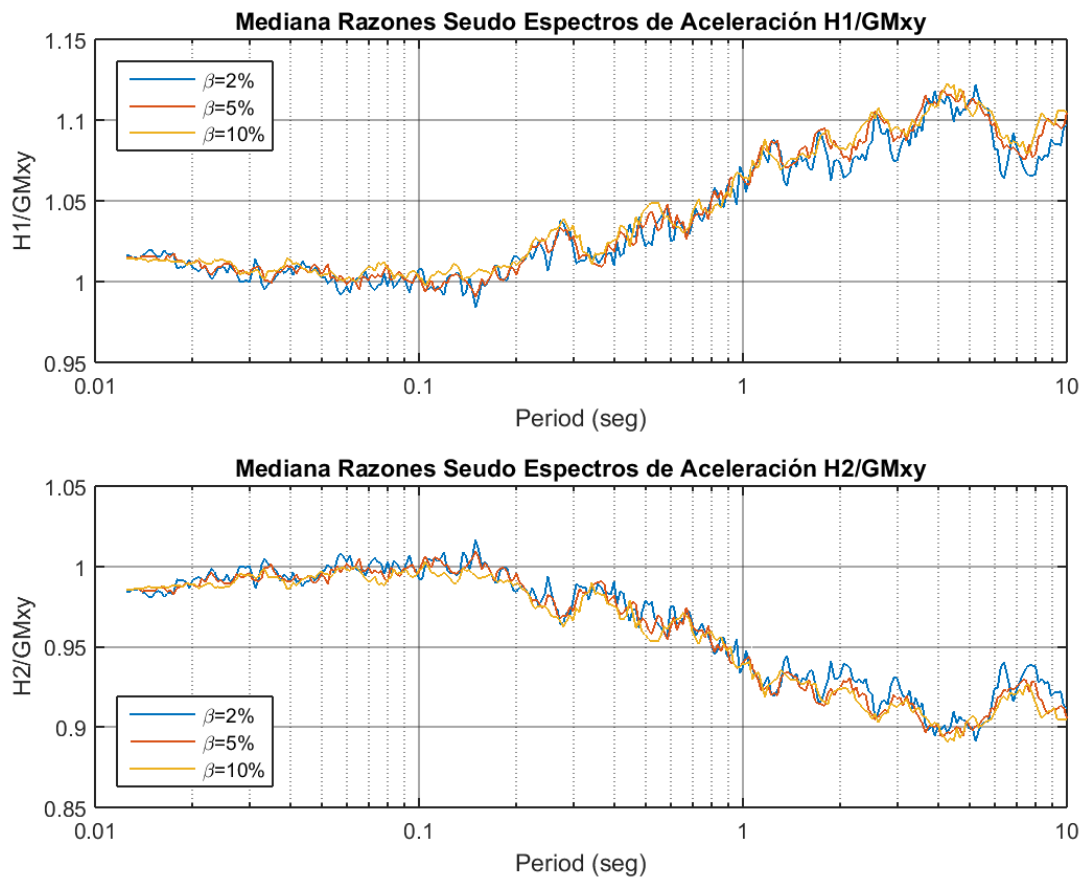


Figura 6.8 Variación de la Mediana Razón de Seudo Espectros de Aceleración Horizontal 1 y 2 con el amortiguamiento

La mediana de la razón de las componentes horizontales y la media geométrica no presenta variación con el amortiguamiento.

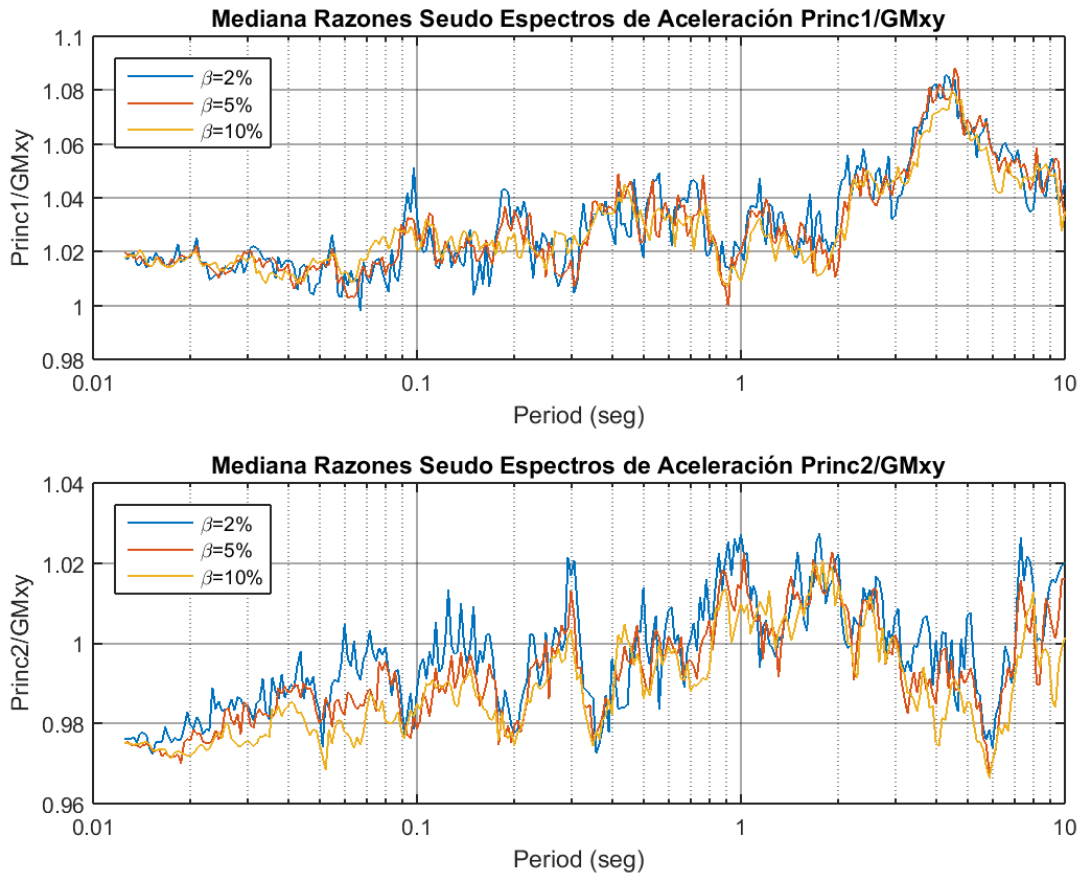


Figura 6.9 Variación de la Mediana Razón de Seudo Espectros de Aceleración Principal 1 y2 con el amortiguamiento

La mediana de las razones de la componente Principal 1 no presenta variación con el amortiguamiento.

La mediana de las razones de la componente Principal 2 parece presentar un leve ordenamiento descendente con el aumento del amortiguamiento, pero no es posible afirmarlo con exactitud.

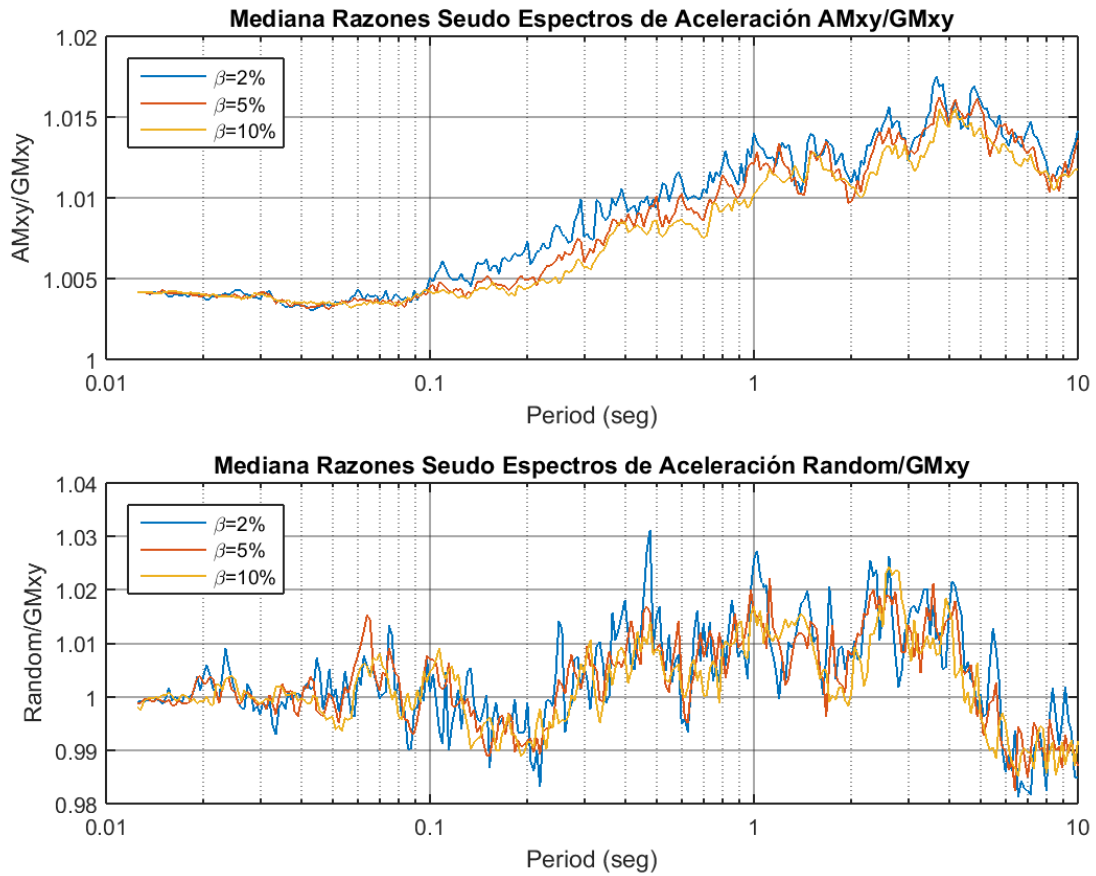


Figura 6.10 Variación de la Mediana Razón de Seudo Espectros de Aceleración AMxy y Random con el amortiguamiento

Para la media aritmética la mediana de la razón no presenta variación para periodos menores a 0.1 s. Para periodos mayores, la mediana de las razones con un 2% de amortiguamiento es siempre mayor que para el 5% y este a su vez es siempre mayor que para el 10% de amortiguamiento.

La razón Random/ GM_{xy} no presenta variación evidente con el amortiguamiento.

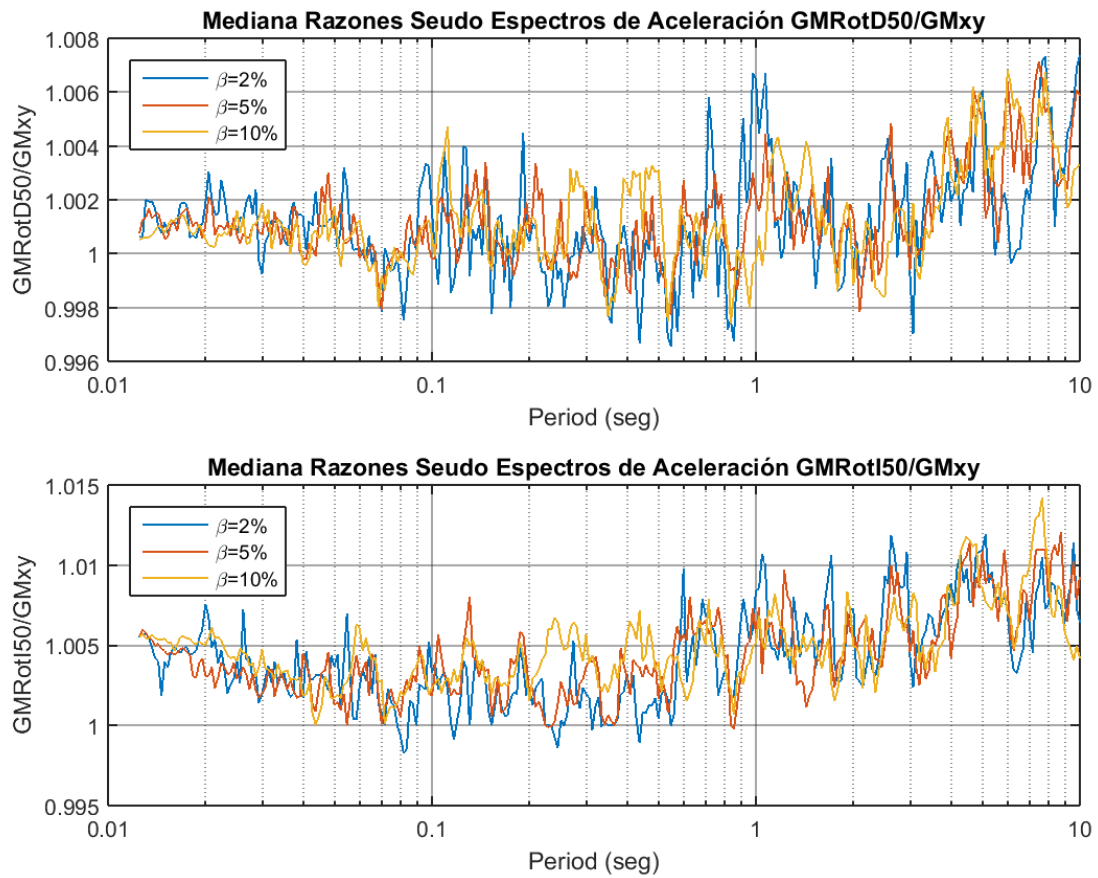


Figura 6.11 Variación de la Mediana Razón de Seudo Espectros de Aceleración GMRotD50 y GMRotI50 con el amortiguamiento

La medianas de la razones para GMRotD50 y GMRotI50 no presentan variación con el amortiguamiento

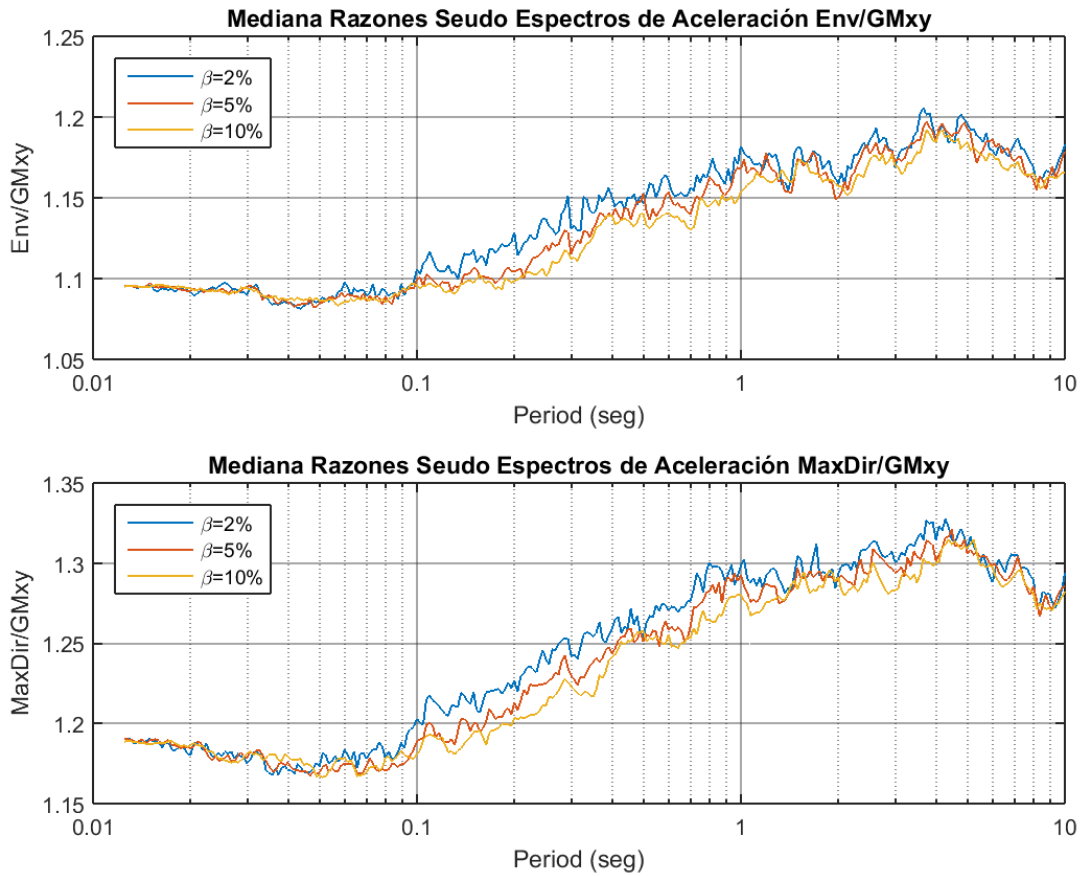


Figura 6.12 Variación de la Mediana Razón de Seudo Espectros de Aceleración Envoltente y Máxima Dirección con el amortiguamiento

En el caso de la Envoltente y la Máxima Dirección la mediana de la razón no presenta variación con el amortiguamiento para periodos menores a 0.06 s. Para periodos mayores la mediana es siempre mayor para amortiguamientos menores.

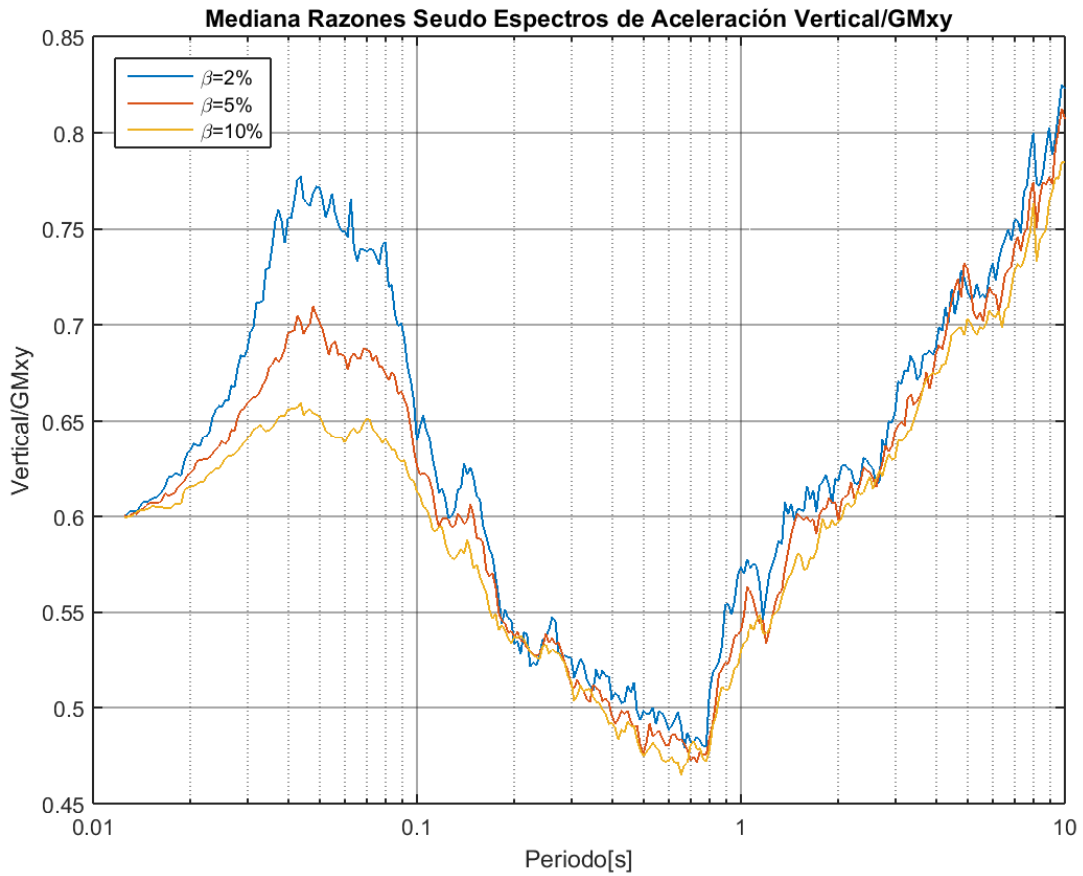


Figura 6.13 Variación de la Mediana Razón de Seudo Espectros de Aceleración Vertical con el amortiguamiento.

Para la Vertical la variación con el amortiguamiento es evidente, en general la mediana para amortiguamiento 2% es mayor que para el 5% y este último es mayor que para el 10%, la diferencia entre las medianas es máxima entre los periodos 0.04 s y 0.08 s, luego esta diferencia se reduce hasta ser mínima a los 0.8 s y se mantiene así hasta los 10s

6.1.3 Variación de la Mediana de la Razón con el Tipo de Suelo.

Las figuras presentadas a continuación corresponde a las medianas de las razones calculadas para un amortiguamiento de 5%, las graficas para amortiguamientos de 2% y 10% están disponibles en Anexo A.

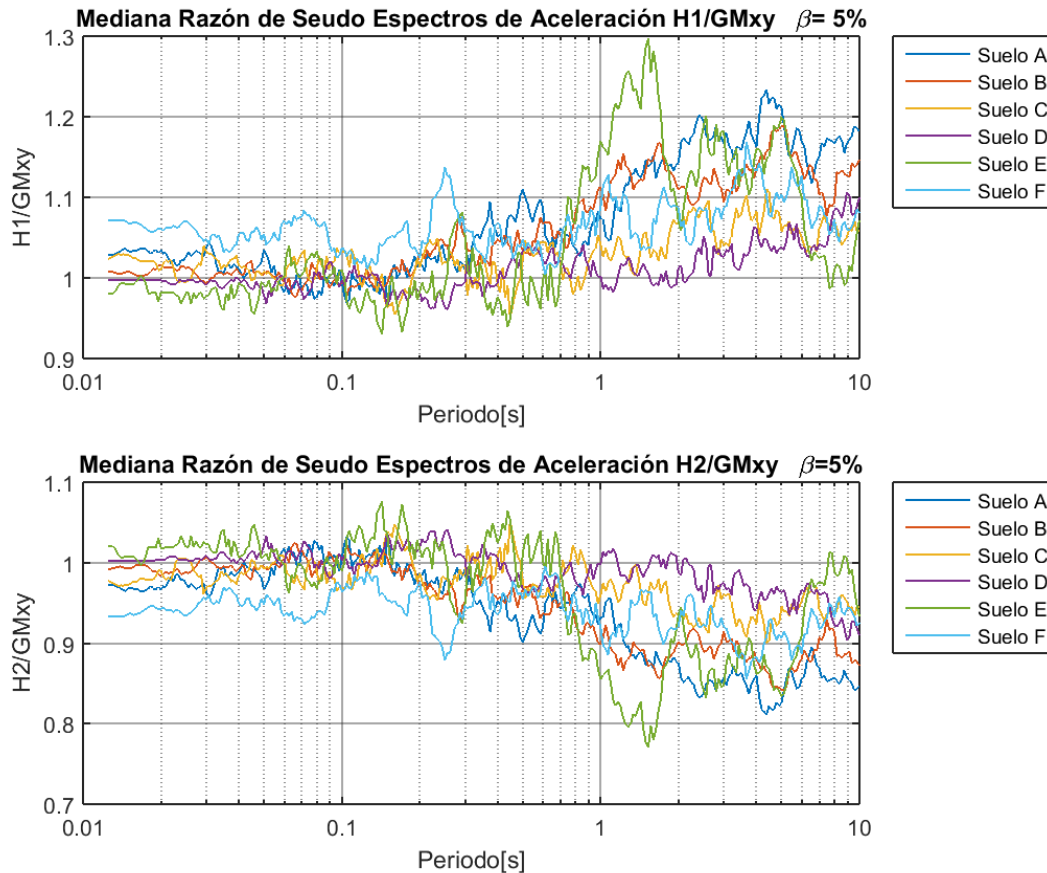


Figura 6.14 Variación de la mediana en función del tipo de suelo para componentes horizontales 1 y 2. $\beta=5\%$

Las medianas de la razón de las componentes horizontales y la media geométrica varía con el tipo de suelo, en general, se observa que el suelo tipo D tiene la mediana más uniforme y cercana a la unidad, le sigue el suelo tipo C, B y A, es decir, las componentes horizontales por separado se parecen más a la media geométrica mientras peor es la calidad del suelo. Desde el periodo 0.5 s en adelante H1 se hace mayor y H2 menor conservando el comportamiento con la calidad del suelo, con H1 mayor que la media geométrica y H2 menor.

Para periodos menores a 0.3 s, el suelo tipo F, presenta la menor mediana en H2/GMxy y la mayor en H1/GMxy.

Por otro lado para suelos tipo E, en periodos de 1.6 s, se observa un máximo en H1 y un mínimo en H2.

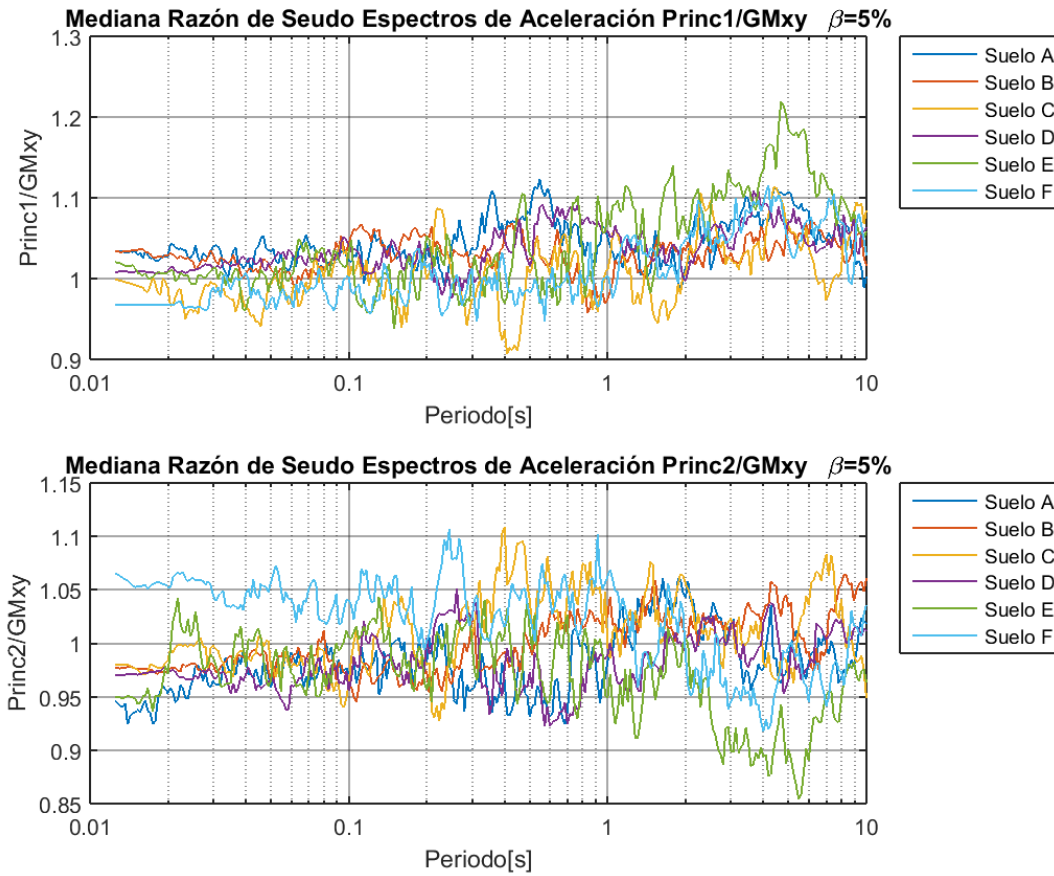


Figura 6.15 Variación de la mediana en función del tipo de suelo para componentes principal 1 y 2 . $\beta=5\%$,

En torno a los 5 s, la mediana de las razones de la componente principal 1 es mayor para suelos tipo E, mientras que la mediana de la componente principal 2 es mínima para este mismo periodo.

Además, para periodos menores a 0.2 s, el suelo tipo F presenta la máxima mediana de la razón Princ2/GMxy.

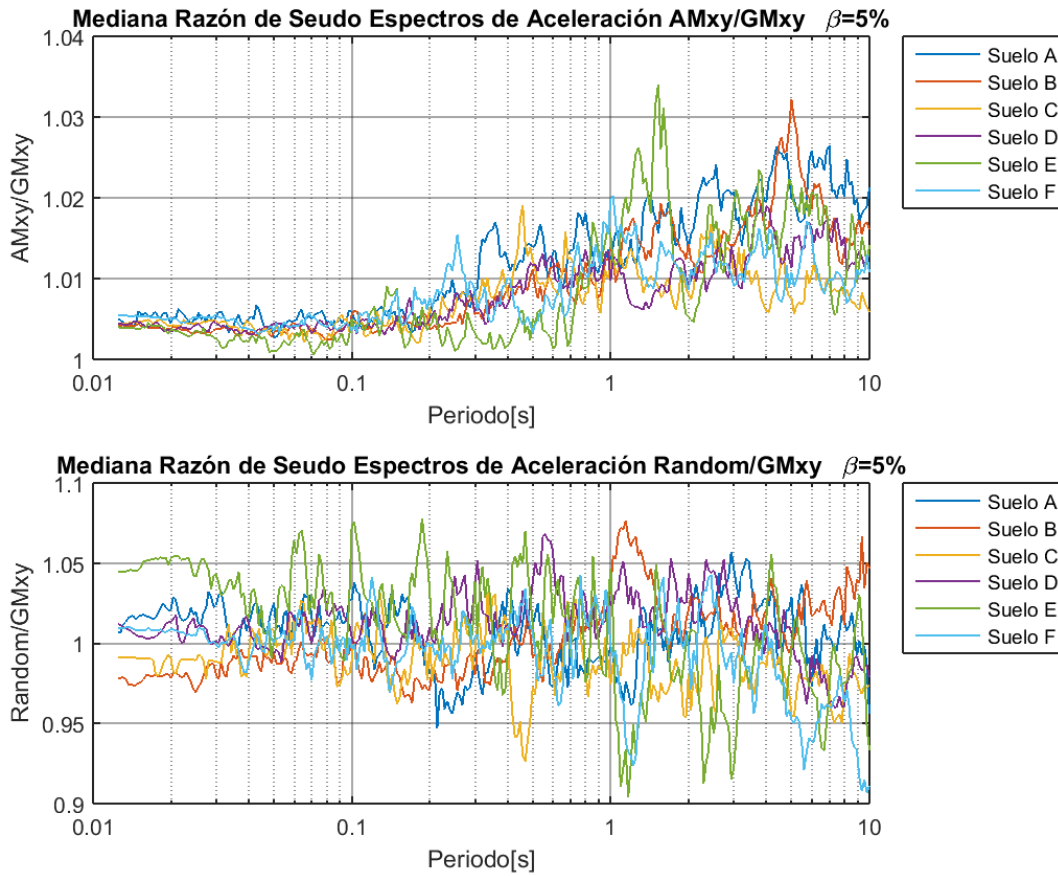


Figura 6.16 Variación de la mediana en función del tipo de suelo para AMxy y Random. $\beta=5\%$

Para la media aritmética se observa que en suelos tipo A y F la mediana es en general mayor para periodos menores a 0.4 s. Para suelos tipo E se observa un máximo en torno a 1.6 s.

Para Random no se observa un comportamiento claro.

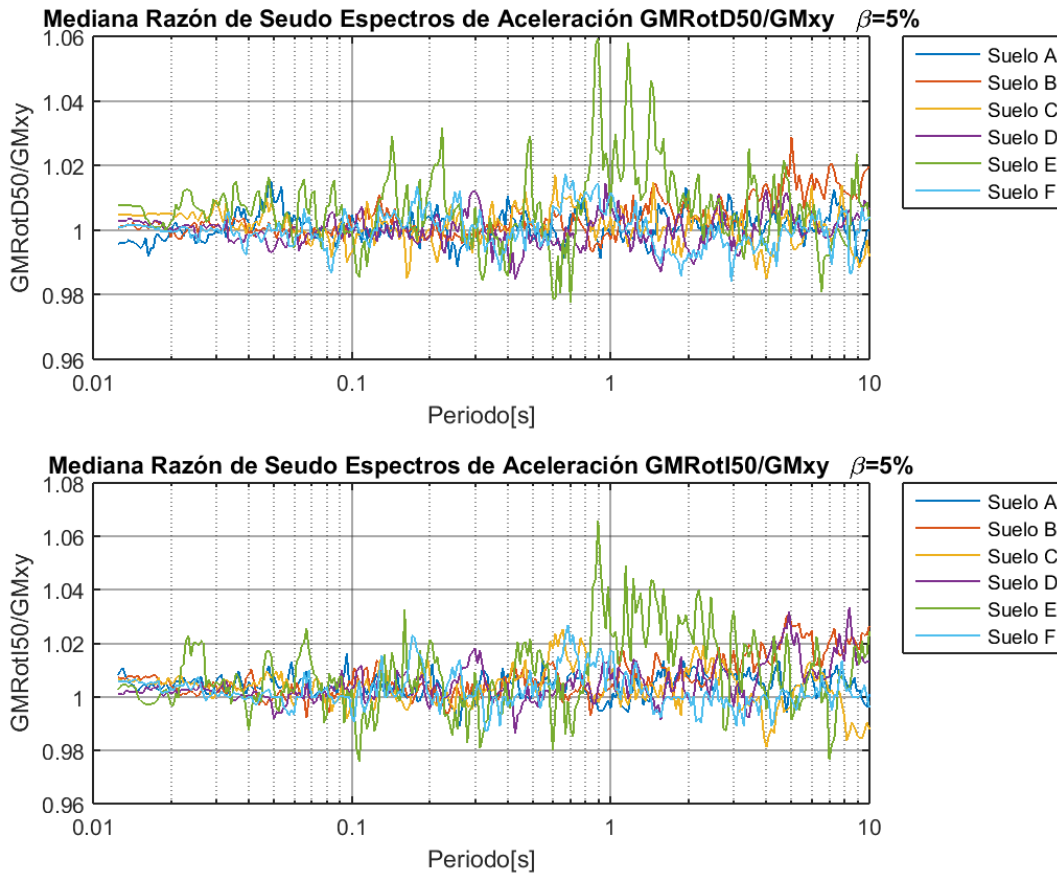


Figura 6.17 Variación de la mediana en función del tipo de suelo para GMRotD50 y GMRotI50. $\beta=5\%$

Para las medianas de la razones para GMRotD50 y GMRotI50 se observa que para suelos tipo E la media presenta una gran variación en torno a 1 de un periodo a otro, destacando el intervalo 0.8 a 2 s donde la mediana es máxima para este tipo de suelo.

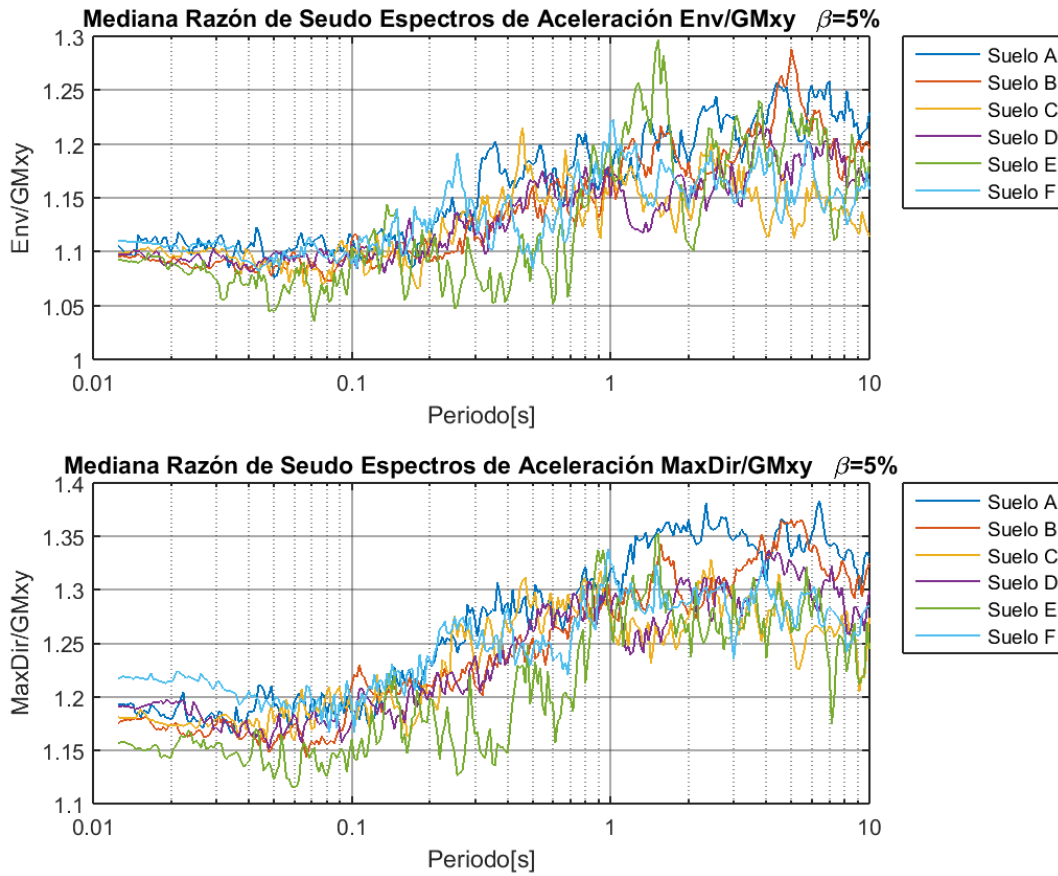


Figura 6.18 Variación de la mediana en función del tipo de suelo para envolvente y máxima dirección. $\beta=5\%$

En el caso de la envolvente no se observa una variación clara de la mediana, se puede ver que para suelos tipo E la mediana es mínima en periodos menores a 1s.

Para la máxima dirección la mediana de la razón es mayor en suelos tipo A para periodos mayores a 1 s, para periodos menores se observa que la mediana es mínima para suelos tipo E.

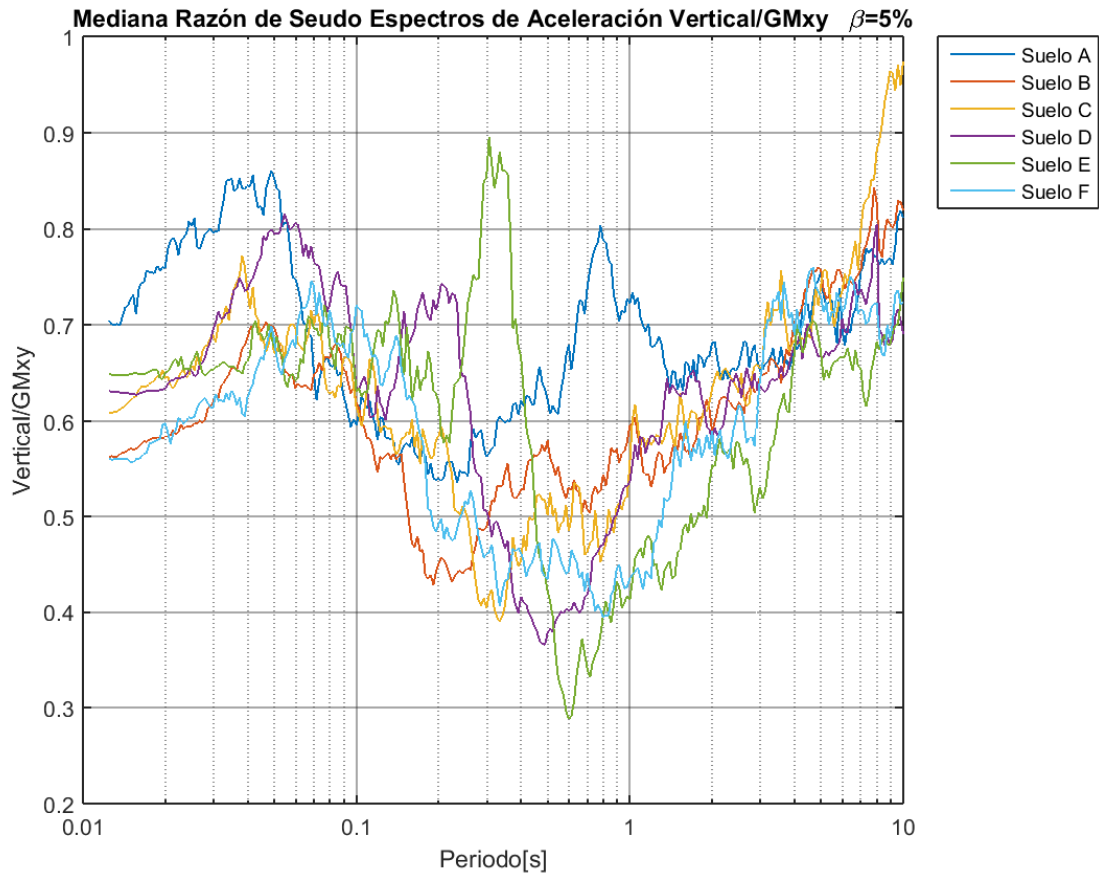


Figura 6.19 Variación de la mediana en función del tipo de suelo para componente vertical.
 $\beta=5\%$

Para periodos menores a 0.06 s la mediana de la razón de la componente vertical es mayor para suelo tipo A , entre 0.25 s y 0.4 s la mediana es mayor para suelos tipo E. No se observa un patrón claro de variación, sin embargo, se puede ver claramente que el mínimo de las medianas disminuye desde suelos tipo A a suelos tipo E, además, el mínimo se mueve hacia periodos mayores para suelos de menor calidad.

6.1.4 Variación de la Mediana de la Razón con la Magnitud Mw.

Las figuras que se presentan a continuación corresponde a las medianas de las razones calculadas para un amortiguamiento de 5%, los gráficos para amortiguamientos de 2% y 10% están disponibles en Anexo A.

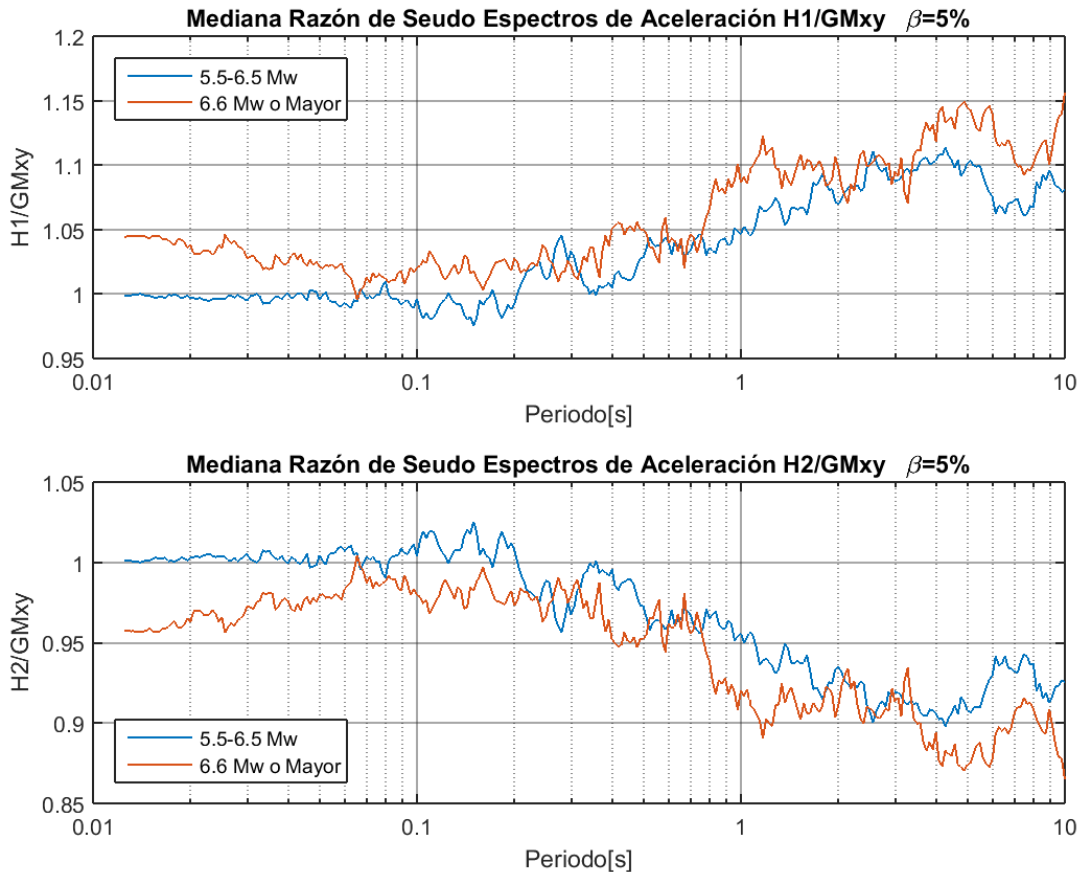


Figura 6.20 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw componentes horizontales 1 y 2. $\beta=5\%$

La mediana de la razón de la componente Horizontal 1 y la media geométrica en general es mayor para sismos mayores 6.5 Mw, la diferencia disminuye y aumenta igualando las medianas para ambos rangos de magnitud en los periodos 0.07 s, entre 0.2 s y 0.3 s, entre 0.55s y 0.75 y entre 2 s y 3 s.

La mediana de la razón de la componente Horizontal 2 y la media geométrica presenta el mismo comportamiento que H1/GMxy pero en este caso la mediana es mayor para sismos menores a 6.5 Mw.

En conclusión para sismos menores a 6.5 Mw las componentes horizontales se parecen más a la media geométrica que para sismos mayores a 6.5 Mw.

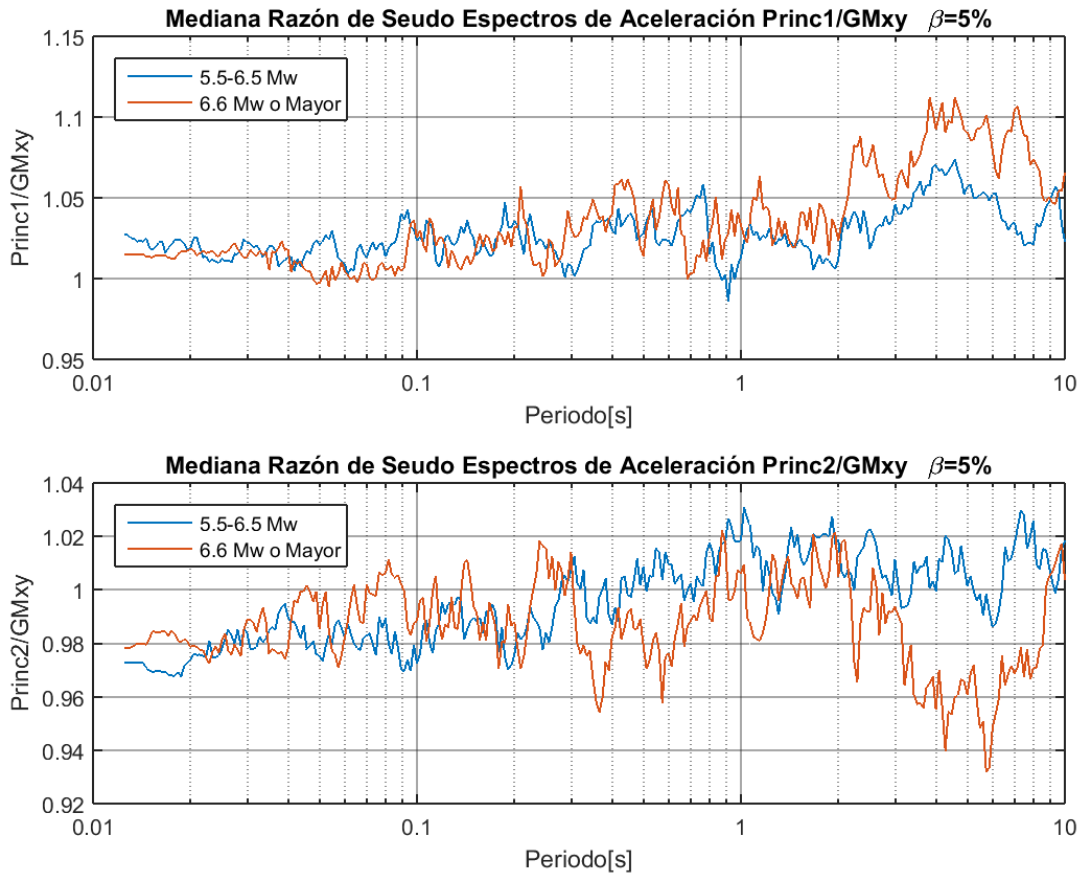


Figura 6.21 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw componentes principales 1 y 2. $\beta=5\%$

La mediana de las razones de la componentes principales 1 y 2 no presenta variación con la magnitud, salvo entre los periodos 3 s y 9 s donde las medianas de las razones para sismos menores a 6.5 Mw se acercan más a la unidad.

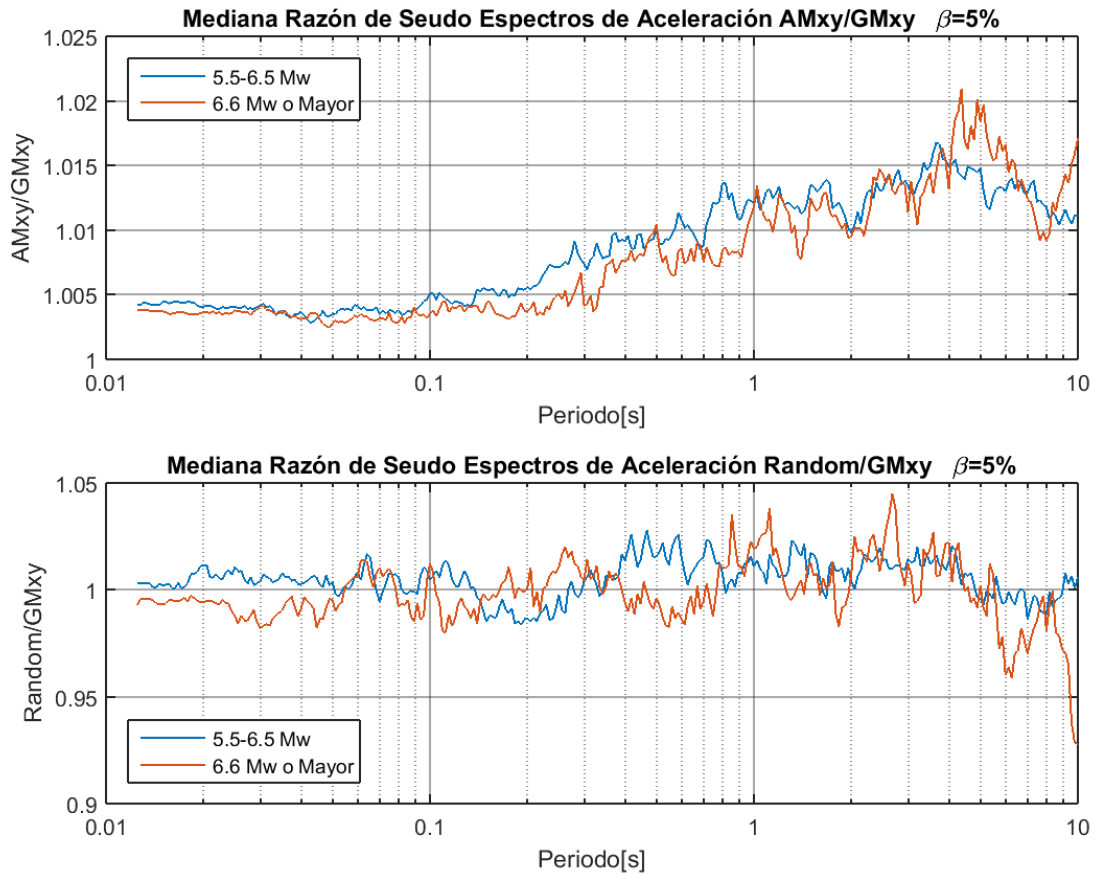


Figura 6.22 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw AMxy y Random. $\beta=5\%$

Para la media aritmética la mediana de la razón es mayor para sismos de magnitud menor a 6.5 Mw para periodos menores a 1 s, se igualan entre 1 s y 4 s y para periodos mayores a 4 s la mediana es mayor para sismo mayores a 6.5 Mw.

Random no presenta variación evidente con la magnitud, salvo entre 4 s y 7 s, donde la mediana es mayor para magnitudes menores a 6.5 Mw.

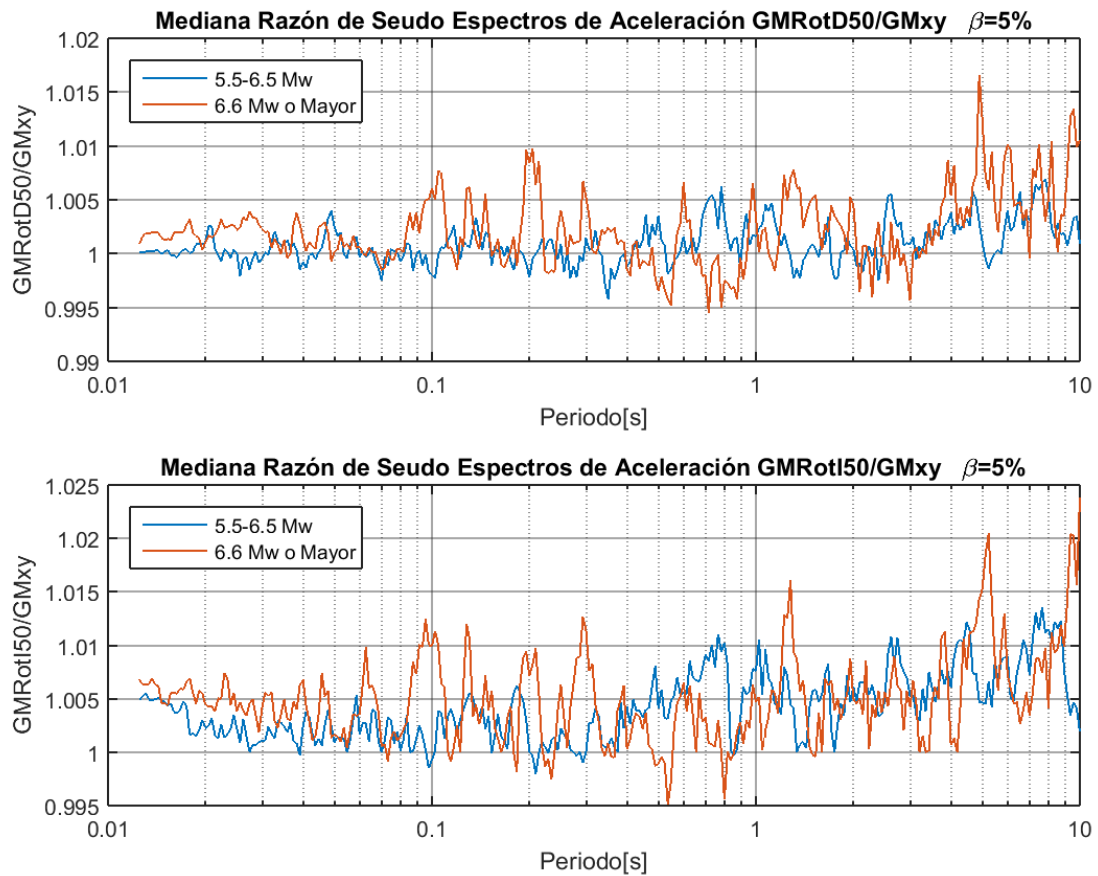


Figura 6.23 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw GMRotD50 y GMRotI50. $\beta=5\%$

En GMRotD50 y GMRotI50 se observa que para magnitudes mayores la variación de la mediana de un periodo a otro es mayor .

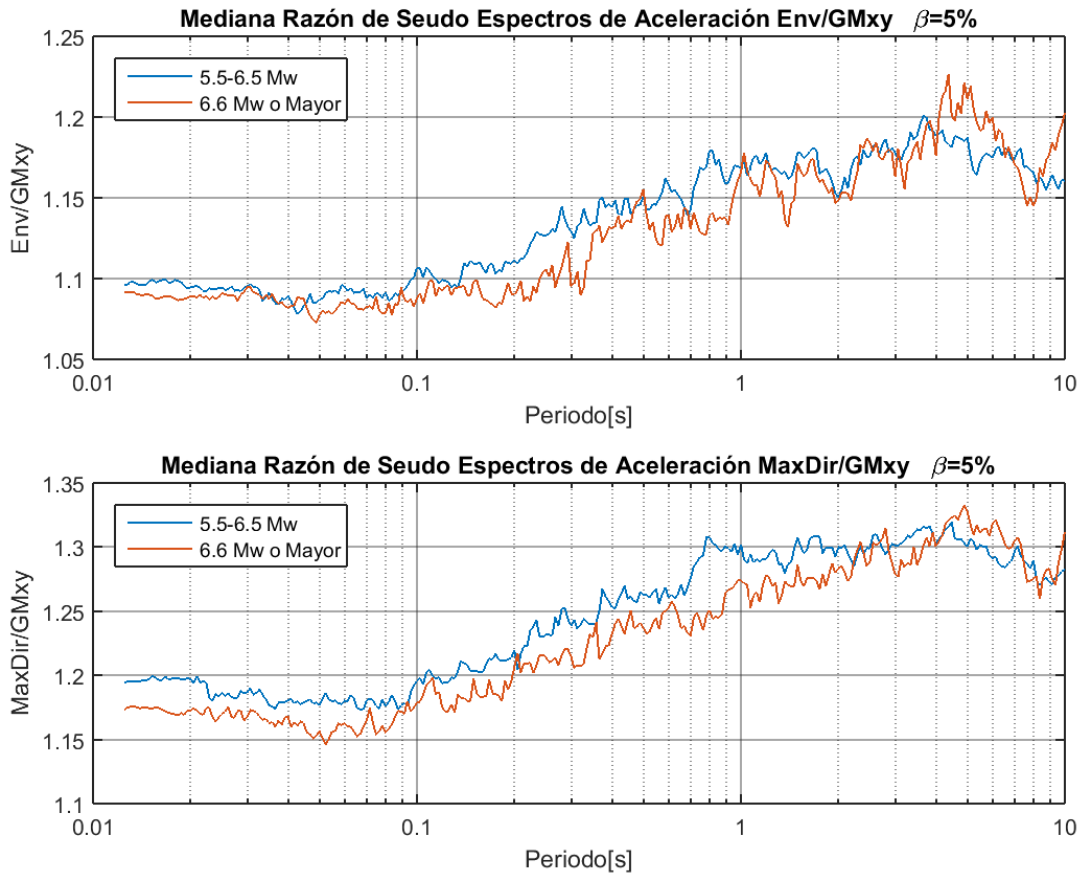


Figura 6.24 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw envolvente y máxima dirección. $\beta=5\%$.

En el caso de la envolvente y la máxima dirección la mediana de la razón es mayor para sismos menores a 6.5 Mw para periodos menores a 2 s, para periodos mayores a 4 s la mediana es siempre mayor para sismos mayores a 6.5 Mw.

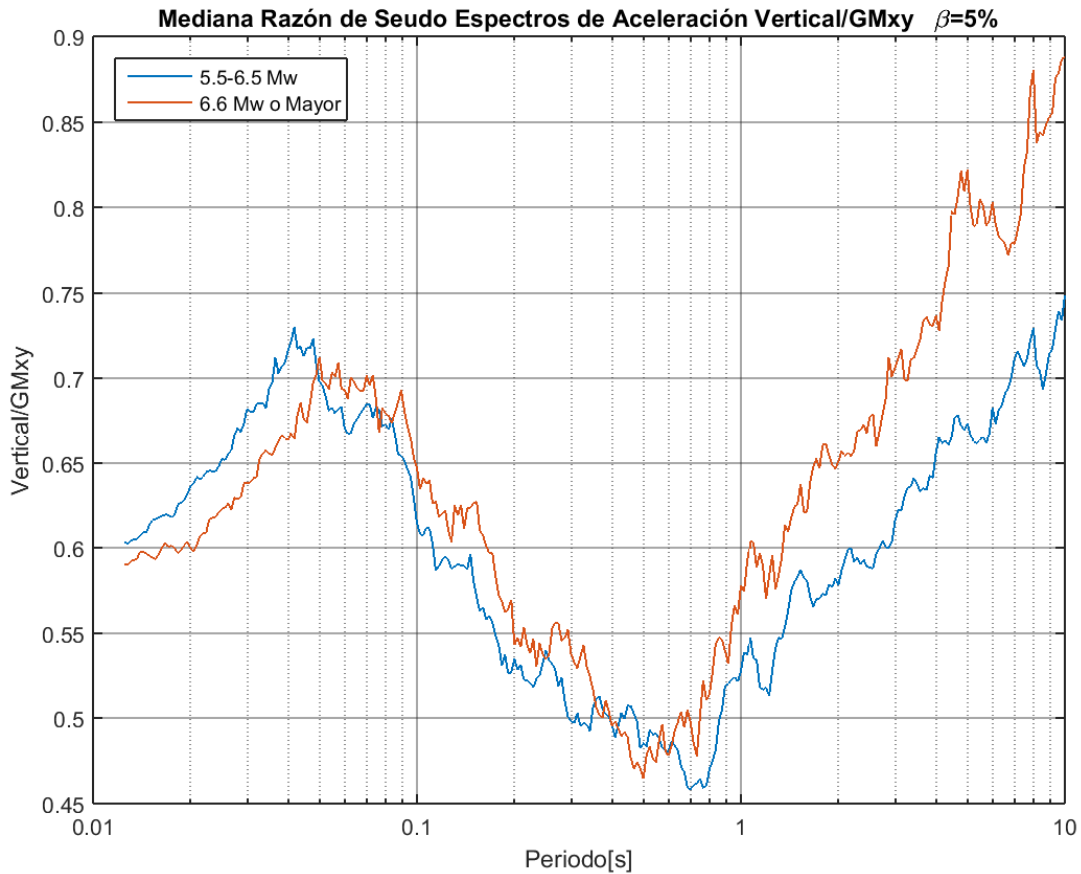


Figura 6.25 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw Vertical. $\beta=5\%$.

Para la vertical la mediana es mayor para sismos menores a 6.5 Mw para periodos menores a 0.05 segundos, para periodos mayores la mediana es en general mayor para sismos con magnitudes mayores a 6.5 Mw, teniendo un mínimo en torno a 0.6 s donde las medianas coinciden.

El comportamiento aquí observado no coincide con el modelo presentado por Bozorgnia y Campbell 2016 (Ref.10). Se observa una coincidencia de las medianas para distintas magnitudes entorno a los 0.6s, sin embargo, para periodos mayores la mediana de sismos mayores esta siempre por sobre la mediana de sismos menores, al contrario el modelo de Bozorgnia y Campbell 2016 que predice medianas menores para sismos de mayor magnitud.

6.1.5 Variación de la Mediana de la Razón con el Mecanismo de Falla.

Las figuras que se presentan a continuación corresponden a las medianas de las razones calculadas para un amortiguamiento de 5%, las graficas para amortiguamientos de 2% y 10% están disponibles en el ANEXO A.

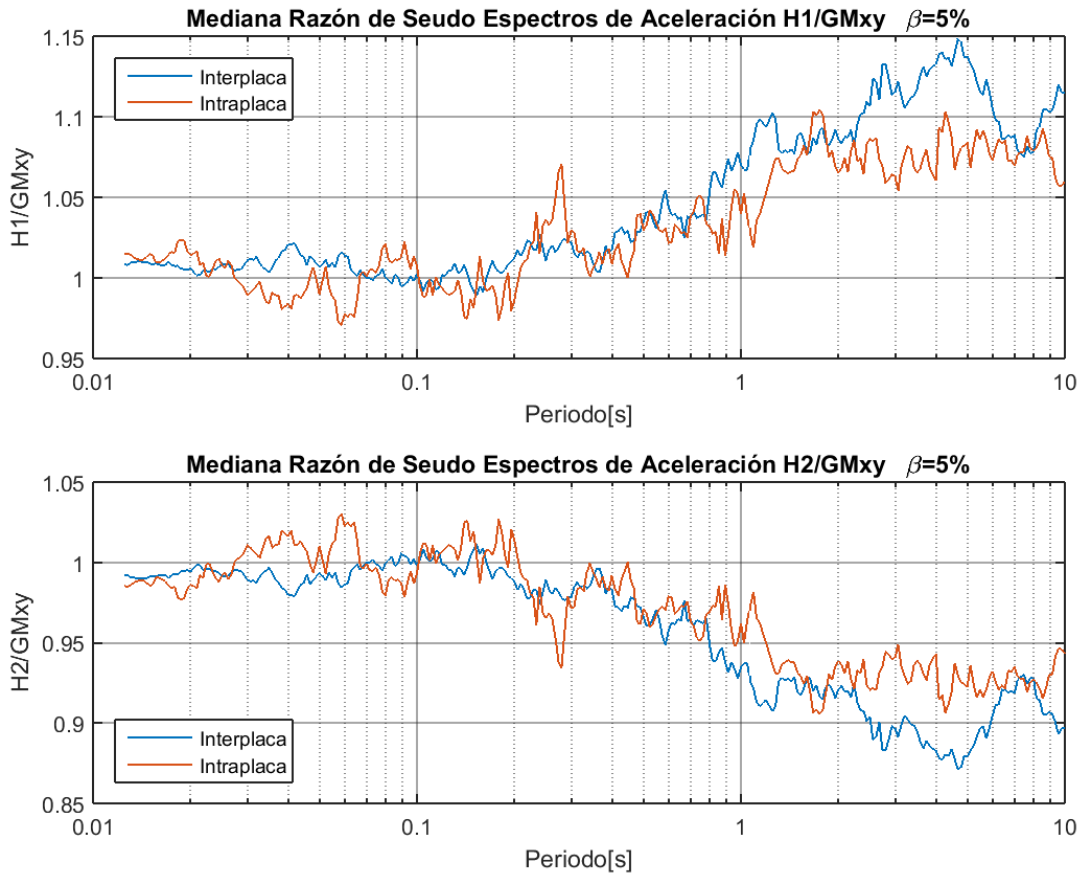


Figura 6.26 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla componentes horizontales 1 y 2. $\beta=5\%$

La mediana de la razón de las componentes horizontales y la media geométrica es más cercana a la unidad para sismos intraplaca y periodos mayores a 0.4 s, para periodos menores a 0.07 s las medianas de sismos interplaca son más cercanos a la unidad .

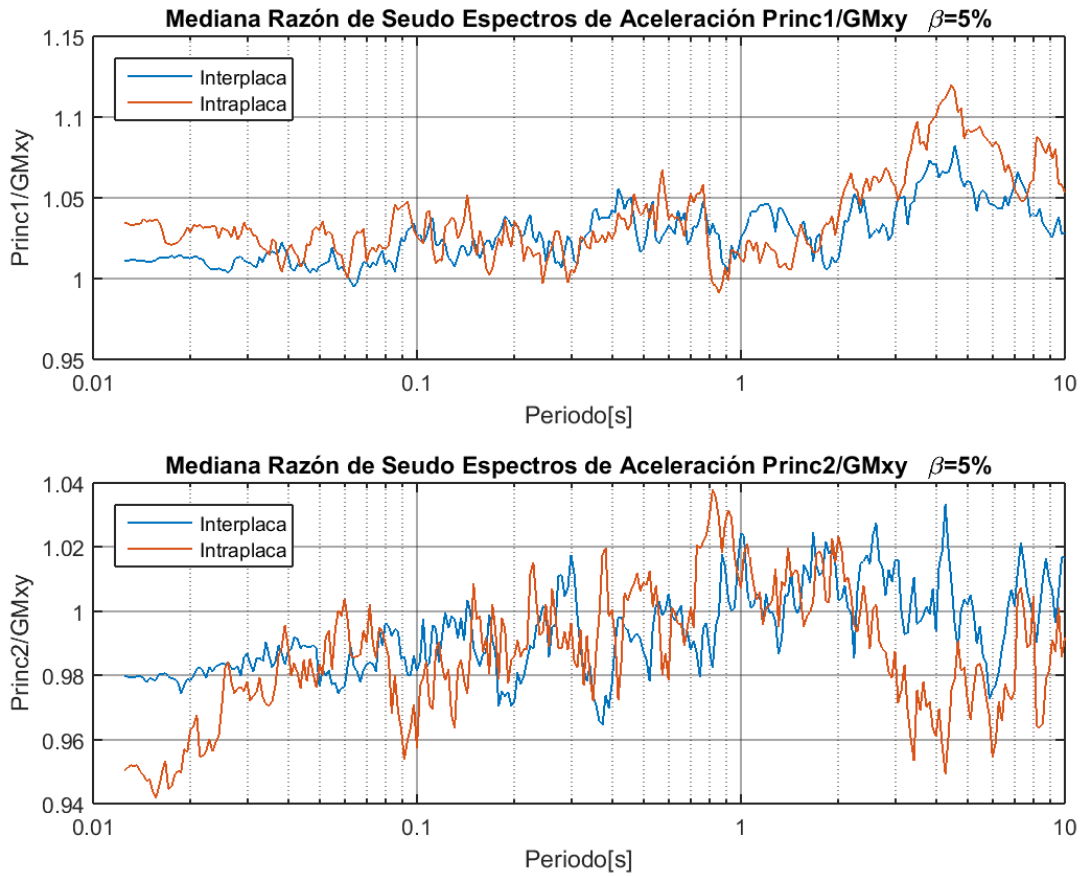


Figura 6.27 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla componentes principales 1 y 2. $\beta=5\%$

Para periodos mayores a 1.8 s y menores a 0.035 s las medianas de las razones de las componentes principales 1 y 2 son más cercanas a la unidad para sismos interplaca.

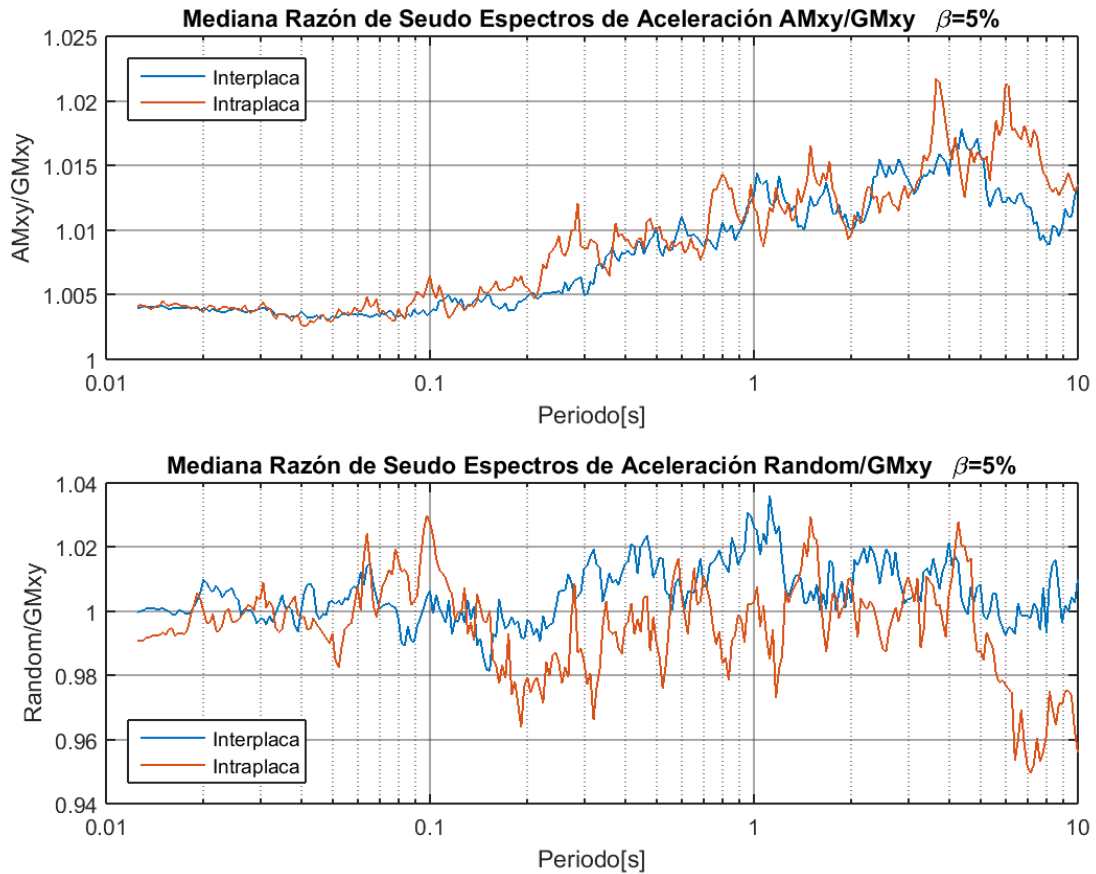


Figura 6.28 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla AMxy Random. $\beta=5\%$

Para la media aritmética la mediana de la razón no presenta variación evidente para periodos menores a 5 s , para periodos mayores la mediana de las razones para sismos intraplaca es mayor.

En cuanto a la definición Random, para periodos entre 0.16 s y 1.3 s y sobre 5 s la mediana es en general mayor para sismos interplaca.

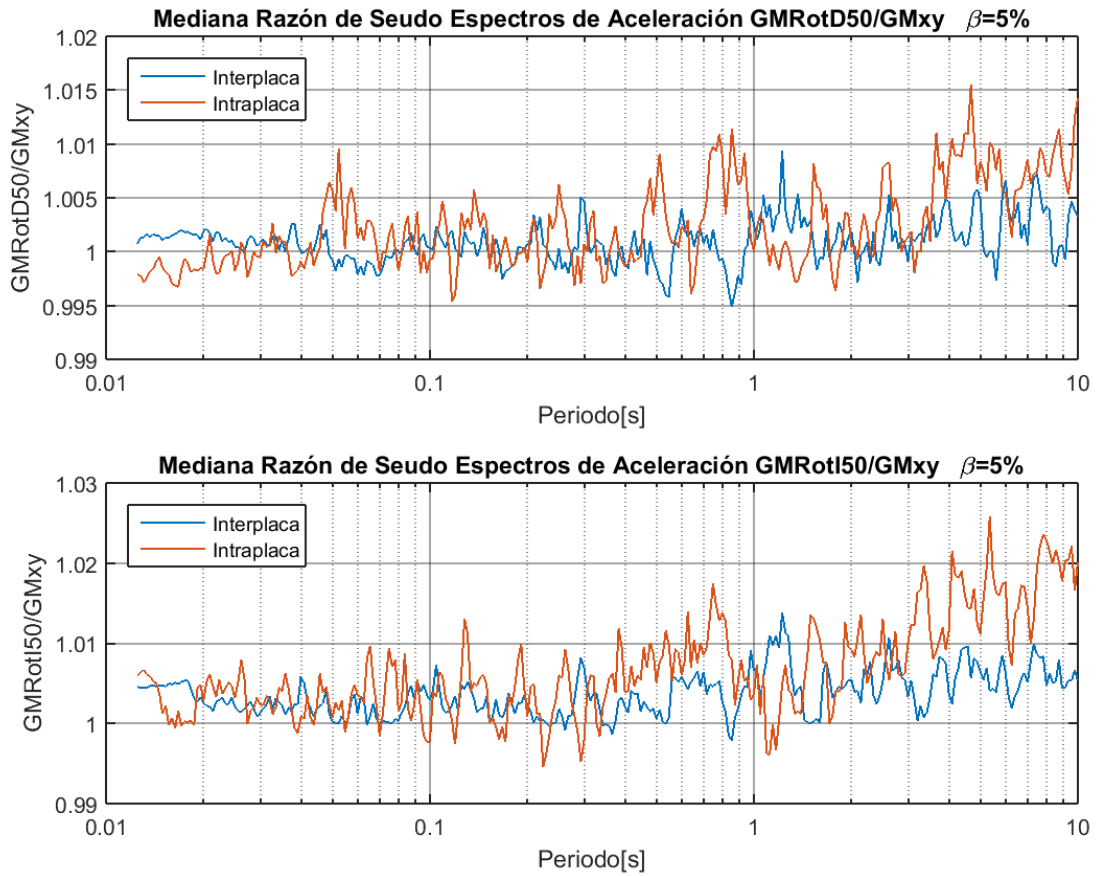


Figura 6.29 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla GMRotD50 y GMRotI50. $\beta=5\%$

La medianas de la razones para GMRotD50 y GMRotI50 son menores para sismos interplaca para periodos mayores a 3 s.

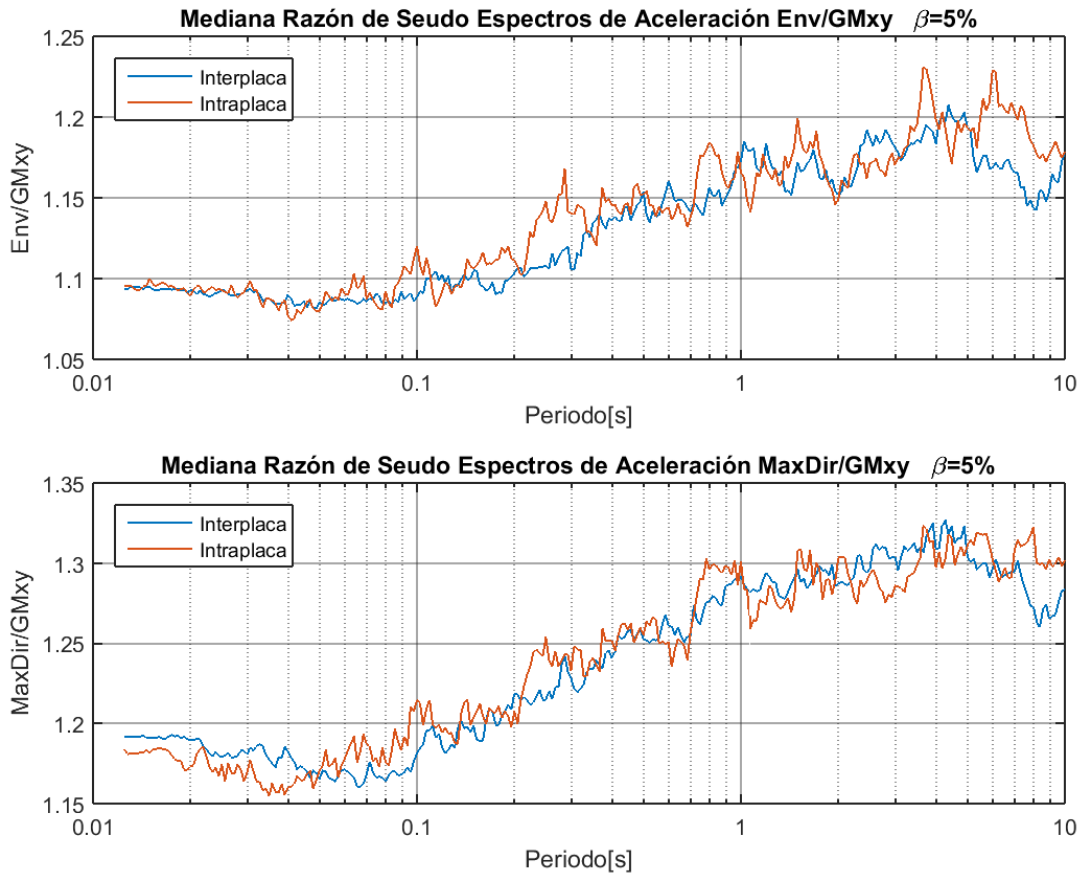


Figura 6.30 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla envolvente y máxima dirección. $\beta=5\%$.

En el caso de la Envolvente y la Máxima Dirección la mediana de la razón no presenta variación importante con el mecanismo de falla.

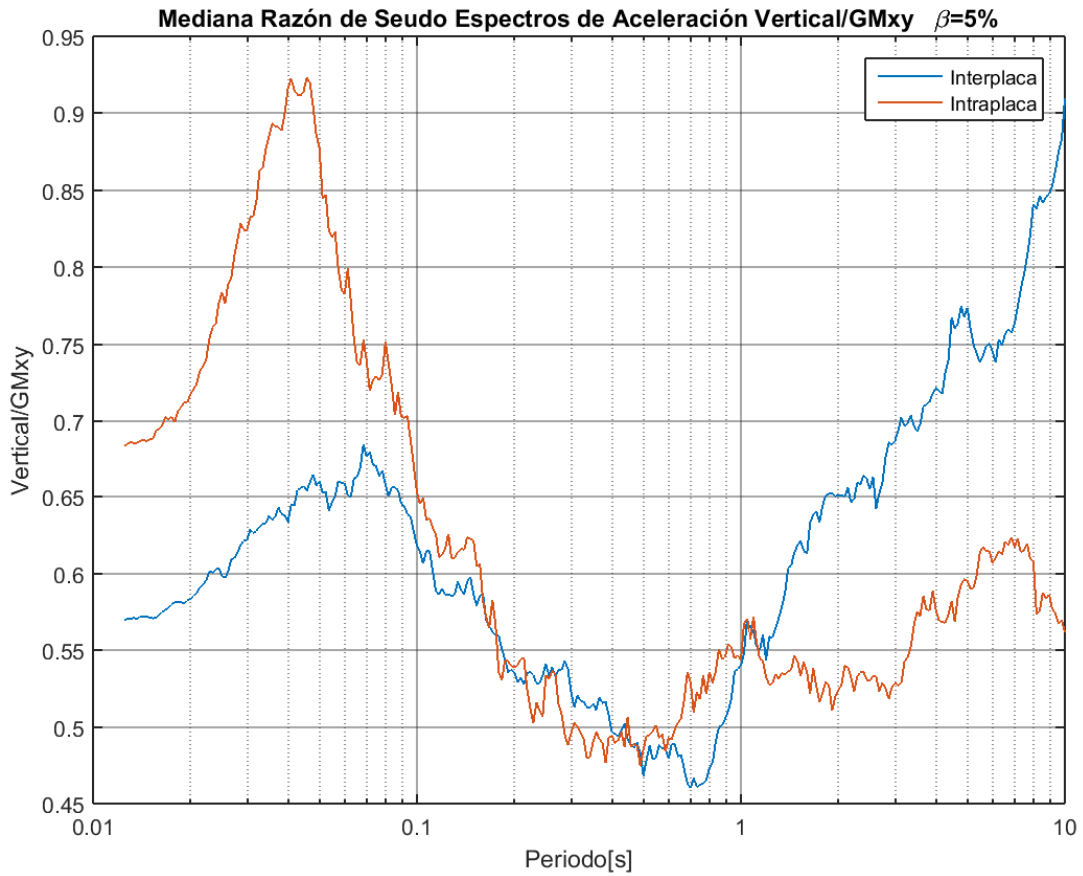


Figura 6.31 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla Vertical. $\beta=5\%$.

Para la Vertical la variación con el mecanismo de falla es notoria, para periodos menores a 0.2 s la mediana es siempre mayor para sismos intraplaca con una diferencia máxima en los 0.04 s. En periodos mayores a 1.2 s la mediana aumenta para sismos interplaca hasta los 10 s. Entre 0.2 s y 1.2 s las medianas son similares.

6.2 Regresión y Obtención de Factores para la Variabilidad de la Definición Convertida.

Para la obtención de la variabilidad de la nueva GMPE es necesario determinar las dos factores. Primero se determina la desviación estándar asociada a la conversión de una GMPE a otra y luego el factor de conversión de la desviación estándar de la GMPE original.

6.2.1 Regresión y Obtención de curvas para la Desviación Estándar del Logaritmo de la Razón de Espectros.

Se calcula el logaritmo de la razón para cada definición de cada espectro y luego se obtiene la desviación estándar para cada periodo. Luego se realiza regresión para la curva de desviación de cada componente.

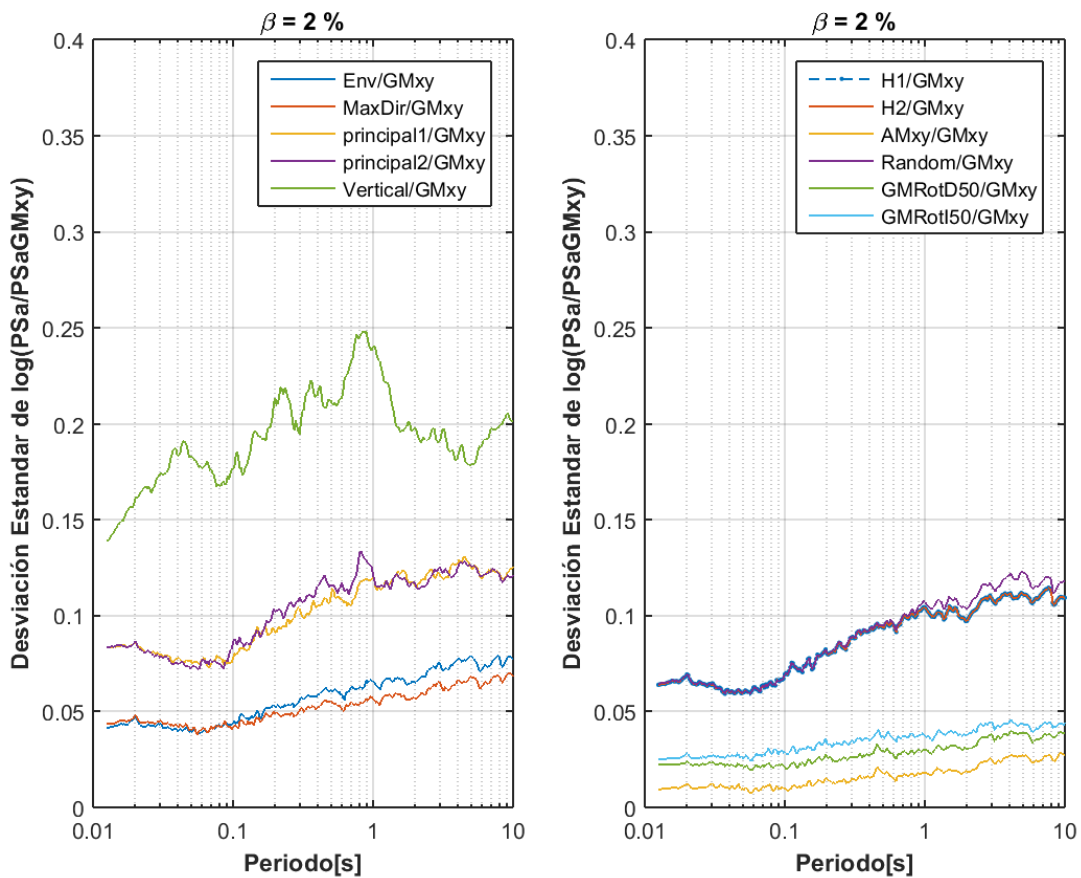


Figura 6.32 Desviación Estándar del Logaritmo de razones de Seudo Espectros de Aceleración para las diferentes definiciones. $\beta=2\%$

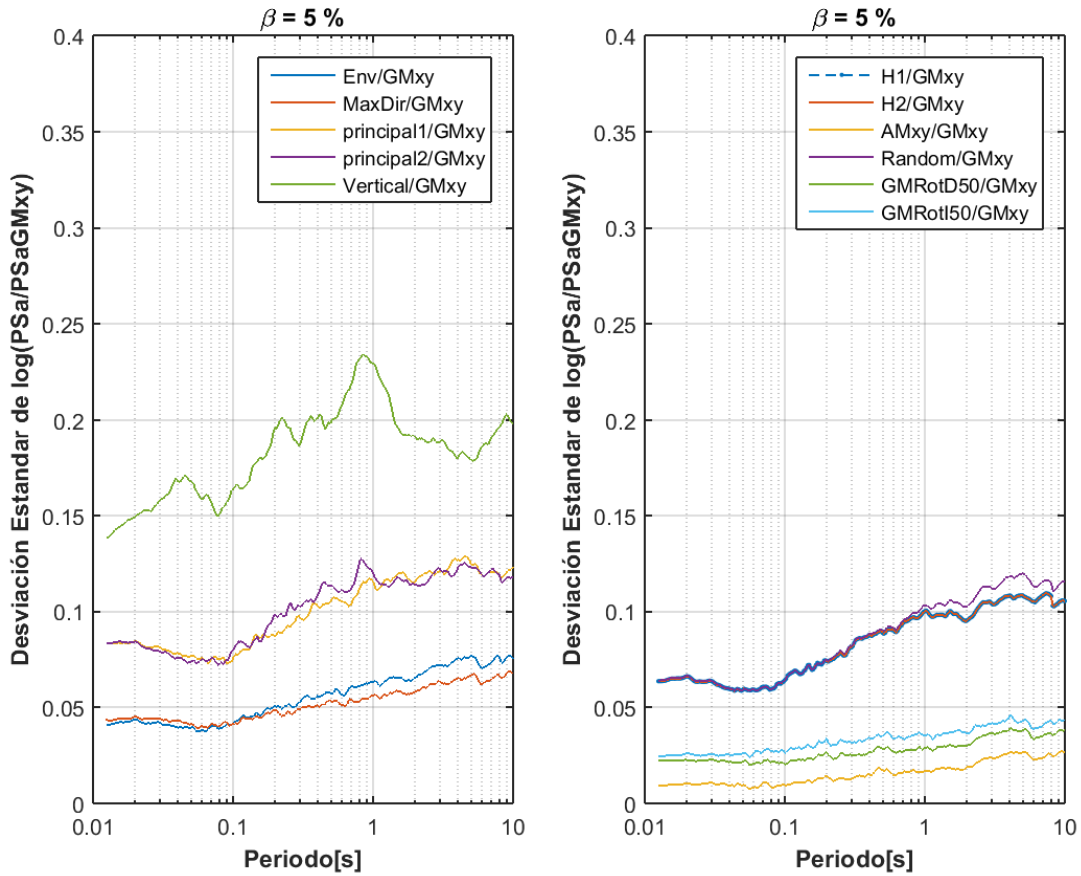


Figura 6.33 Desviación Estándar del Logaritmo de razones de Seudo Espectros de Aceleración para las diferentes definiciones. $\beta=5\%$

En la Figura 6.32, Figura 6.33 y Figura 6.34 se observan las desviaciones estándar obtenidas en función del periodo para el logaritmo de las razones espectrales para cada definición de la componente horizontal y para la componente vertical con la media geométrica, para amortiguamientos de 2%, 5% y 10%, respectivamente.

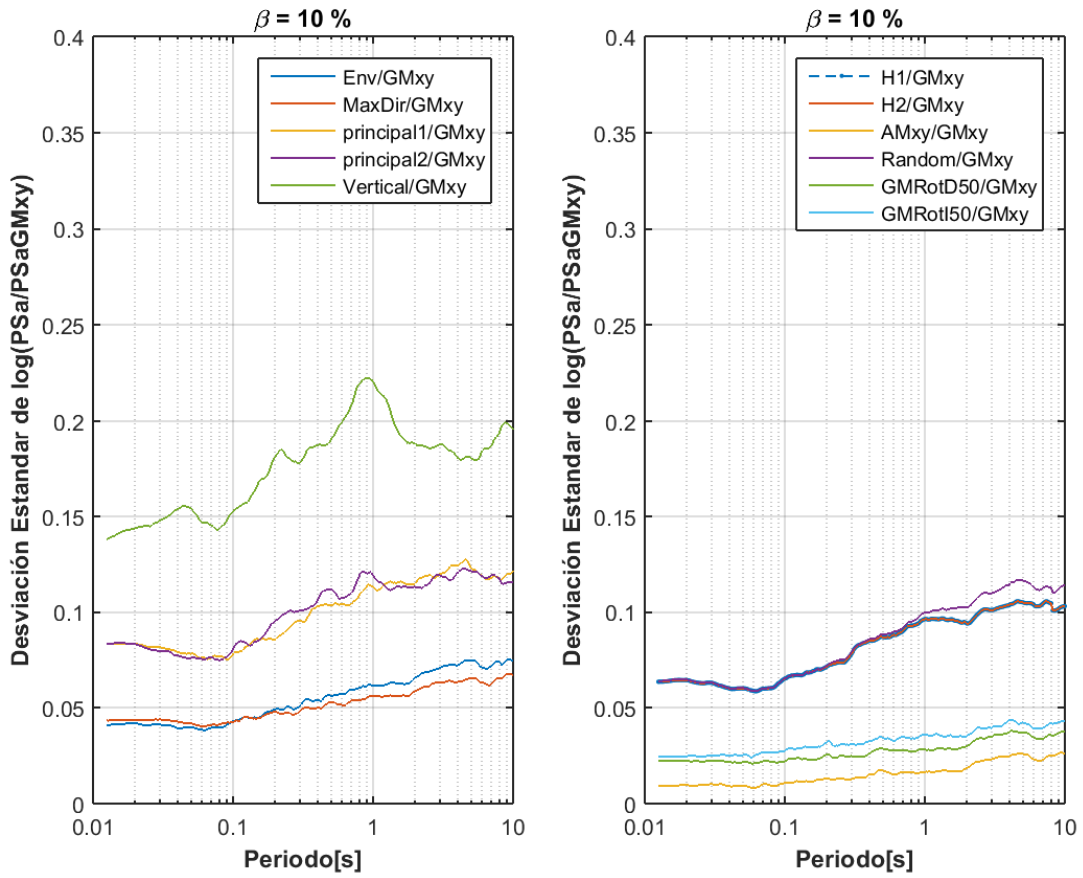


Figura 6.34 Desviación Estándar del Logaritmo de razones de Seudo Espectros de Aceleración.
 $\beta=10\%$

6.2.1.1 Regresión para la Desviación del Logaritmo de la Razón de las Diferentes Definiciones.

Las figuras que se presentan a continuación corresponden a las regresiones para las desviaciones de las razones calculadas para un amortiguamiento de 5%, las figuras para amortiguamientos de 2% y 10% están disponibles en Anexo A.

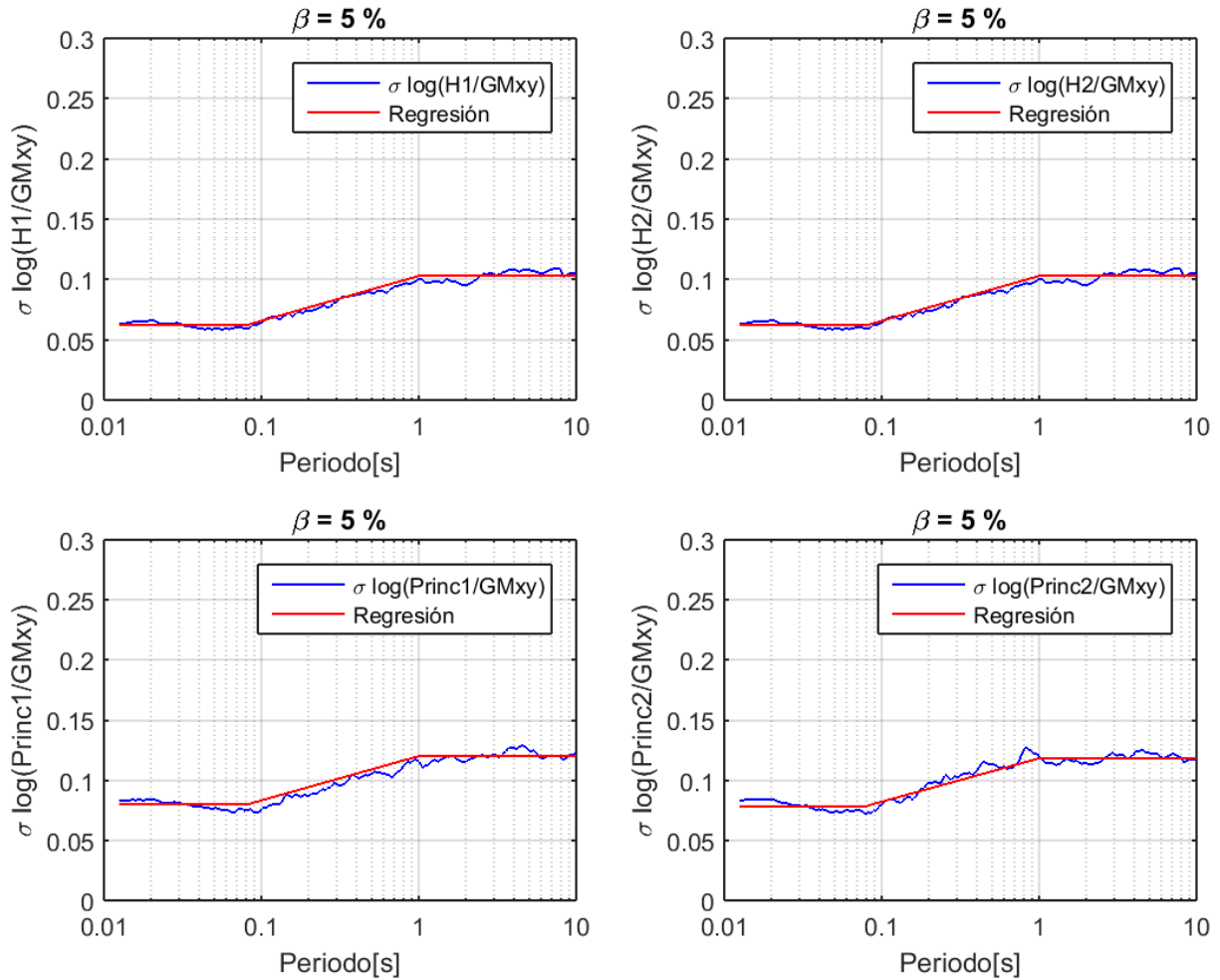


Figura 6.35 Regresión de la desviación del logaritmo componentes horizontales 1 y 2 y componentes principales 1 y 2. $\beta=5\%$

En la Tabla 6.6 se presentan las constantes de regresión para las razones $H1/GM_{xy}$, $H2/GM_{xy}$, $Princ1/GM_{xy}$ y $Princ2/GM_{xy}$, para amortiguamientos de 2%, 5% y 10%, obtenidas para las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{\log(Sa_i(T_j)/Sa_{GM}(T_j))} = \begin{cases} C1 & T_j \leq 0.08 \text{ seg} \\ C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.08)}{\log(1/0.08)} & 0.08 \text{ seg} < T_j < 1 \text{ seg} \\ C2 & 1 \leq T_j \leq 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Tabla 6.6 Constantes de Regresión.

Razón	β [%]	C1	C2	Razón	β [%]	C1	C2
$\frac{H1}{GM_{xy}}$	2	0.063	0.106	$\frac{Princ 1}{GM_{xy}}$	2	0.080	0.121
	5	0.062	0.103		5	0.080	0.120
	10	0.062	0.100		10	0.080	0.119
$\frac{H2}{GM_{xy}}$	2	0.063	0.106	$\frac{Princ 2}{GM_{xy}}$	2	0.079	0.120
	5	0.062	0.103		5	0.079	0.118
	10	0.062	0.100		10	0.079	0.117

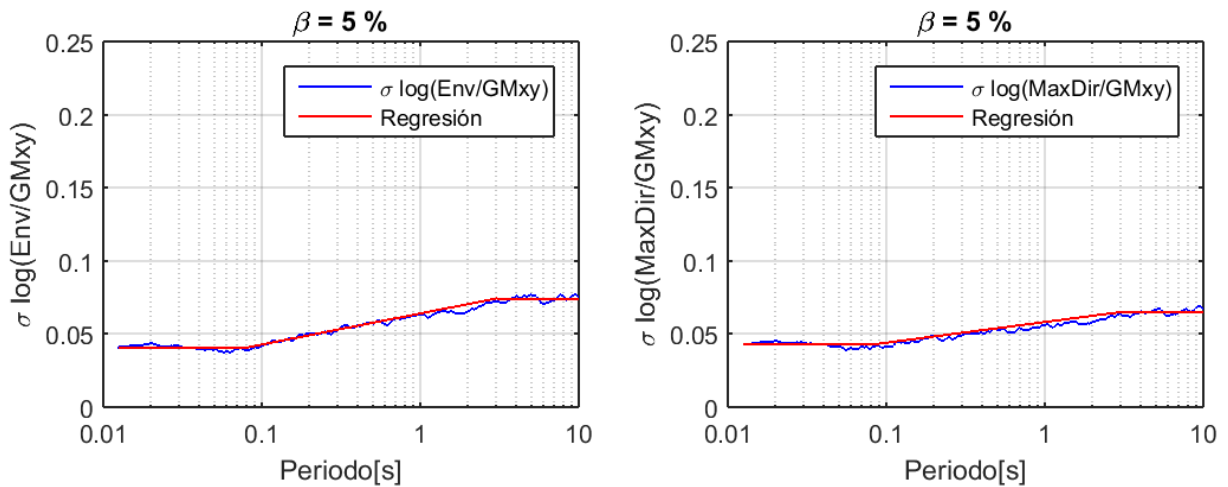


Figura 6.36 Regresión de la desviación del logaritmo envolvente y máxima dirección. $\beta=5\%$

En la Tabla 6.7 se presentan las constantes de regresión para las razones Max/GM_{xy} y Env/GM_{xy}, para amortiguamientos de 2%, 5% y 10%, obtenidas para las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{\log(Sa_i(T_j)/Sa_{GM}(T_j))} = \begin{cases} C1 & T_j \leq 0.08 \text{ seg} \\ C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.08)}{\log(3/0.08)} & 0.08 \text{ seg} < T_j < 3 \text{ seg} \\ C2 & 3 \leq T_j \leq 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Tabla 6.7 Constantes de Regresión.

Razón	β [%]	C1	C2
Max Dir GM_{xy}	2	0.043	0.066
	5	0.043	0.065
	10	0.043	0.064
Env GM_{xy}	2	0.042	0.075
	5	0.041	0.074
	10	0.041	0.073

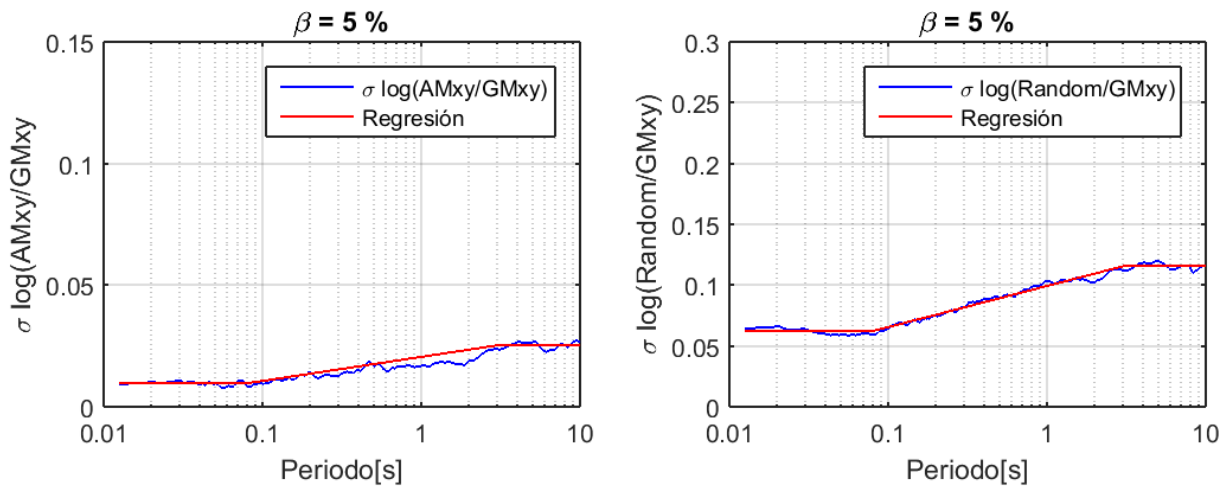


Figura 6.37 Regresión de la desviación del logaritmo definiciones AMxy y Random. $\beta=5\%$

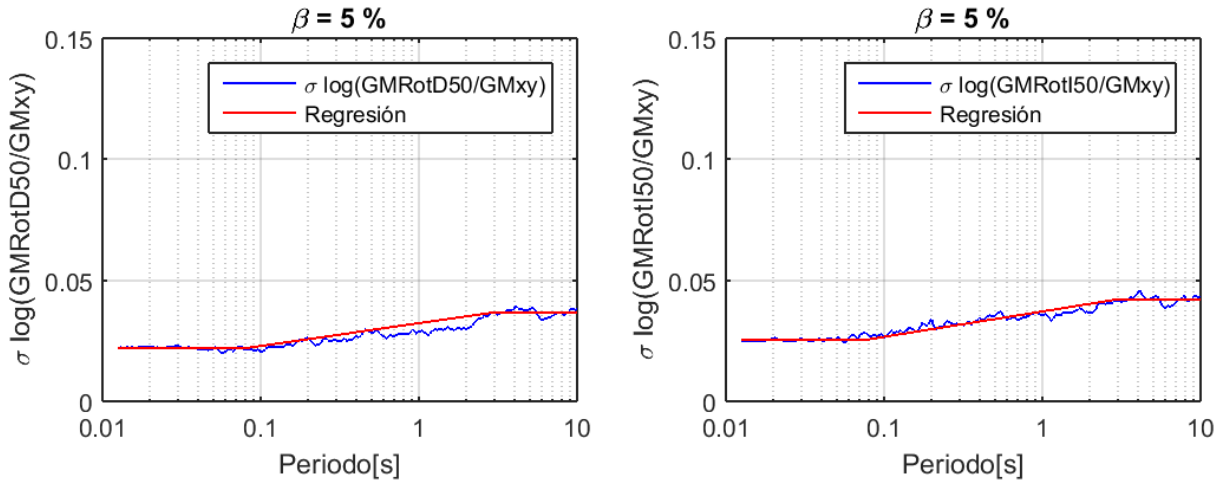


Figura 6.38 Regresión de la desviación del logaritmo para definiciones GMRotD50 y GMRotI50. $\beta=5\%$

En la Tabla 6.8 se presentan las constantes de regresión para las razones GMRotD50/GMxy, GMRotI50/GMxy, AMxy/GMxy y Random/GMxy, para amortiguamientos de 2%, 5% y 10%, obtenidas para las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{\log(Sa_i(T_j)/Sa_{GM}(T_j))} = \begin{cases} C1 & T_j \leq 0.08 \text{ seg} \\ C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.08)}{\log(3/0.08)} & 0.08 \text{ seg} < T_j < 3 \text{ seg} \\ C2 & 3 \leq T_j \leq 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Tabla 6.8 Constantes de Regresión.

Razón	β [%]	C1	C2	Razón	β [%]	C1	C2
GMRotD50 $\frac{\quad}{GM_{xy}}$	2	0.022	0.037	AMxy $\frac{\quad}{GM_{xy}}$	2	0.010	0.026
	5	0.022	0.037		5	0.010	0.025
	10	0.022	0.036		10	0.009	0.025
GMRotI50 $\frac{\quad}{GM_{xy}}$	2	0.026	0.043	Random $\frac{\quad}{GM_{xy}}$	2	0.063	0.118
	5	0.026	0.042		5	0.062	0.115
	10	0.025	0.041		10	0.062	0.113

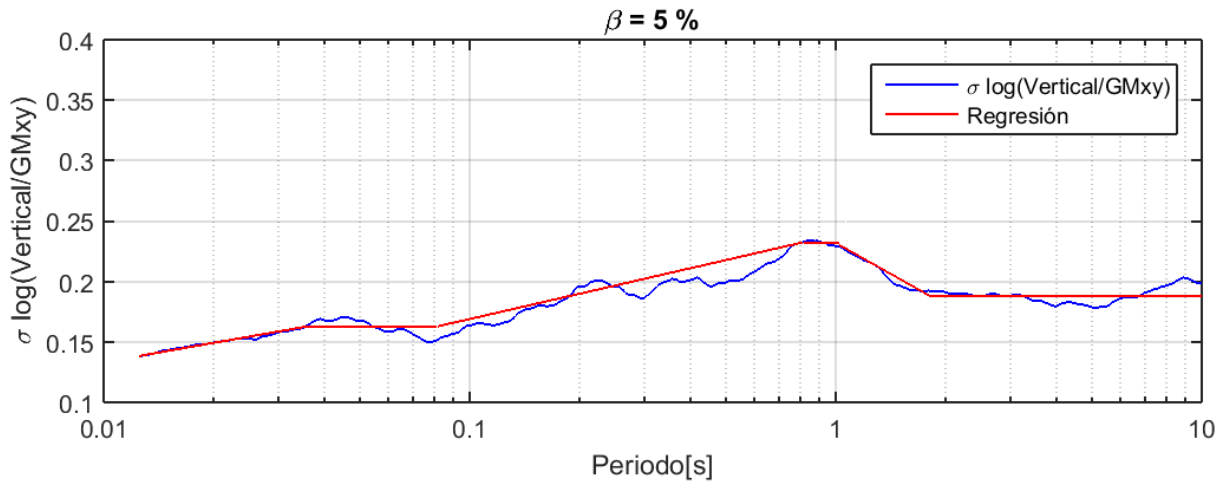


Figura 6.39 Regresión de la desviación del logaritmo. $\beta=5\%$

En la Tabla 6.9 se presentan las constantes de regresión para la razón Vertical/ GM_{xy} , para amortiguamientos de 2%, 5% y 10%, obtenidas para las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{\log\left(\frac{Sa_i(T_j)}{Sa_{GM}(T_j)}\right)} = \begin{cases} C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.012)}{\log(0.035/0.012)} & T_j \leq 0.035 \text{ seg} \\ C2 & 0.035 \text{ seg} \leq T_j \leq 0.08 \text{ seg} \\ C2 + (C3 - C2) \cdot \frac{\log(T_j/0.08)}{\log(0.8/0.08)} & 0.08 \text{ seg} < T_j < 0.8 \text{ seg} \\ C3 & 0.8 \text{ seg} \leq T_j \leq 1 \text{ seg} \\ C3 + (C4 - C3) \cdot \frac{\log(T_j/1)}{\log(1.8/1)} & 1 \text{ seg} < T_j < 1.8 \text{ seg} \\ C4 & 1.8 \leq T_j \leq 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Tabla 6.9 Constantes de Regresión.

Razón	β [%]	C1	C2	C3	C4
Vertical GM_{xy}	2	0.139	0.180	0.244	0.192
	5	0.138	0.162	0.232	0.188
	10	0.138	0.150	0.221	0.187

6.2.1.2 Comparación con Resultados Obtenidos por K.Beyer y J.J.Bommer para la Desviación del Logaritmo de la Razón de las Diferentes Definiciones.

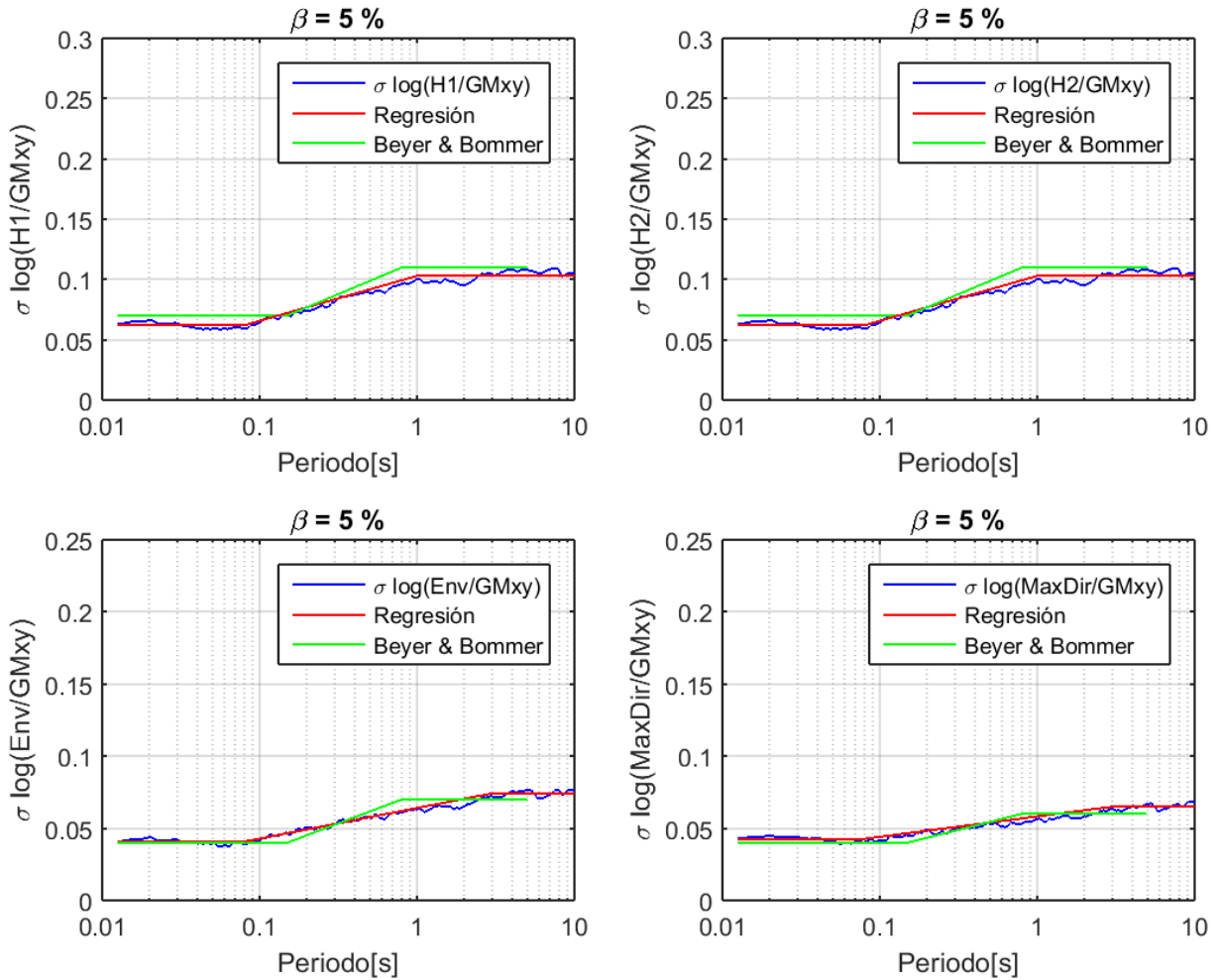


Figura 6.40 Comparación de resultados. $\beta = 5\%$

Para la desviación del logaritmo de la razón entre las componentes horizontales con la media geométrica, se obtiene valores menores a los obtenidos por Beyer y Bommer (Ref.1).

Para la envolvente y la máxima dirección, el ajuste de la curva es muy similar al observado por Beyer y Bommer (Ref.1).

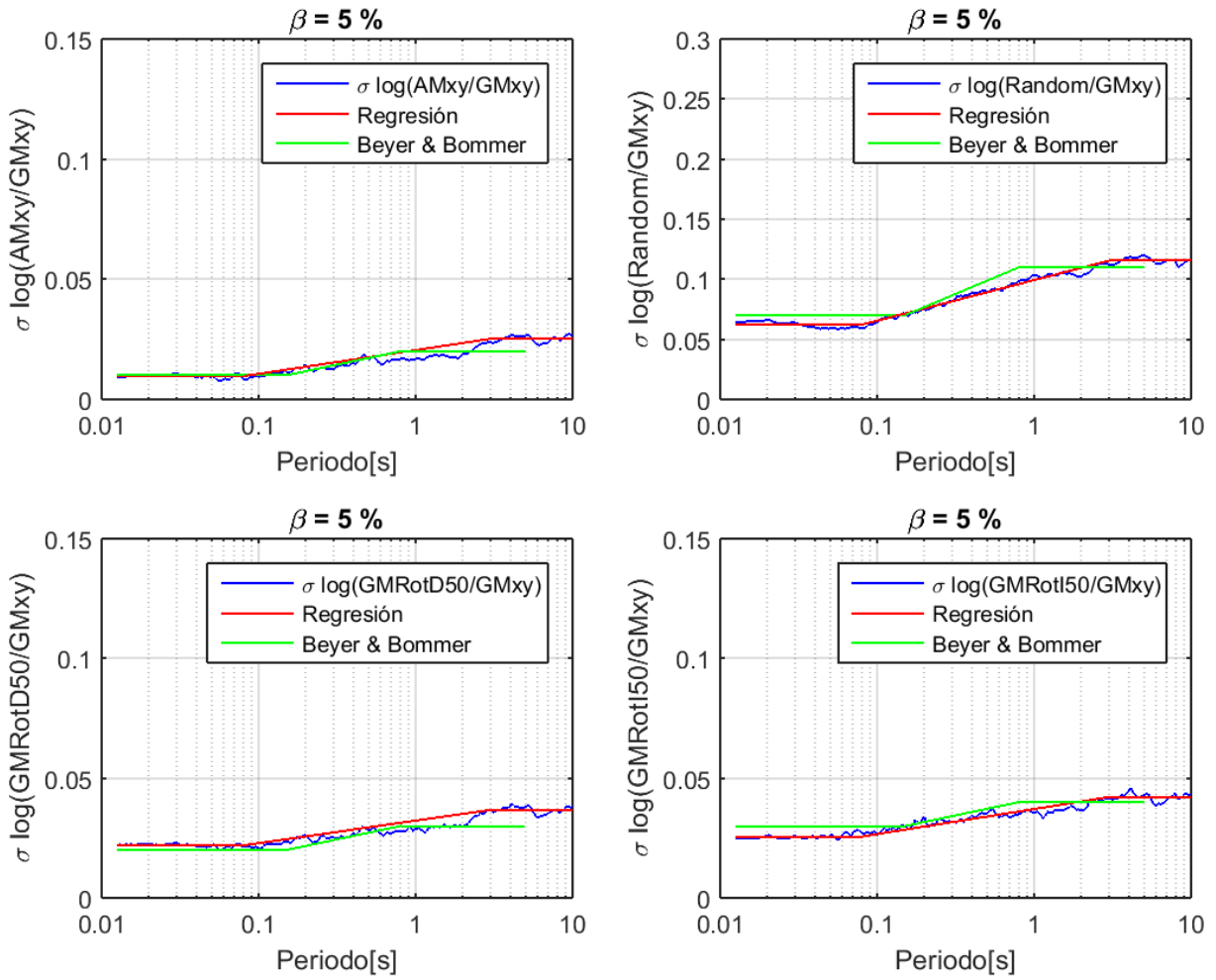


Figura 6.41 Comparación de resultados. $\beta = 5\%$

Para AMxy y GMRotD50 se obtiene resultados cercanos a los presentados por Beyer y Bommer (Ref.1), mientras que las curvas de regresión para Random y GMRotI50 se encuentran por debajo de las obtenidas por Beyer y Bommer para periodos menores a 2 s (Ref.1).

6.2.1.3 Razón de la Desviación Estándar del Logaritmo de las Diferentes Definiciones.

Se calculan los logaritmos de las diferentes definiciones de la componente horizontal y la componente vertical, se calculan la desviaciones estándar y luego se calcula la razón de los valores de sigmas para cada definición con el sigma del logaritmo de la media geométrica.

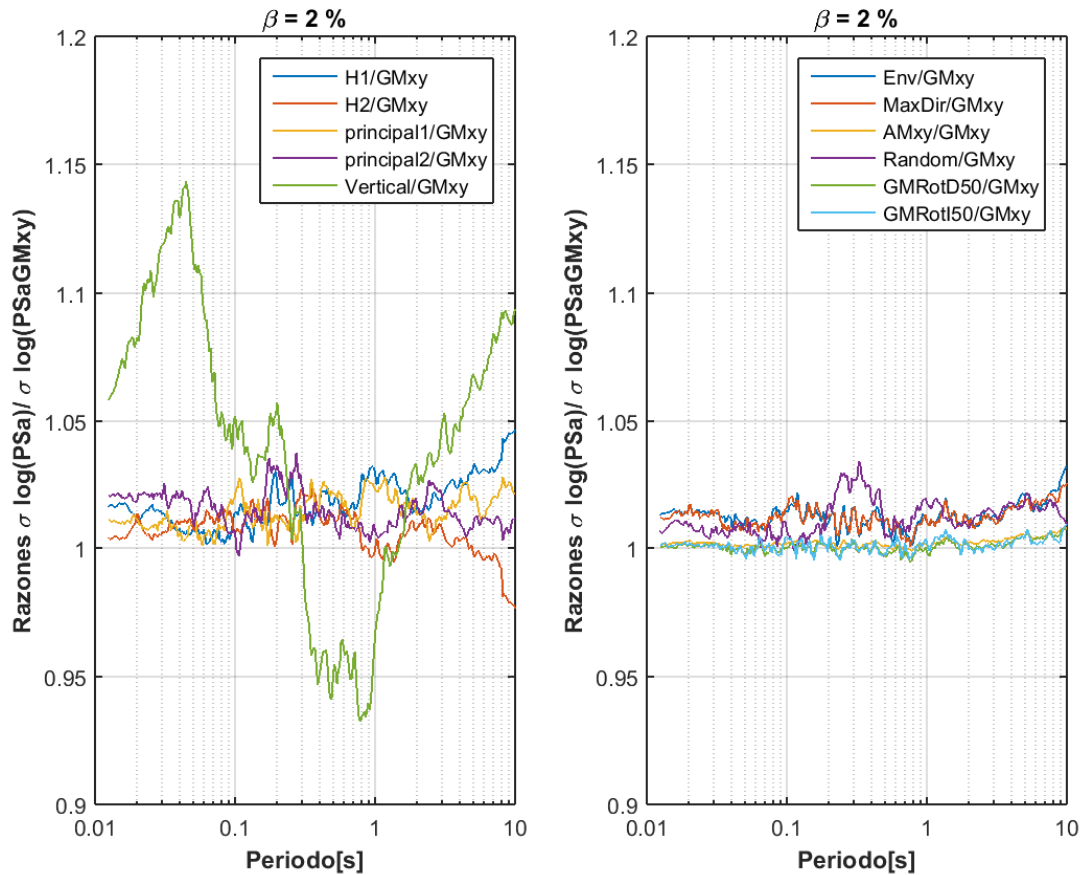


Figura 6.42 Razones de las Desviaciones de los Logaritmos de los Seudo Espectros de Aceleración. $\beta = 2\%$.

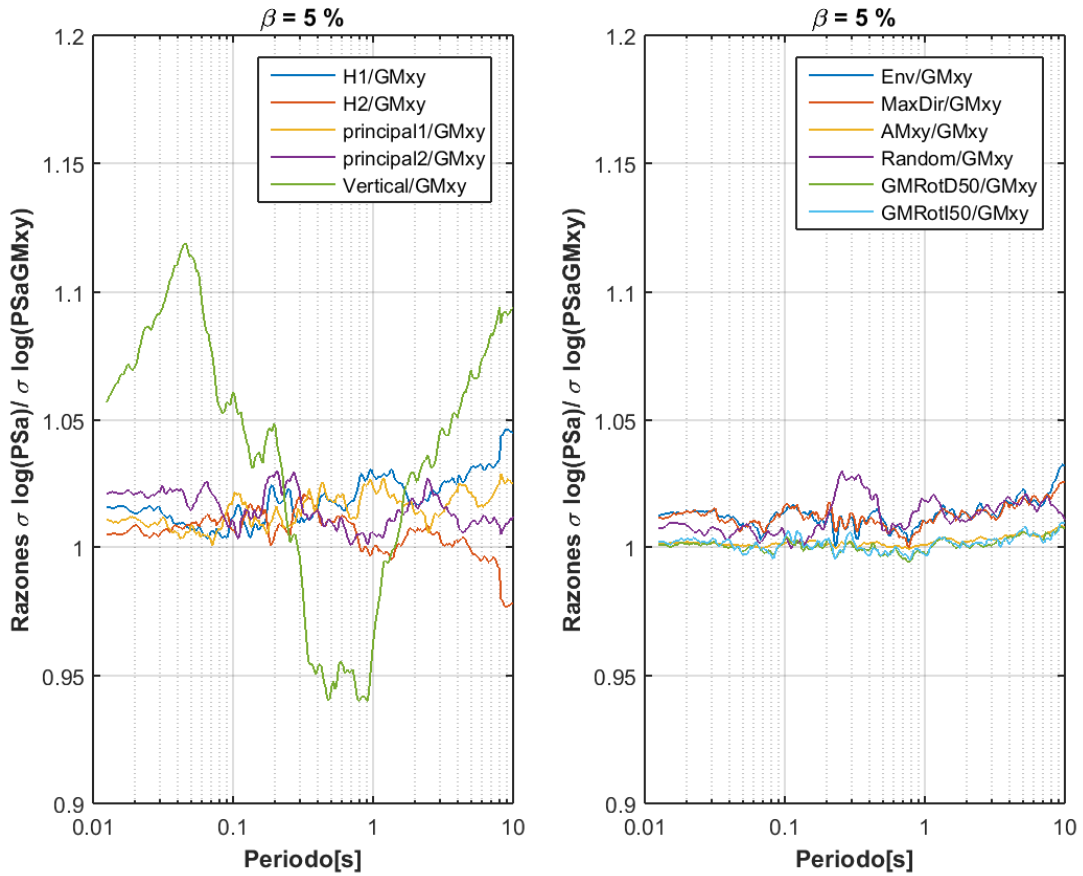


Figura 6.43 Razones de las Desviaciones de los Logaritmos de los Seudo Espectros de Aceleración. $\beta = 5\%$.

En general los resultados obtenidos en esta sección son menores a los obtenidos por Beyer y Bommer (Ref.1.Figura 7).

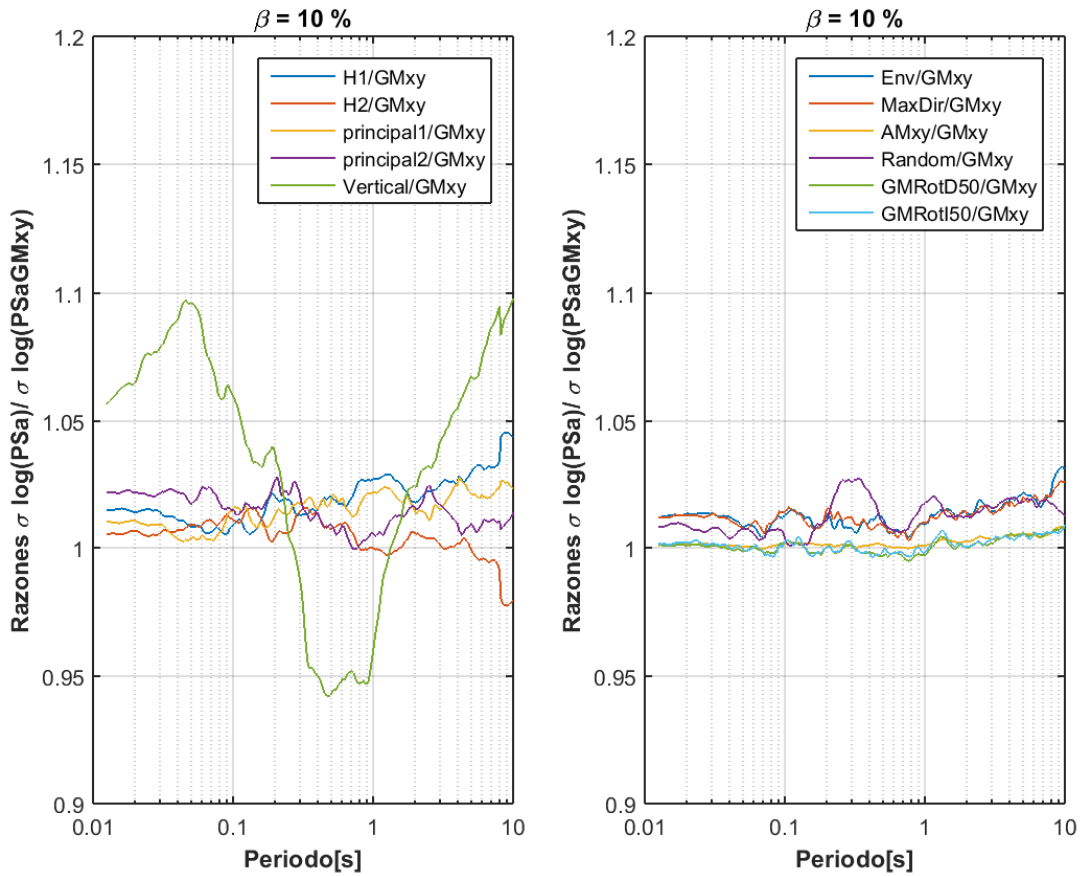


Figura 6.44 Razones de las Desviaciones de los Logaritmos de los Seudo Espectros de Aceleración. $\beta = 10\%$.

Según lo recomendado por Beyer y Bommer 2006 (Ref.1) , se utiliza, para el cálculo de la variabilidad de las definiciones horizontales, el promedio (R, ver Tabla 6.10) de las razones de las desviaciones de los logaritmos para todo el rango de periodos.

Tabla 6.10 Factor R para el cálculo de la variabilidad Definiciones Horizontales.

R	Amortiguamiento β [%]		
	2	5	10
Definición			
<i>H1/GM_{xy}</i>	1.018	1.019	1.019
<i>H2/GM_{xy}</i>	1.007	1.005	1.005
<i>Princ 1/GM_{xy}</i>	1.014	1.015	1.015
<i>Princ 2/GM_{xy}</i>	1.015	1.015	1.015
<i>AM_{xy}/GM_{xy}</i>	1.002	1.002	1.002
<i>Random/GM_{xy}</i>	1.012	1.012	1.012
<i>GMRotD50/GM_{xy}</i>	1.001	1.001	1.001
<i>GMRotI50/GM_{xy}</i>	1.001	1.001	1.001
<i>Env/GM_{xy}</i>	1.013	1.013	1.013
<i>MaxDir/GM_{xy}</i>	1.012	1.012	1.013

Para la vertical, por otro lado, debido a su gran variación con el periodo y valores sobre la unidad, se realiza regresión para obtener una curva R(Ti).

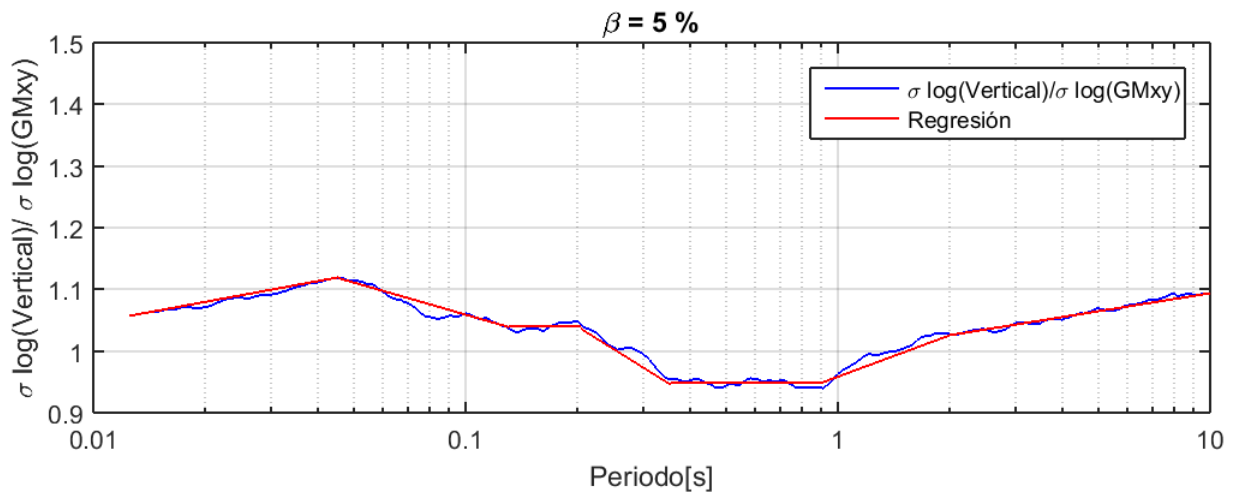


Figura 6.45 Regresión para Razones del los logaritmos de los Seudo Espectros de Aceleración Vertical y GMxy . $\beta = 5\%$.

En la Tabla 6.11 se presentan las constantes de regresión para los factores R(Ti) para el cálculo de la variabilidad de la componente Vertical, para amortiguamientos de 2%, 5% y 10%, obtenidas para las siguientes ecuaciones.

$$\frac{\sigma_{\log(Sa_i)}}{\sigma_{\log(Sa_{GM})}} = \begin{cases} C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.012)}{\log(0.045/0.012)} & T_j \leq 0.045 \text{ seg} \\ C2 + (C3 - C2) \cdot \frac{\log(T_j/0.045)}{\log(0.13/0.045)} & 0.045\text{seg} < T_j < 0.13 \text{ seg} \\ C3 & 0.13\text{seg} < T_j < 0.2 \text{ seg} \\ C3 + (C4 - C3) \cdot \frac{\log(T_j/0.2)}{\log(0.35/0.2)} & 0.2\text{seg} < T_j < 0.35 \text{ seg} \\ C4 & 0.35 \text{ seg} \leq T_j \leq 0.9\text{seg} \\ C4 + (C5 - C4) \cdot \frac{\log(T_j/0.9)}{\log(2/0.9)} & 0.9 \text{ seg} < T_j < 2 \text{ seg} \\ C5 + (C6 - C5) \cdot \frac{\log(T_j/2)}{\log(10/2)} & 2 \text{ seg} < T_j < 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Tabla 6.11 Constantes de Regresión.

Razón	β [%]	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Vertical GM_{xy}	2	1.058	1.140	1.040	0.950	1.025	1.094
	5	1.057	1.119	1.039	0.948	1.026	1.094
	10	1.057	1.097	1.035	0.948	1.024	1.098

7. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realiza un estudio estadístico que permite la conversión de curvas de atenuación o ecuaciones de predicción del movimiento GMPE a diferentes representaciones de la componente horizontal del movimiento y a la componente vertical. El estudio se basa en los supuestos presentados por Beyer y Bommer 2006 (Ref.1).

El estudio se hace sobre una base de datos de 680 registros correspondientes a 131 eventos sísmicos de magnitudes superiores a 5.5 Mw. La base de datos es recopilada y procesada satisfactoriamente logrando ampliar el rango de periodos de estudio hasta los 10 s para aproximadamente el 80 % de los registros disponibles. La importancia de este trabajo radica principalmente en que las curvas aquí obtenidas, primero, incluyen la componente vertical del movimiento no considerada en estudios anteriores y, segundo, es realizado sobre una base de datos nacional de sismos 99 % tipo subducción.

La información de cada registro es ordenada y almacenada en una estructura de datos que permite acceder a información del evento sísmico, la estación de registro, periodos de uso, espectros calculados para diferentes definiciones aquí consideradas y el registro de aceleraciones original procesado y sin procesar.

Se contemplan diferentes definiciones de la componente horizontal como la media geométrica GMxy, ampliamente usada en estudios previos, y la máxima dirección introducida hace un tiempo en códigos de diseño Estructural (Ref.5), además, se consideran distintas rotaciones de ejes para la media geométrica permitiendo independizarla de la orientación de los equipos de registro en terreno. Se introduce la componente vertical y su relación con la componente horizontal, permitiendo diferenciar su comportamiento para distintos rangos de periodos.

Se determinan las curvas de relación entre las diferentes definiciones con la media geométrica, mediante regresiones y se presentan los resultados obtenidos para amortiguamientos de 2, 5 y 10%, realizando una comparación con los resultados presentados por Beyer y Bommer (Ref.1).

Además, se hace una comparación cualitativa del comportamiento de la mediana de la relación entre la diferentes definiciones de la componente horizontal y la componente vertical con la media geométrica, para distintos amortiguamientos, para sismos interplaca e intraplaca, magnitudes mayores y menores a 6.5 Mw y el tipo de suelo.

Si bien el comportamiento cualitativo para algunas de las definiciones como la envolvente o la máxima dirección es el mismo que el observado por Beyer y Bommer (Ref.1), otras como la Horizontal 1 y 2 presentan comportamientos muy distintos observando un claro efecto de direccionalidad donde la mediana de la razón de la componente horizontal H1 alcanza siempre valores mayores que la mediana para la componente H2, dicha direccionalidad puede atribuirse a

que, dada la orientación predominante de los sensores en terreno, H1 es aproximadamente normal a la fosa y H2 paralela a la fosa y al ser la base de datos dominada por sismos interplaca, H1 y H2 podrían considerarse normal y paralela a la falla respectivamente. Además, se observa que sismos intraplaca también presentan efectos de direccionalidad aunque en menor medida que los interplaca, en ambos casos dicha direccionalidad se hace más evidente para periodos mayores a 0.2 s y para sismos de mayor magnitud. Por otro lado, se observan efectos de direccionalidad mayores para suelos más competentes, posiblemente por su capacidad de transmitir las características originales de las ondas sísmicas. Este resultado permite ajustar el espectro de diseño para estructuras considerando su orientación con respecto a una falla.

En el caso de la máxima dirección para periodos menores a 2 s, la mediana es mayor para sismos de menor magnitud, no presenta sensibilidad clara al mecanismo de falla y mientras mayor amortiguamiento la razón disminuye.

En cuanto a la componente vertical, es la que presenta mayor variación con la magnitud, el amortiguamiento y el mecanismo de falla siendo mayor para sismos intraplaca en periodos bajos y mayor para sismo interplaca para periodos altos. El efecto del amortiguamiento es mayor para periodos menores a 0.1 s aumentando la mediana cuando el amortiguamiento disminuye. Para distintas magnitudes las medianas coinciden en torno a los 0.6 s, para periodos mayores la mediana es mayor para sismos de mayor magnitud. Por otro lado, se puede distinguir la mediana para distintos suelos observando los mínimos que son mayores y se presentan en periodos menores para suelos de mejor calidad. Los resultados aquí obtenidos muestran la necesidad de considerar el rango de periodos cuando se obtiene la componente vertical a partir de la horizontal ya que el comportamiento varía considerablemente entre periodos altos, medios y bajos.

Adicionalmente, se obtienen las curvas y factores para el cálculo de la variabilidad para la GMPE asociada a la definición convertida. Al comparar los resultados obtenidos para desviación asociada a la conversión con Beyer y Bommer (Ref.1), se observa que para la envolvente y la máxima dirección, la desviación estándar es muy similar, para GMRotD50 se obtienen valores mayores y para GMRotI50, Random, H1 y H2 valores menores.

Por otro lado, para el factor de conversión de la desviación de la GMPE original se obtienen resultados menores a los de Beyer y Bommer (Ref.1), pero mayores a la unidad para todas las definiciones de la componente horizontal y para la vertical este factor es mayor a la unidad para periodos menores a 0.25 s y mayores 1.5 s. Se concluye que, en general, en este estudio resulta una menor variabilidad para la representación de la componente horizontal convertida que lo obtenido por Beyer y Bommer (Ref.1) en su estudio.

A continuación se presenta un recuento de los resultados obtenidos para la mediana de la razón en cada caso.

Ecuación para la mediana de la razón de las definiciones horizontales H1 y H2.

$$\left(\frac{Sa_i(T_j)}{Sa_{GM}(T_j)} \right)_{mediana} = \begin{cases} C1 & T_j \leq 0.18 \text{ seg} \\ C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.18)}{\log(2.5/0.18)} & 0.18 \text{ seg} < T_j < 2.5 \text{ seg} \\ C2 & 2.5 \leq T_j \leq 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Ecuación para la mediana de la razón de las definiciones principales 1 y 2.

$$\left(\frac{Sa_i(T_j)}{Sa_{GM}(T_j)} \right)_{mediana} = \begin{cases} C1 & T_j \leq 0.08 \text{ seg} \\ C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.08)}{\log(2.5/0.08)} & 0.08 \text{ seg} < T_j < 2.5 \text{ seg} \\ C2 & 2.5 \leq T_j \leq 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Ecuación para la mediana de la razón de las definiciones Máxima Dirección, Envolvente, GMRotD50, GMRotI50, Media Aritmética y Random.

$$\left(\frac{Sa_i(T_j)}{Sa_{GM}(T_j)} \right)_{mediana} = \begin{cases} C1 & T_j \leq 0.08 \text{ seg} \\ C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.08)}{\log(1/0.08)} & 0.08 \text{ seg} < T_j < 1 \text{ seg} \\ C2 & 1 \leq T_j \leq 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Ecuación para la mediana de la razón de la componente Vertical.

$$\left(\frac{Sa_i(T_j)}{Sa_{GM}(T_j)} \right)_{mediana} = \begin{cases} C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.012)}{\log(0.035/0.012)} & T_j \leq 0.035 \text{ seg} \\ C2 & 0.035 \text{ seg} \leq T_j \leq 0.08 \text{ seg} \\ C2 + (C3 - C2) \cdot \frac{\log(T_j/0.08)}{\log(0.3/0.08)} & 0.08 \text{ seg} < T_j < 0.3 \text{ seg} \\ C3 & 0.3 \text{ seg} \leq T_j \leq 0.8 \text{ seg} \\ C3 + (C4 - C3) \cdot \frac{\log\left(\frac{T_j}{0.8}\right)}{\log\left(\frac{10}{0.8}\right)} & 0.8 \text{ seg} < T_j < 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Tabla 7.1 Constantes para la mediana de las definiciones horizontales.

Razón	Amortiguamiento					
	2%		5%		10%	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2
$H1/GM_{xy}$	1.004	1.092	1.006	1.099	1.008	1.101
$H2/GM_{xy}$	0.996	0.916	0.994	0.910	0.992	0.908
$Princ\ 1/GM_{xy}$	1.015	1.057	1.015	1.058	1.016	1.054
$Princ\ 2/GM_{xy}$	0.986	1.001	0.981	0.995	0.977	0.990
$MaxDir/GM_{xy}$	1.180	1.300	1.179	1.294	1.180	1.289
Env/GM_{xy}	1.091	1.179	1.090	1.174	1.091	1.169
GM_{RotD50}/GM_{xy}	1.001	1.002	1.001	1.003	1.001	1.002
GM_{RotI50}/GM_{xy}	1.003	1.007	1.003	1.007	1.004	1.007
AM_{xy}/GM_{xy}	1.004	1.014	1.004	1.013	1.004	1.012
$Random/GM_{xy}$	1.001	1.006	1.001	1.005	1.000	1.004

Tabla 7.2 Constantes para la mediana de la componente vertical.

Razón	β [%]	C1	C2	C3	C4
Vertical GM_{xy}	2	0.600	0.752	0.502	0.823
	5	0.600	0.689	0.491	0.807
	10	0.599	0.648	0.486	0.785

A continuación se presenta un recuento de los resultados obtenidos para la desviación estándar del logaritmo de la razón en cada caso.

Ecuación para la desviación estándar del logaritmo de la razón para las definiciones horizontales H1 y H2, y principales 1 y 2.

$$\sigma_{\log (S a_i(T_j) / S a_{G M}(T_j))} = \begin{cases} C1 & T_j \leq 0.08 \text{ seg} \\ C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.08)}{\log(1/0.08)} & 0.08 \text{ seg} < T_j < 1 \text{ seg} \\ C2 & 1 \leq T_j \leq 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Ecuación para la desviación estándar del logaritmo de la razón para las definiciones Máxima Dirección, Envolvente, GMRotD50, GMRotI50, AMxy y Random.

$$\sigma_{\log (S a_i(T_j) / S a_{G M}(T_j))} = \begin{cases} C1 & T_j \leq 0.08 \text{ seg} \\ C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.08)}{\log(3/0.08)} & 0.08 \text{ seg} < T_j < 3 \text{ seg} \\ C2 & 3 \leq T_j \leq 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Ecuación para la desviación estándar del logaritmo de la razón para la componente Vertical.

$$\sigma_{\log (S a_i(T_j) / S a_{G M}(T_j))} = \begin{cases} C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.012)}{\log(0.035/0.012)} & T_j \leq 0.035 \text{ seg} \\ C2 & 0.035 \text{ seg} \leq T_j \leq 0.08 \text{ seg} \\ C2 + (C3 - C2) \cdot \frac{\log(T_j/0.08)}{\log(0.8/0.08)} & 0.08 \text{ seg} < T_j < 0.8 \text{ seg} \\ C3 & 0.8 \text{ seg} \leq T_j \leq 1 \text{ seg} \\ C3 + (C4 - C3) \cdot \frac{\log(T_j/1)}{\log(1.8/1)} & 1 \text{ seg} < T_j < 1.8 \text{ seg} \\ C4 & 1.8 \leq T_j \leq 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Tabla 7.3 Constantes para la desviación estándar para las definiciones horizontales.

Razón	Amortiguamiento					
	2%		5%		10%	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2
$H1/GM_{xy}$	0.063	0.106	0.062	0.103	0.062	0.100
$H2/GM_{xy}$	0.063	0.106	0.062	0.103	0.062	0.100
$Princ\ 1/GM_{xy}$	0.080	0.121	0.080	0.120	0.080	0.119
$Princ\ 2/GM_{xy}$	0.079	0.120	0.079	0.118	0.079	0.117
$MaxDir/GM_{xy}$	0.043	0.066	0.043	0.065	0.043	0.064
Env/GM_{xy}	0.042	0.075	0.041	0.074	0.041	0.073
$GMRotD50/GM_{xy}$	0.022	0.037	0.022	0.037	0.022	0.036
$GMRotI50/GM_{xy}$	0.026	0.043	0.026	0.042	0.025	0.041
AM_{xy}/GM_{xy}	0.010	0.026	0.010	0.025	0.009	0.025
$Random/GM_{xy}$	0.063	0.118	0.062	0.115	0.062	0.113

Tabla 7.4 Constantes desviación estándar para la componente Vertical.

Razón	β [%]	C1	C2	C3	C4
Vertical GM_{xy}	2	0.139	0.180	0.244	0.192
	5	0.138	0.162	0.232	0.188
	10	0.138	0.150	0.221	0.187

A continuación se presenta un recuento de los resultados obtenidos para el factor R para el cálculo de la variabilidad.

Tabla 7.5 Factor R para el cálculo de la variabilidad de las definiciones horizontales.

R	Amortiguamiento β [%]		
	2	5	10
$H1/GM_{xy}$	1.018	1.019	1.019
$H2/GM_{xy}$	1.007	1.005	1.005
$Princ\ 1/GM_{xy}$	1.014	1.015	1.015
$Princ\ 2/GM_{xy}$	1.015	1.015	1.015
AM_{xy}/GM_{xy}	1.002	1.002	1.002
$Random/GM_{xy}$	1.012	1.012	1.012
$GMRotD50/GM_{xy}$	1.001	1.001	1.001
$GMRotI50/GM_{xy}$	1.001	1.001	1.001
Env/GM_{xy}	1.013	1.013	1.013
$MaxDir/GM_{xy}$	1.012	1.012	1.013

Ecuación para el factor R para el cálculo de la variabilidad de la componente Vertical.

$$\frac{\sigma_{\log(Sa_i)}}{\sigma_{\log(Sa_{GM})}} = \begin{cases} C1 + (C2 - C1) \cdot \frac{\log(T_j/0.012)}{\log(0.045/0.012)} & T_j \leq 0.045 \text{ seg} \\ C2 + (C3 - C2) \cdot \frac{\log(T_j/0.045)}{\log(0.13/0.045)} & 0.045 \text{ seg} < T_j < 0.13 \text{ seg} \\ C3 & 0.13 \text{ seg} < T_j < 0.2 \text{ seg} \\ C3 + (C4 - C3) \cdot \frac{\log(T_j/0.2)}{\log(0.35/0.2)} & 0.2 \text{ seg} < T_j < 0.35 \text{ seg} \\ C4 & 0.35 \text{ seg} \leq T_j \leq 0.9 \text{ seg} \\ C4 + (C5 - C4) \cdot \frac{\log(T_j/0.9)}{\log(2/0.9)} & 0.9 \text{ seg} < T_j < 2 \text{ seg} \\ C5 + (C6 - C5) \cdot \frac{\log(T_j/2)}{\log(10/2)} & 2 \text{ seg} < T_j < 10 \text{ seg} \end{cases}$$

Tabla 7.6 Constantes para el factor R para la componente Vertical.

Razón	β [%]	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Vertical GM_{xy}	2	1.058	1.140	1.040	0.950	1.025	1.094
	5	1.057	1.119	1.039	0.948	1.026	1.094
	10	1.057	1.097	1.035	0.948	1.024	1.098

Con estos resultados es posible convertir, por ejemplo, la aceleración espectral de GM_{xy} a $H1$ para un periodo $T_j = 2$ s y un 2% de amortiguamiento como sigue:

$$Sa_{H1}(T_j = 2) = Sa_{GM_{xy}}(T_j = 2) \cdot 1.085$$

Donde $Sa_{GM_{xy}}(T_j = 2)$ es obtenida de la GMPE.

Y la variabilidad :

$$\sigma^2_{\log(Sa_{H1})} = \sigma^2_{\log(Sa_{GM_{xy}})} \cdot 1.018^2 + 0.106^2$$

Donde $\sigma^2_{\log(Sa_{GM_{xy}})}$ es obtenida de la GMPE.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Beyer, K., and J. J. Bommer (2006). Relationships between median values and between aleatory variabilities for different definitions of the horizontal component of motion, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 96, 1512–1522.
2. Boore, D. M., 2010. Orientation-independent, non geometric-mean measures of seismic intensity from two horizontal components of motion, *Bull Seism Soc Am.* 100, 1830–1835.
3. Boore, D. M., J. Watson-Lamprey, and N. A. Abrahamson (2006). Orientation-independent measures of ground motion, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 96, 1502–1511.
4. Huang, Y.-N., Whittaker, A., and Luco, N., 2009. Orientation of Maximum spectral demands in the near-fault region, *Earthquake Spectra* 25, 707–717.
5. Stewart, J. P., Abrahamson, N. A., Atkinson, G. M., Baker, J., Boore, D. M., Bozorgnia, Y., Campbell, K. W., Comartin, C. D., Idriss, I. M., Lew, M., Mehrain, M., Moehle, J. P., Naeim, F., and Sabol, T. A. (2011). “Representation of Bi-Directional Ground Motions for Design Spectra in Building Codes.” *Earthquake Spectra*, 27(3), 927-937.
6. Contreras L.V. (2009). Curvas de atenuación espectrales para sismos chilenos. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.
7. Beyer, K., and J. J. Bommer (2007). Erratum. Relationships between median values and between aleatory variabilities for different definitions of the horizontal component of motion, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 97, 1769.
8. López J.I. (2016). Estudio de la generación de espectros medios condicionales utilizando la base de datos de sismos con magnitud de momento igual o superior a 6.5 en Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.
9. Idini Z.B. (2016). Curvas de atenuación para terremotos intraplaca e interplaca en la zona de subducción chilena. Tesis para optar al grado de magister en ingeniería, mención ingeniería sísmica. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.
10. Bozorgnia Y. and K.W. Campbell. “Ground motion model for the vertical-to-horizontal (V/H) ratios of PGA, PGV, and response spectra”. *Journal of Earthquake Spectra*, 2016.

ANEXO A. FIGURAS

Razones de Espectro de Aceleración para amortiguamientos de 2 y 10 %

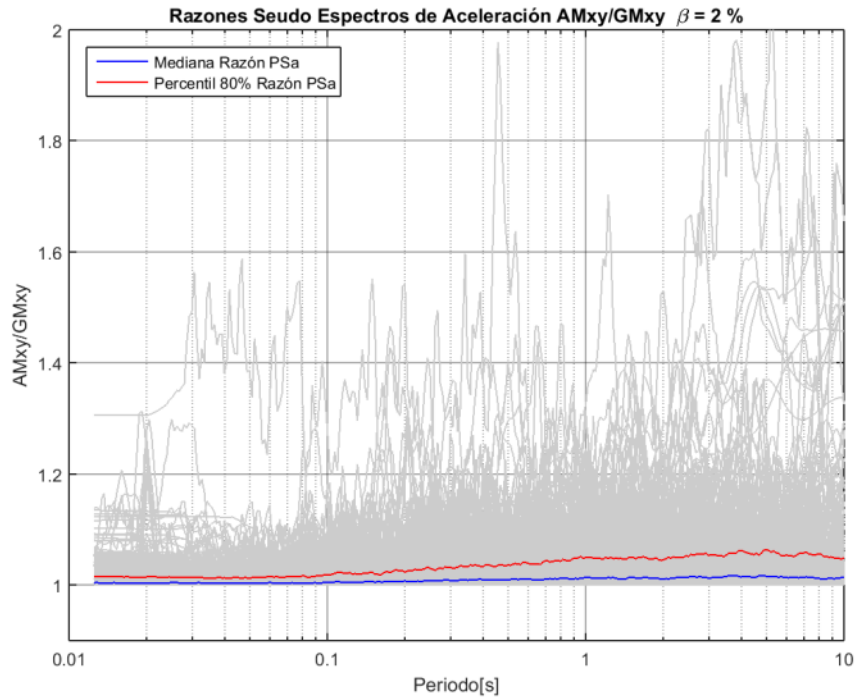


Figura A 1 Razones de Seudo Espectros de Aceleración AMxy/GMxy. $\beta = 2 \%$

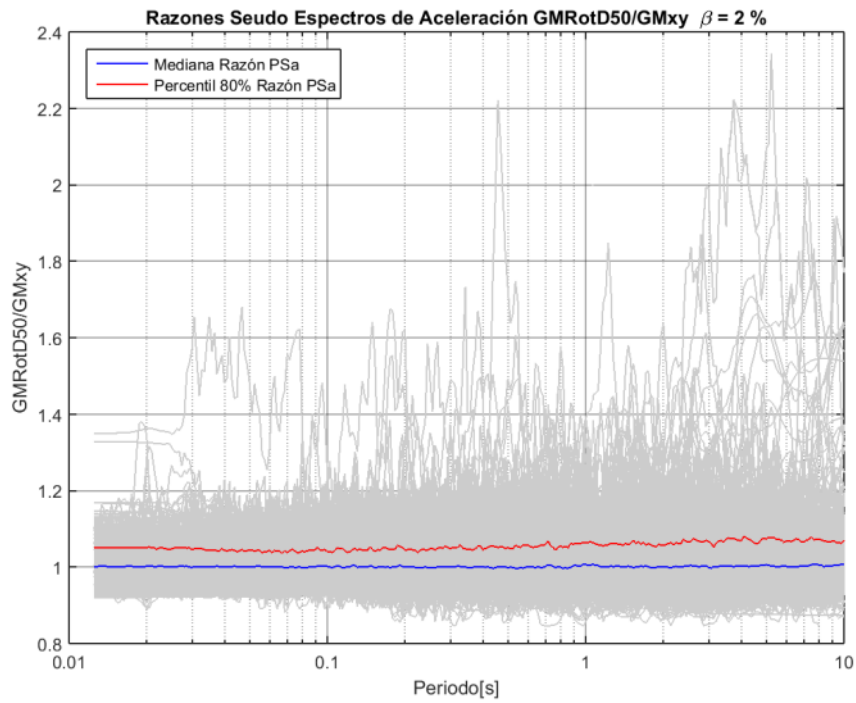


Figura A 2 Razones de Seudo Espectros de Aceleración GMRotD50/GMxy. $\beta = 2 \%$

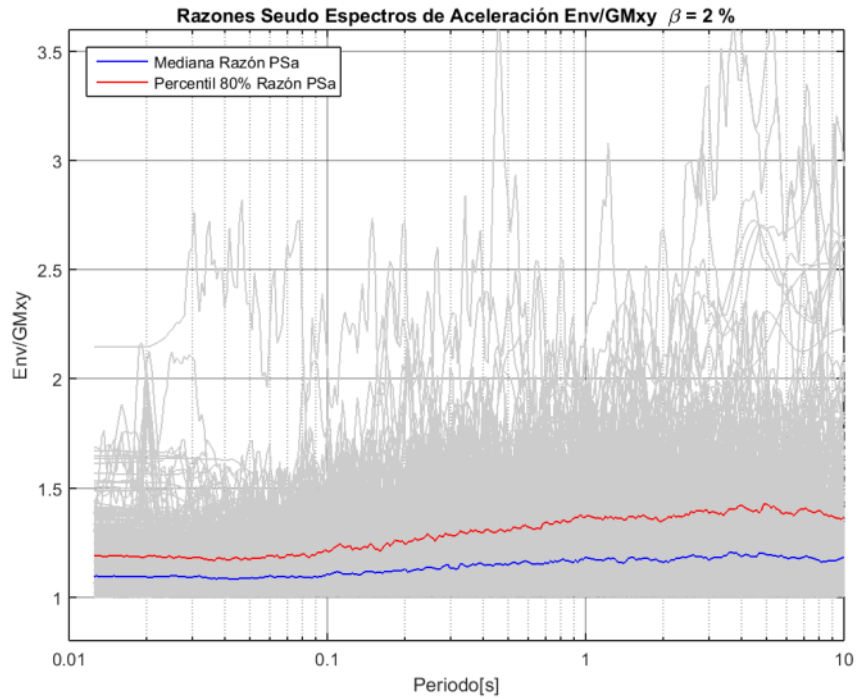


Figura A 3 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Env/GMxy. $\beta = 2 \%$

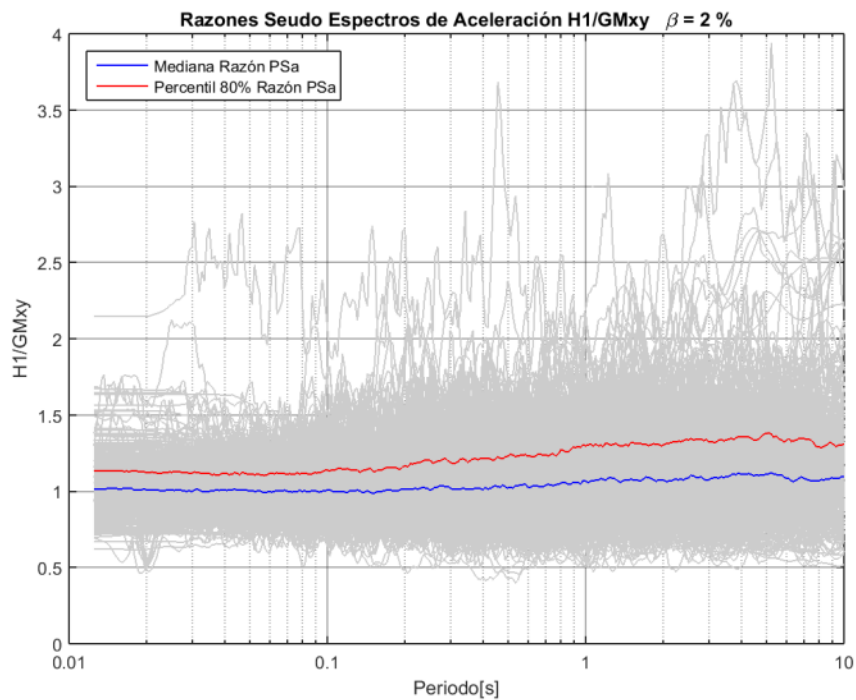


Figura A 4 Razones de Seudo Espectros de Aceleración H1/GMxy. $\beta = 2 \%$

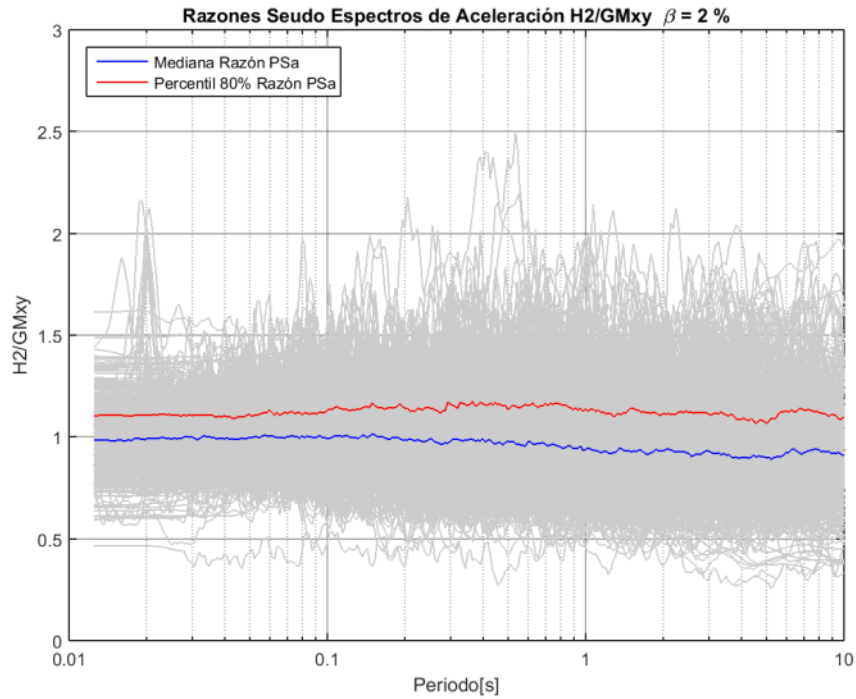


Figura A 5 Razones de Seudo Espectros de Aceleración H2/GMxy. $\beta = 2 \%$

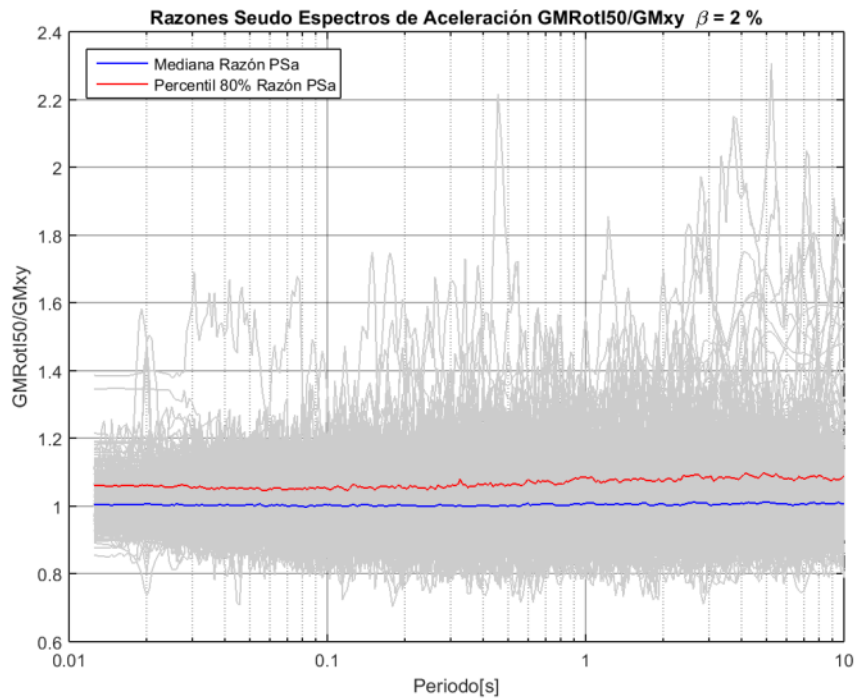


Figura A 6 Razones de Seudo Espectros de Aceleración GMRotI50/GMxy. $\beta = 2 \%$

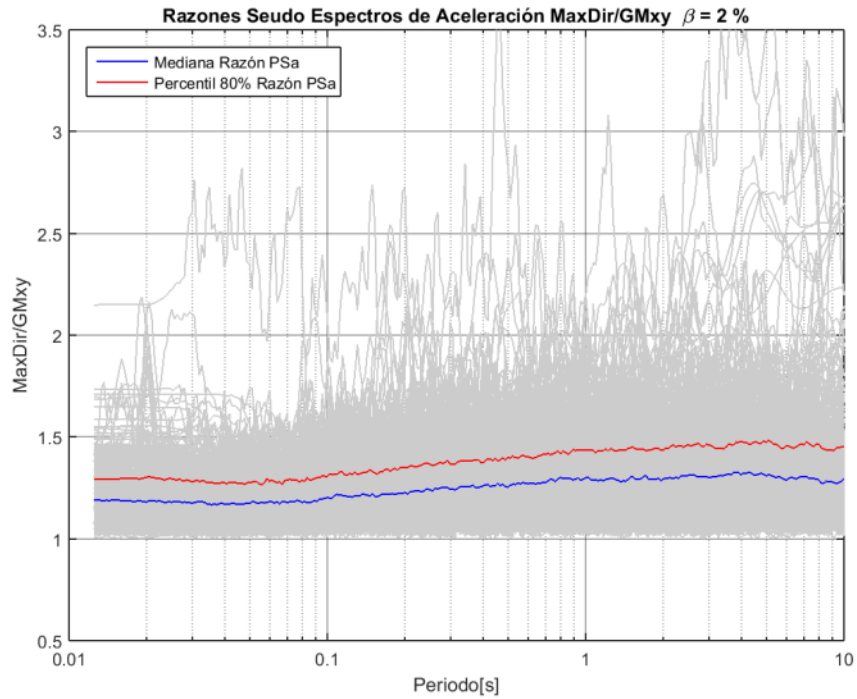


Figura A 7 Razones de Seudo Espectros de Aceleración MaxDir/GMxy. $\beta = 2 \%$

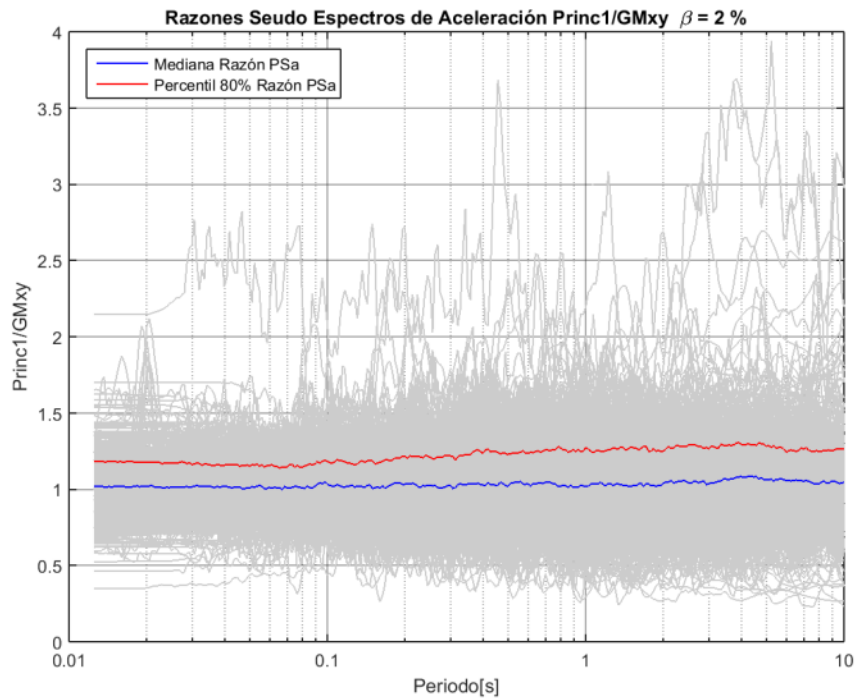


Figura A 8 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Princ1/GMxy. $\beta = 2 \%$

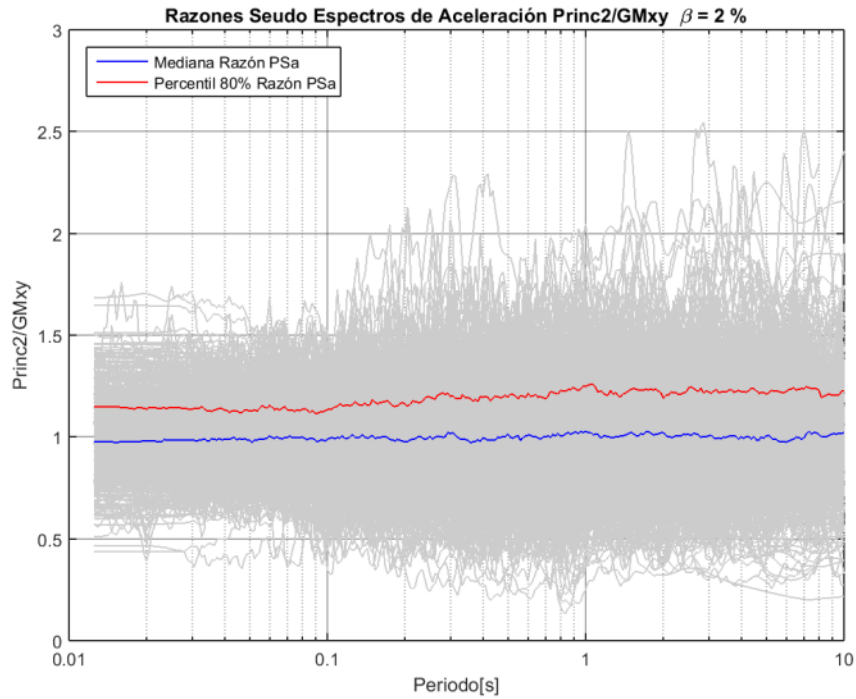


Figura A 9 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Princ2/GMxy. $\beta = 2 \%$

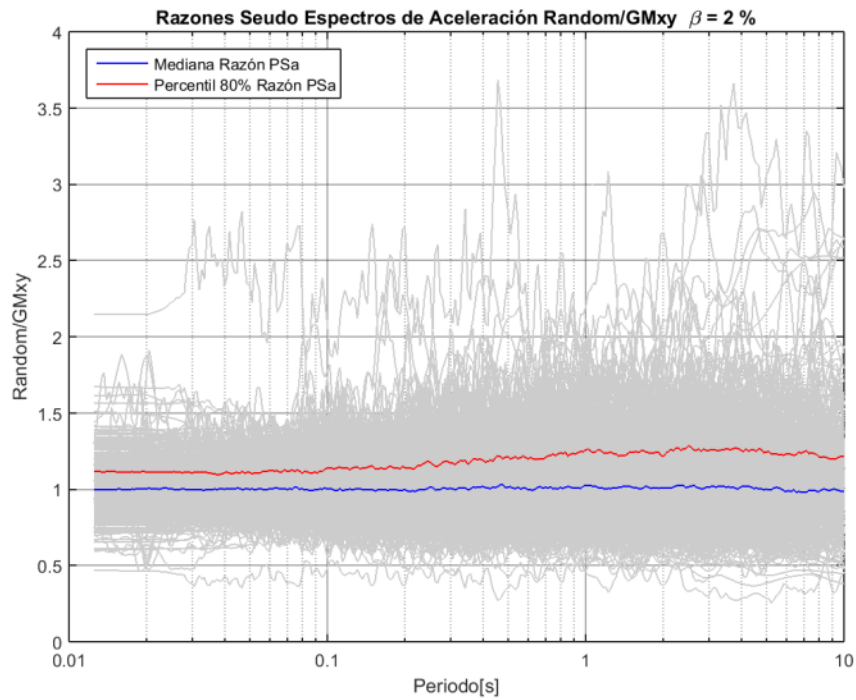


Figura A 10 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Random/GMxy. $\beta = 2 \%$

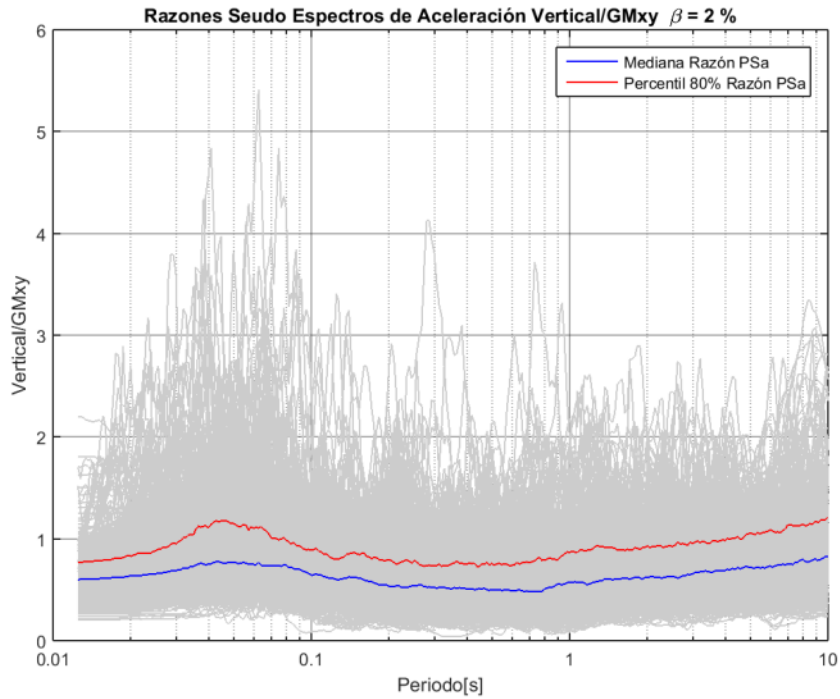


Figura A 11 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Vertical/GMxy. $\beta = 2\%$

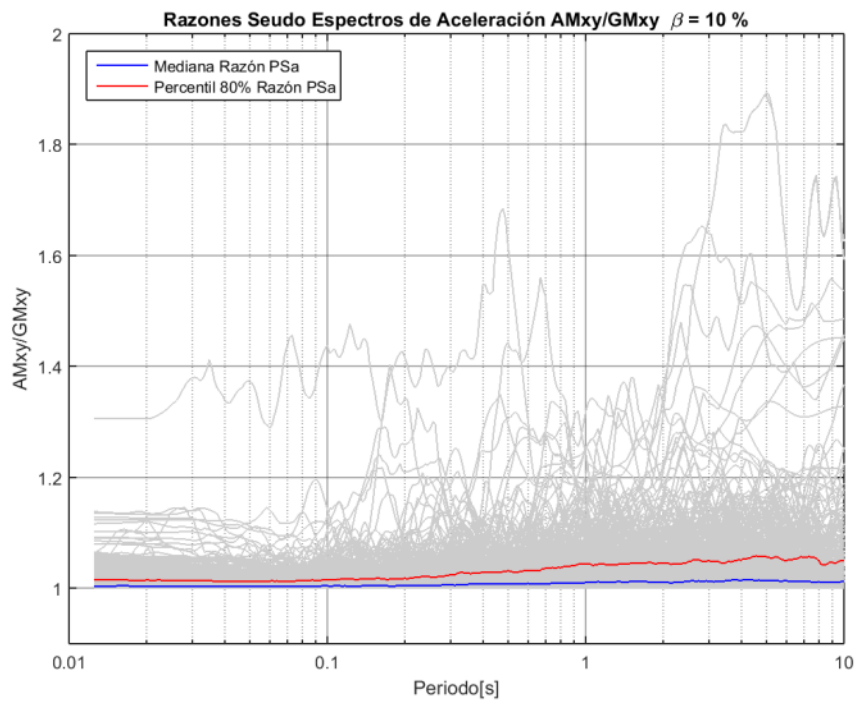


Figura A 12 Razones de Seudo Espectros de Aceleración AMxy/GMxy. $\beta = 10\%$

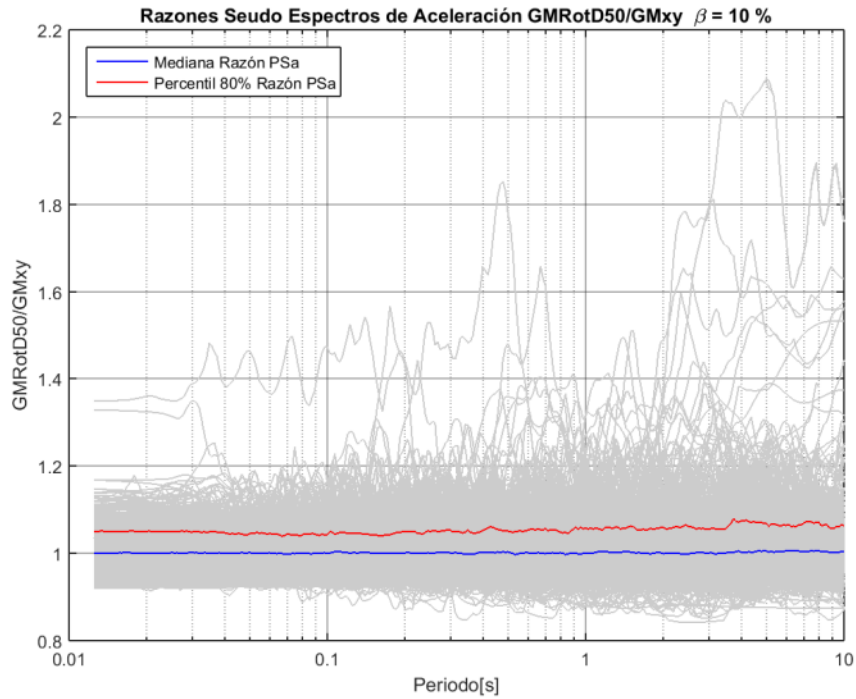


Figura A 13 Razones de Seudo Espectros de Aceleración GMRotD50/GMxy. $\beta = 10 \%$

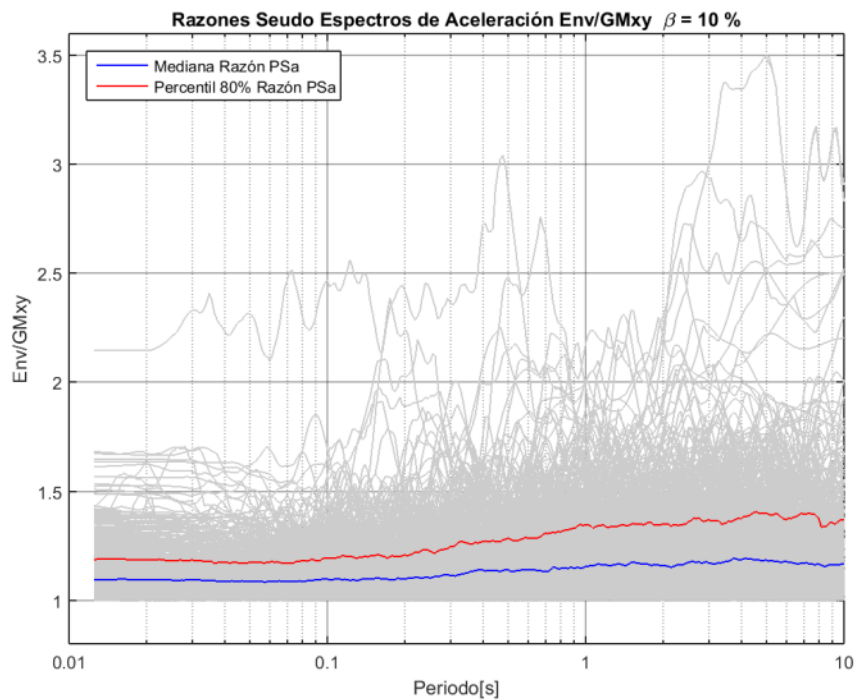


Figura A 14 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Env/GMxy. $\beta = 10 \%$

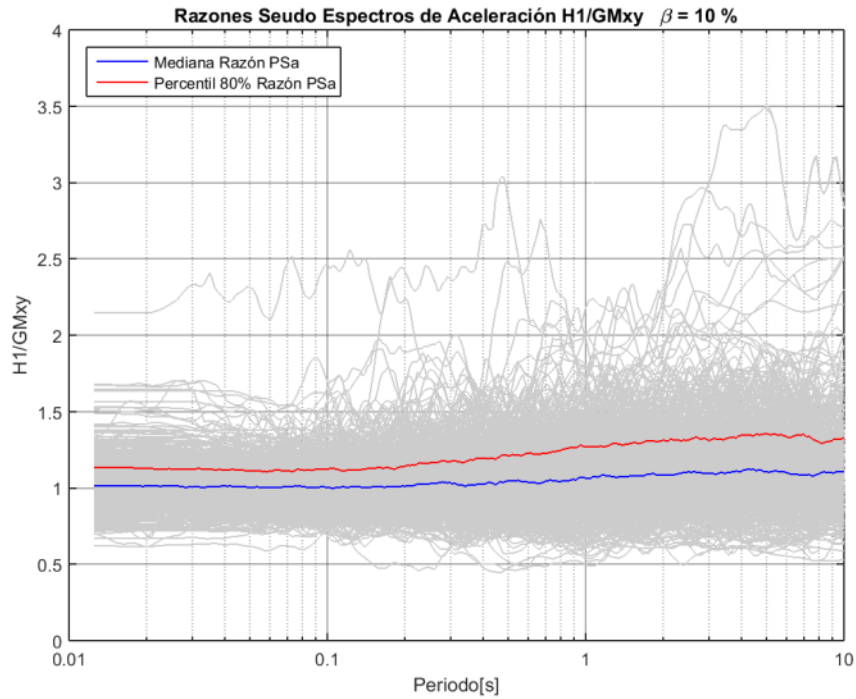


Figura A 15 Razones de Seudo Espectros de Aceleración H1/GMxy. $\beta = 10 \%$

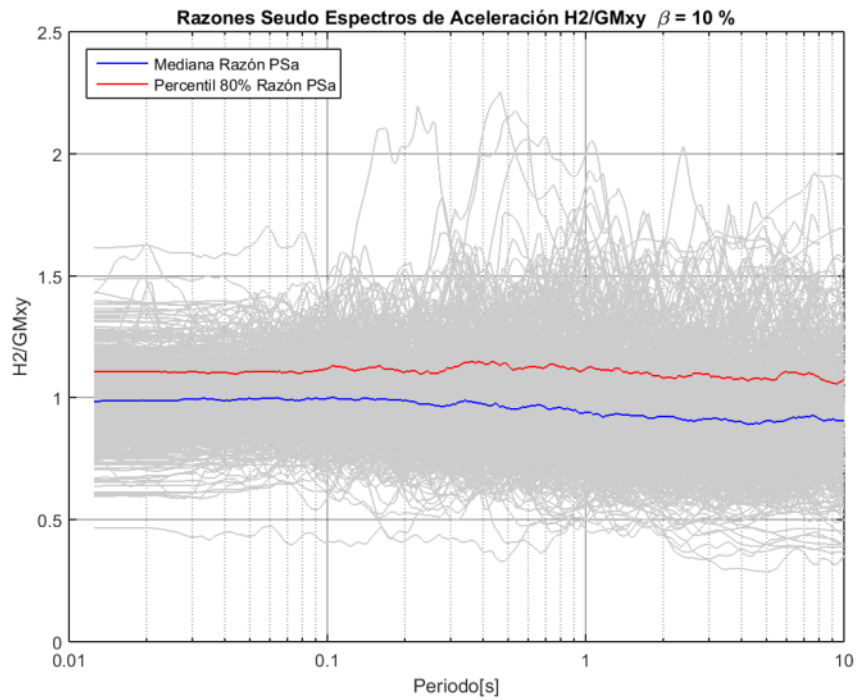


Figura A 16 Razones de Seudo Espectros de Aceleración H2/GMxy. $\beta = 10 \%$

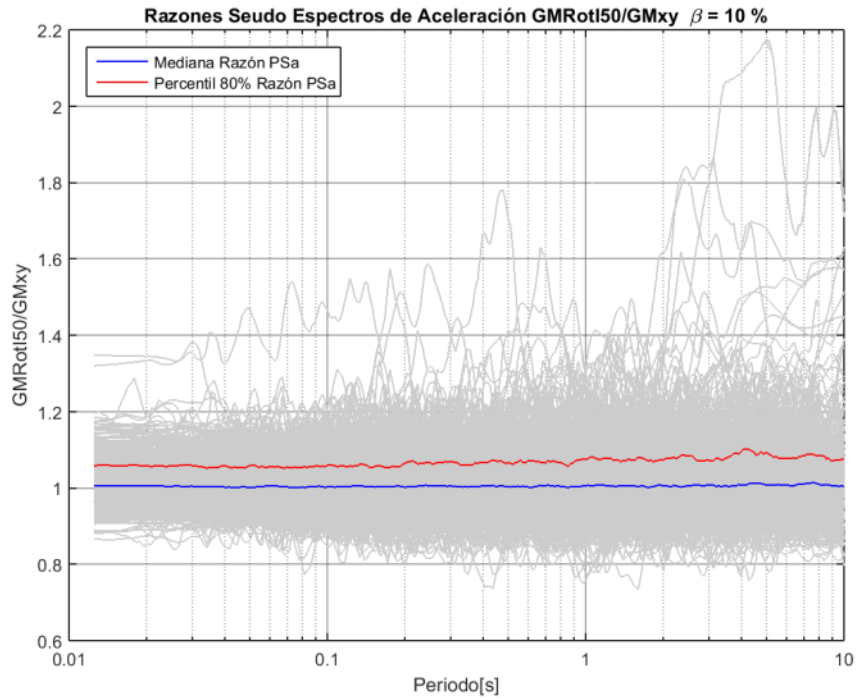


Figura A 17 Razones de Seudo Espectros de Aceleración GMRotI50/GMxy. $\beta = 10 \%$

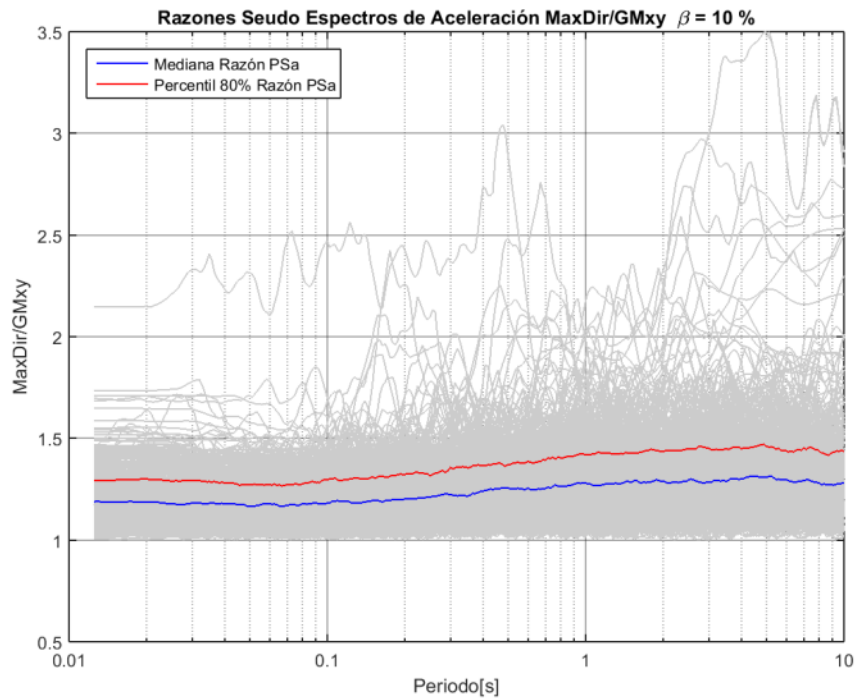


Figura A 18 Razones de Seudo Espectros de Aceleración MaxDir/GMxy. $\beta = 10 \%$

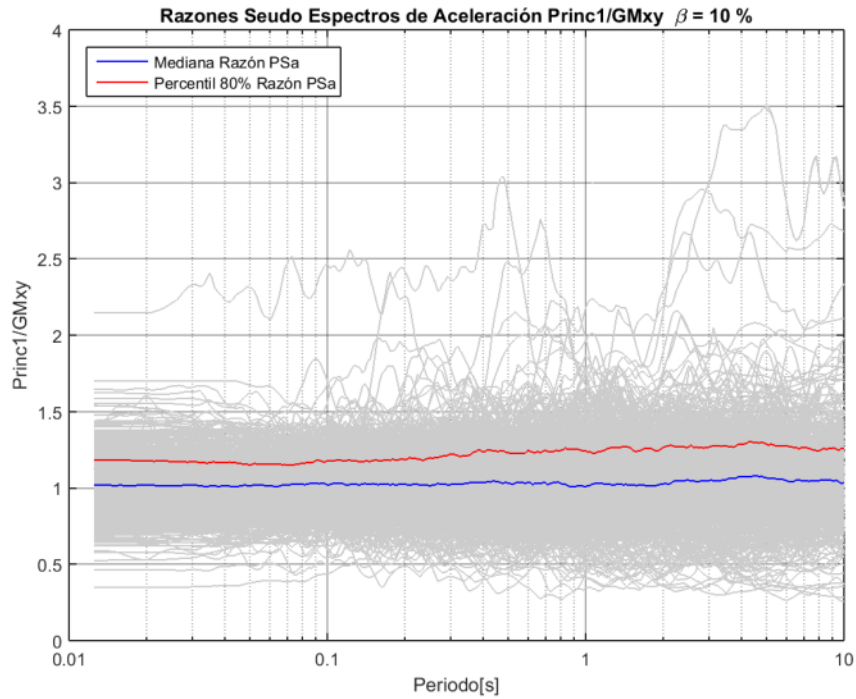


Figura A 19 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Princ1/GMxy. $\beta = 10 \%$

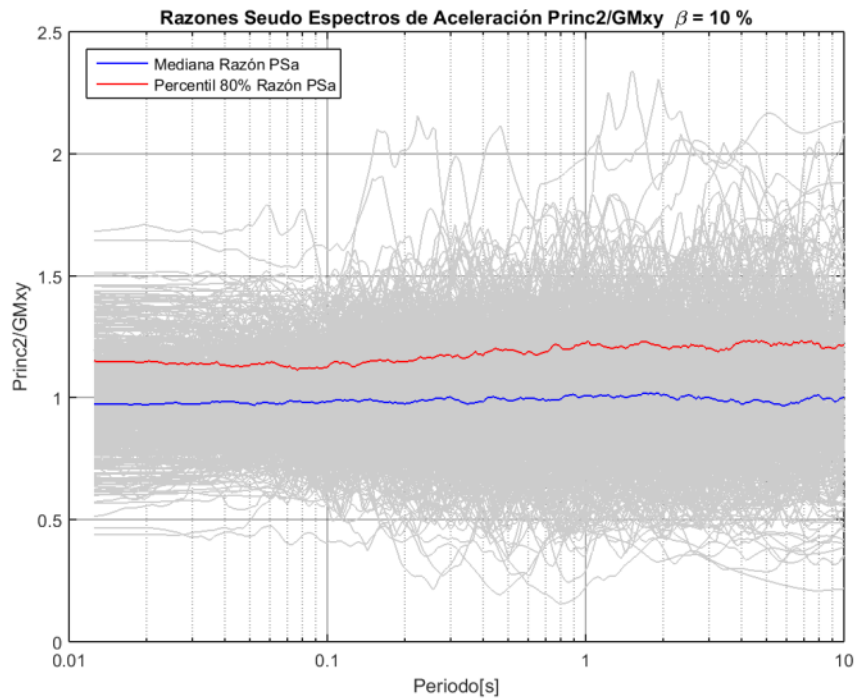


Figura A 20 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Princ2/GMxy. $\beta = 10 \%$

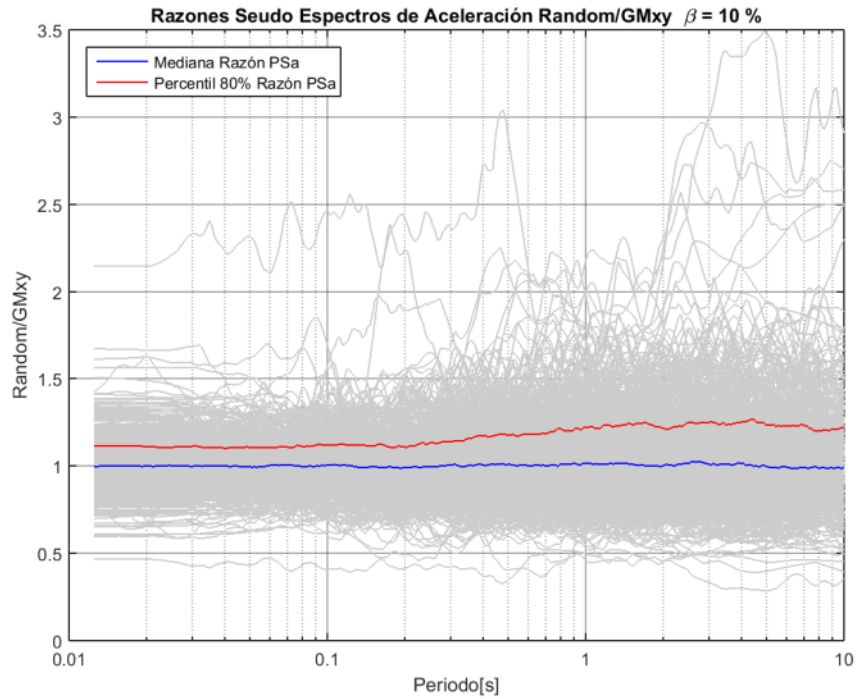


Figura A 21 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Random/GMxy. $\beta = 10\%$

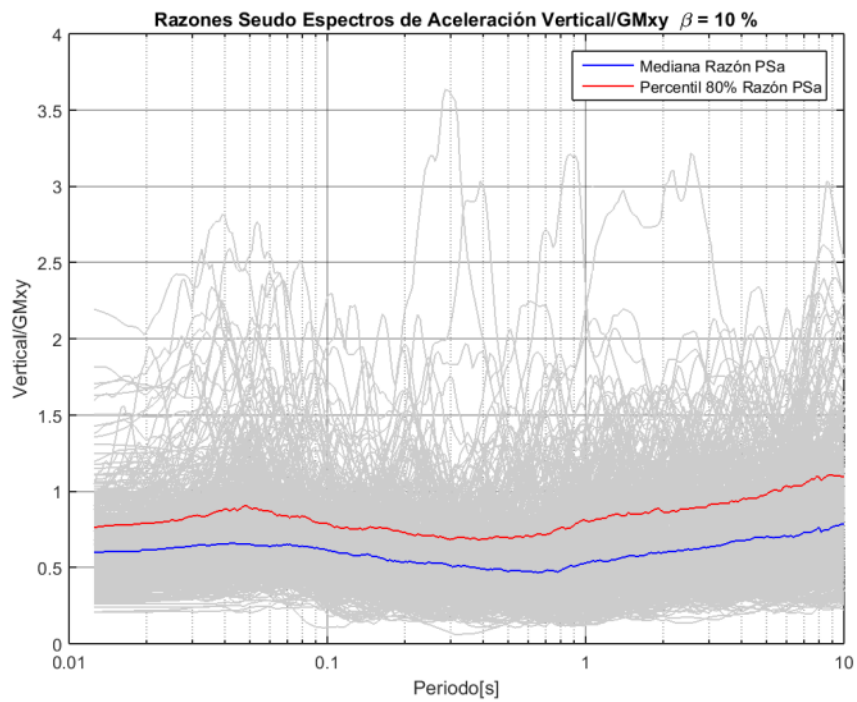


Figura A 22 Razones de Seudo Espectros de Aceleración Vertical/GMxy. $\beta = 10\%$

Regresión y Obtención de Curvas de Conversión para las Diferentes Definiciones.

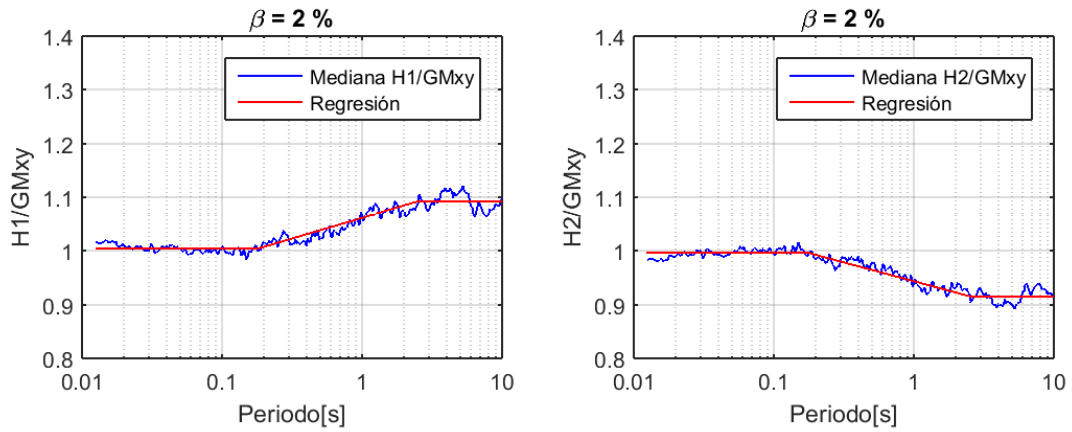


Figura A 23 Regresión de razones de Seudo Espectros H1 y H2. $\beta = 2 \%$

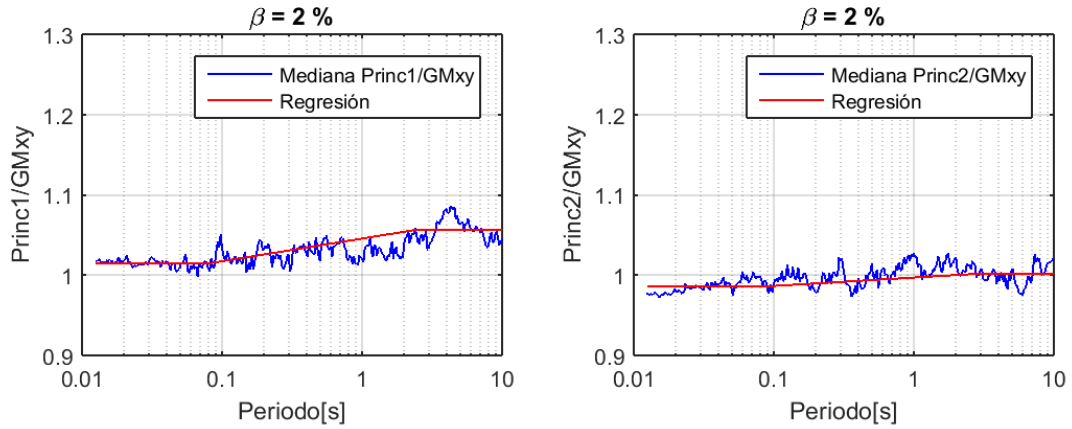


Figura A 24 Regresión de razones de Seudo Espectros Principal 1 y 2 . $\beta = 2 \%$

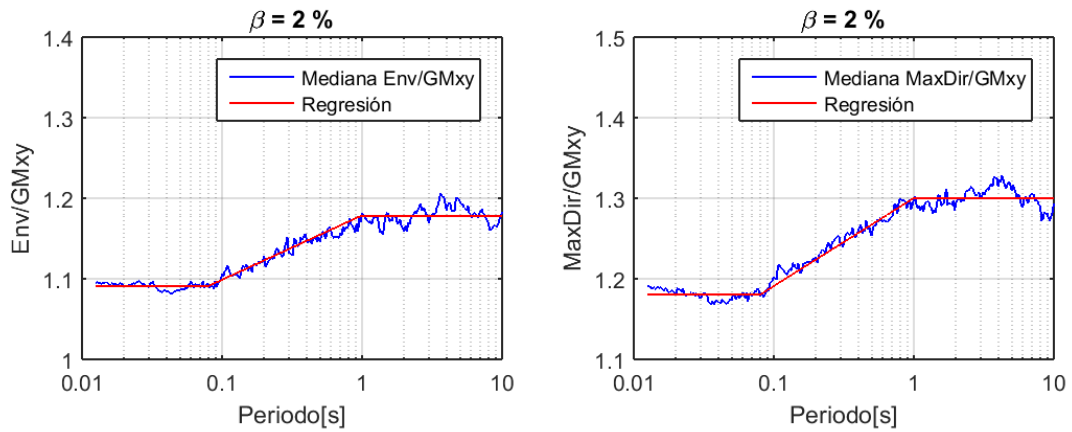


Figura A 25 Regresión de razones de Seudo Espectros Env y MaxDir. $\beta = 2 \%$

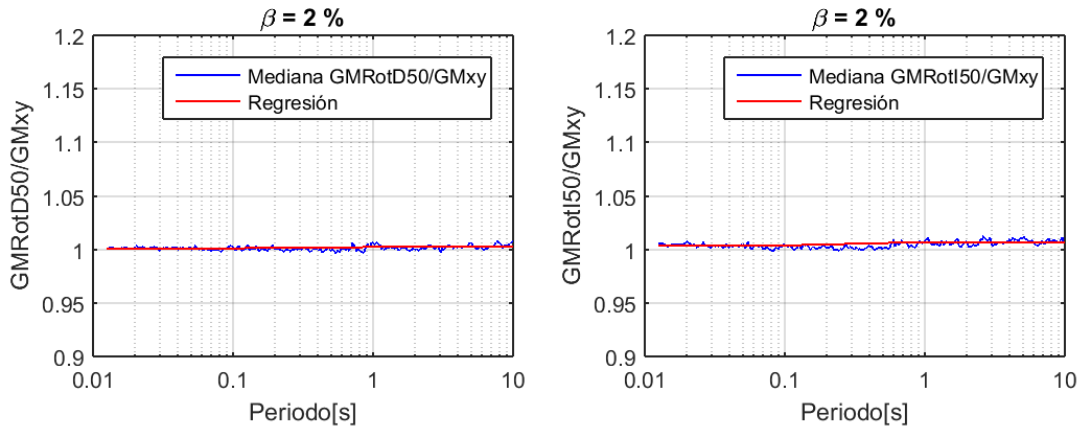


Figura A 26 Regresión de razones de Seudo Espectros GMRotD50 y GMRotI50. $\beta = 2\%$

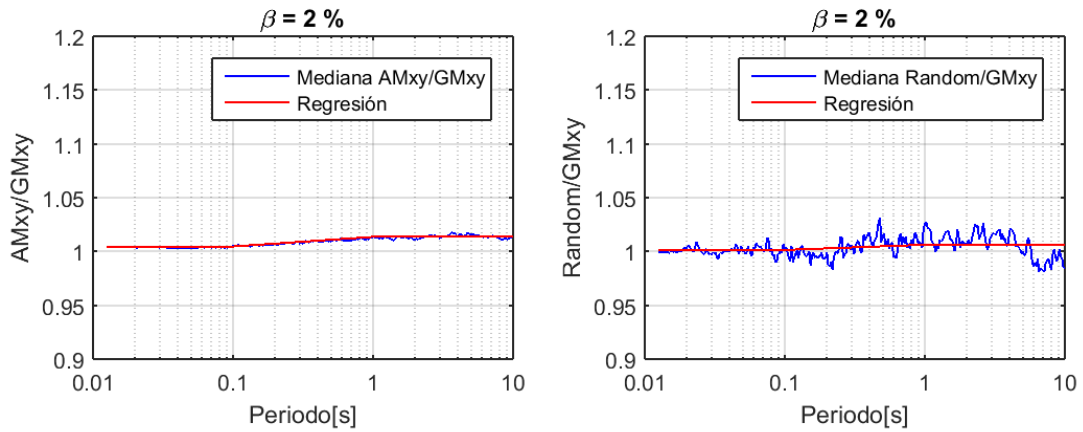


Figura A 27 Regresión de razones de Seudo Espectros AMxy y Random. $\beta = 2\%$

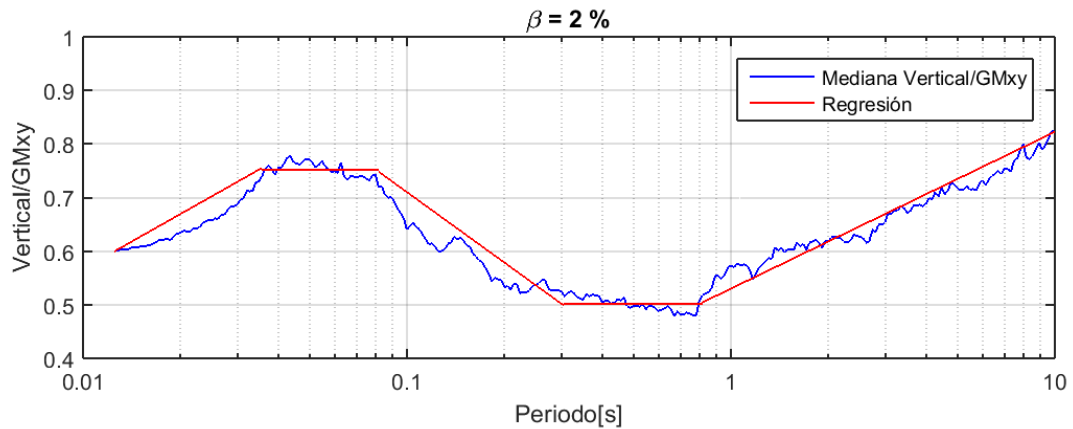


Figura A 28 Regresión de razones de Seudo Espectros Vertical. $\beta = 2\%$

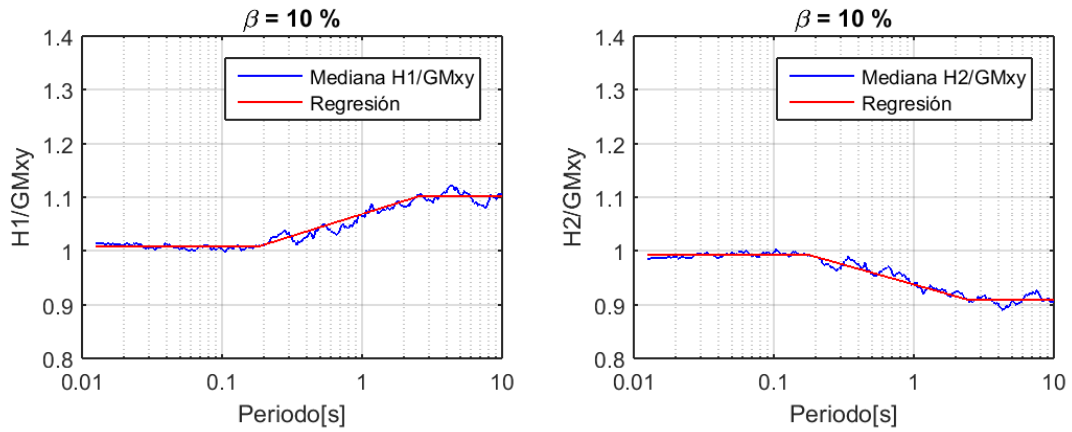


Figura A 29 Regresión de razones de Seudo Espectros H1 y H2 . $\beta = 10 \%$

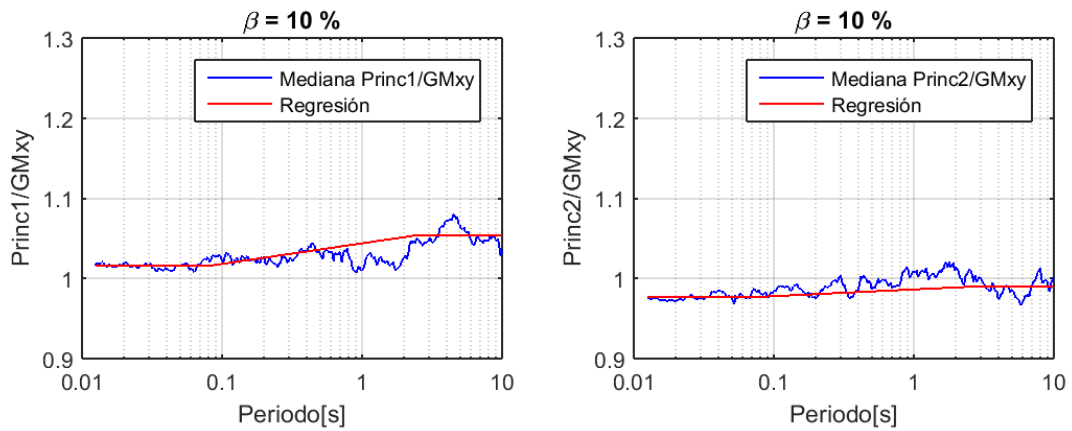


Figura A 30 Regresión de razones de Seudo Espectros Principal 1 y 2 . $\beta = 10 \%$

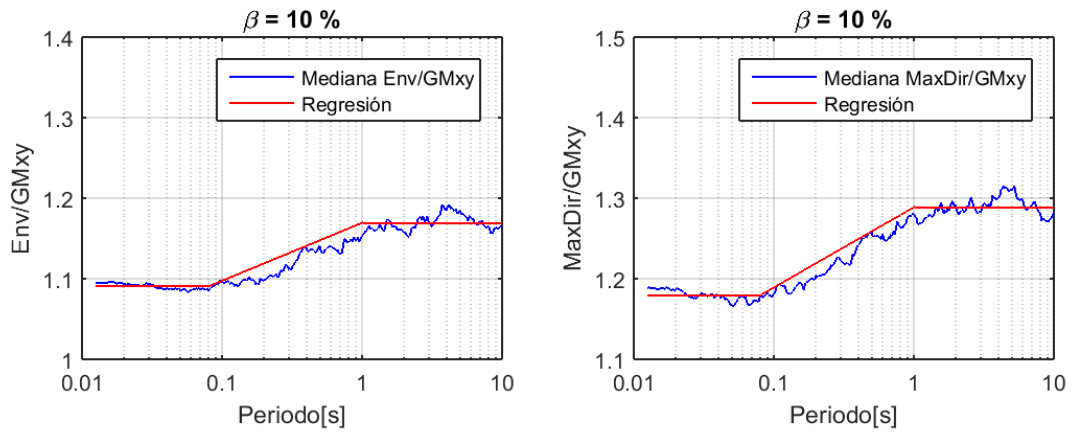


Figura A 31 Regresión de razones de Seudo Espectros Env y MaxDir. $\beta = 10 \%$

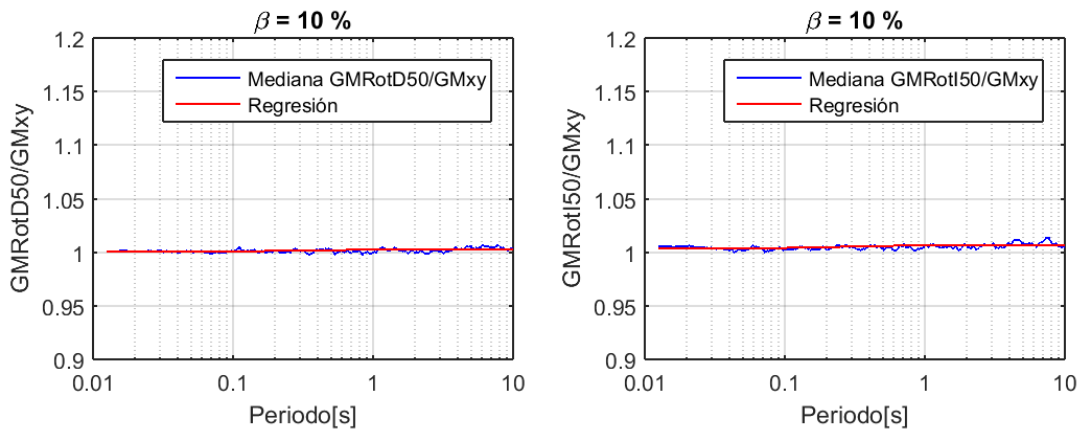


Figura A 32 Regresión de razones de Seudo Espectros GMRotD50 y GMRotI50. $\beta = 10\%$

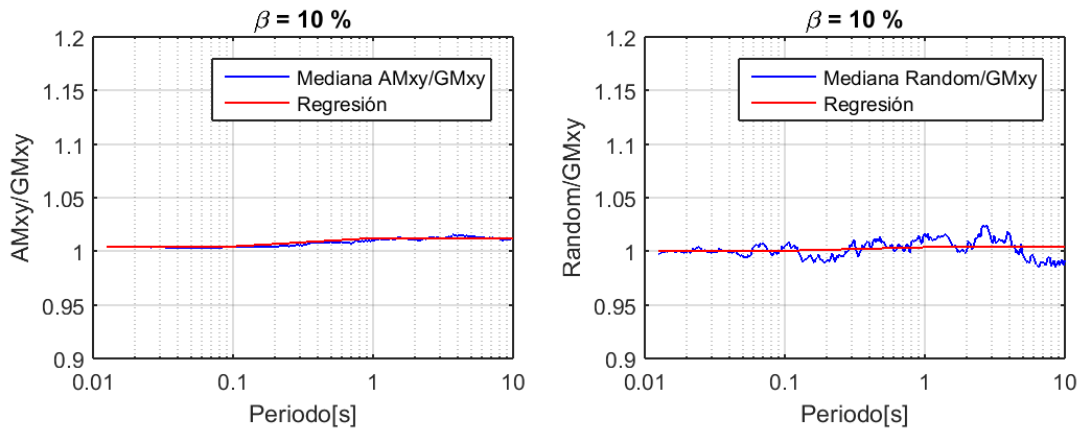


Figura A 33 Regresión de razones de Seudo Espectros AMxy y Random. $\beta = 10\%$

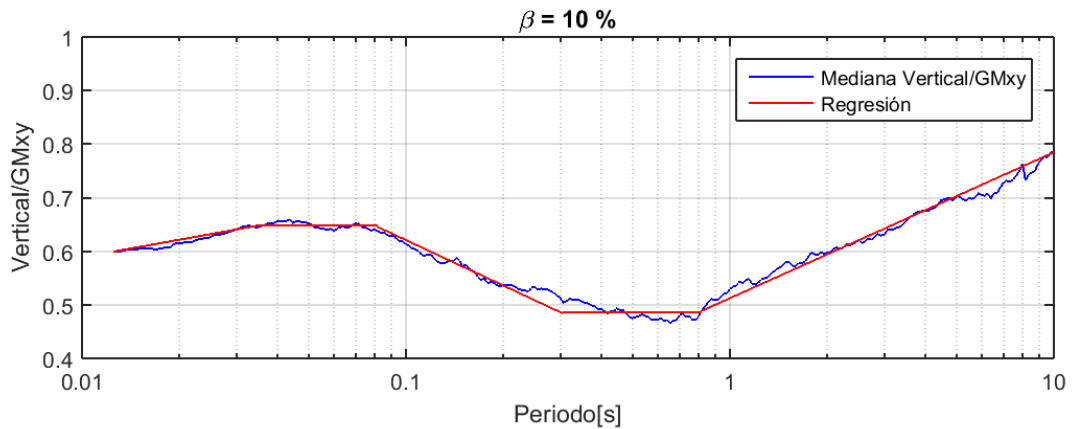


Figura A 34 Regresión de razones de Seudo Espectros Vertical. $\beta = 10\%$

Variación de la Mediana de la Razón con el Tipo de Suelo.

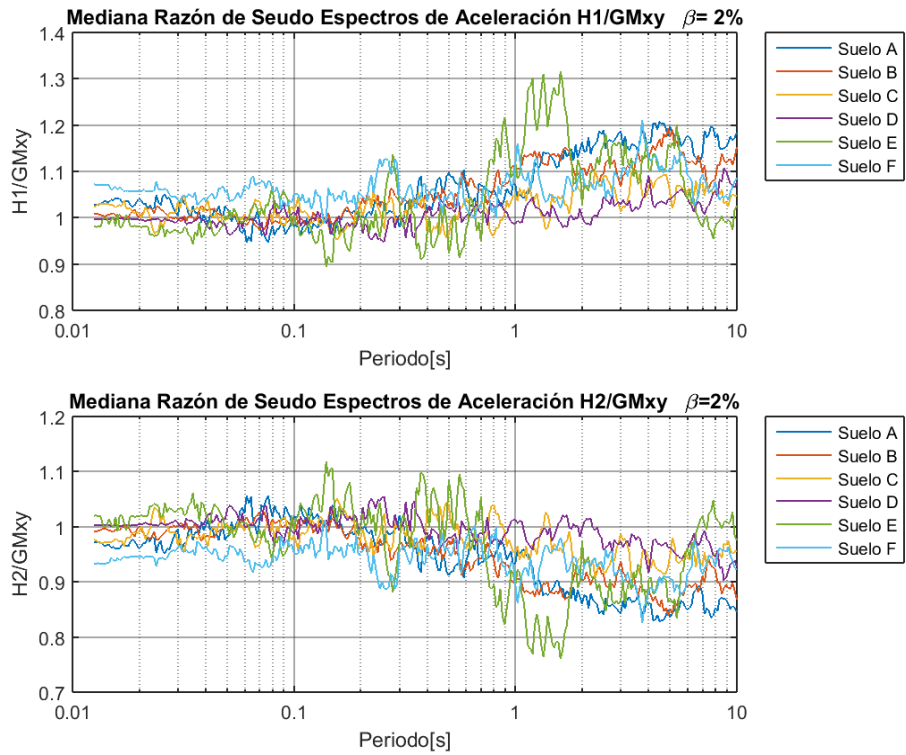


Figura A 35 Variación de la mediana en función del tipo de suelo. $\beta = 2 \%$

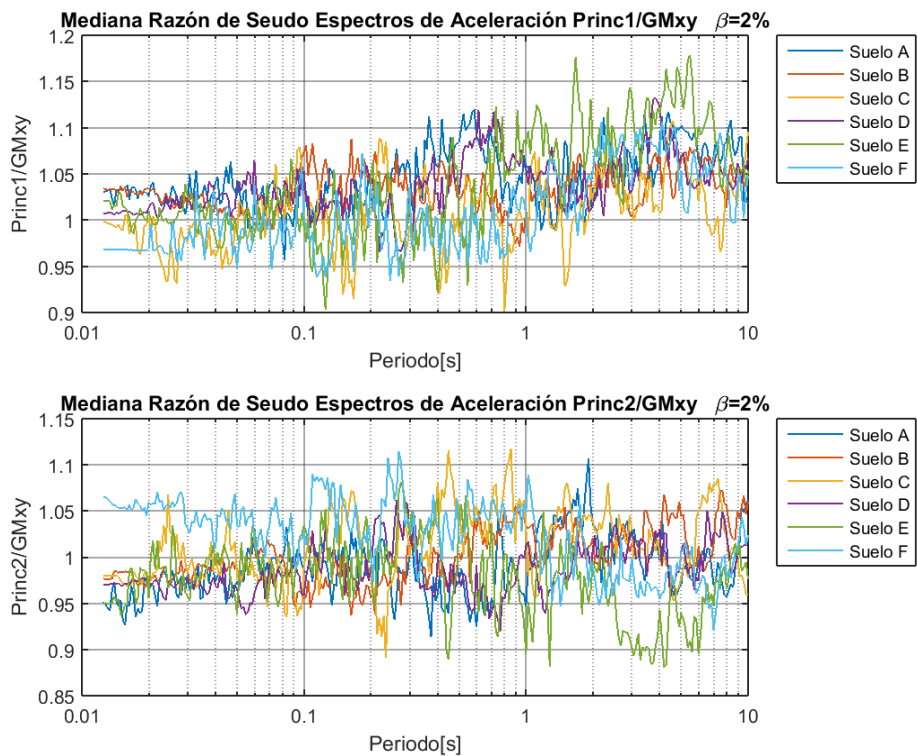


Figura A 36 Variación de la mediana en función del tipo de suelo. $\beta = 2 \%$

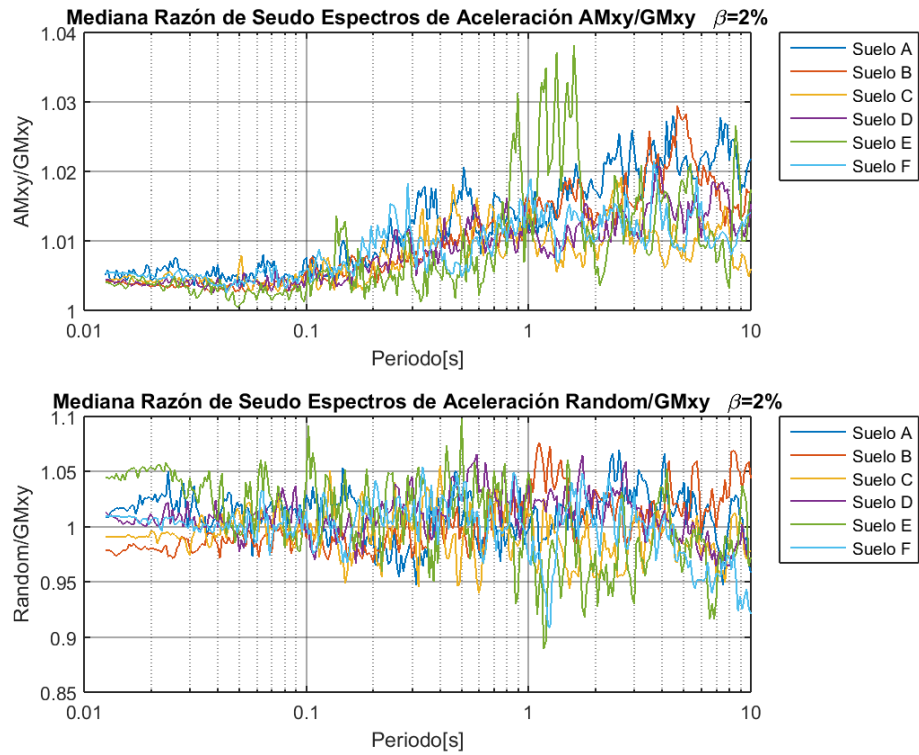


Figura A 37 Variación de la mediana en función del tipo de suelo. $\beta = 2 \%$

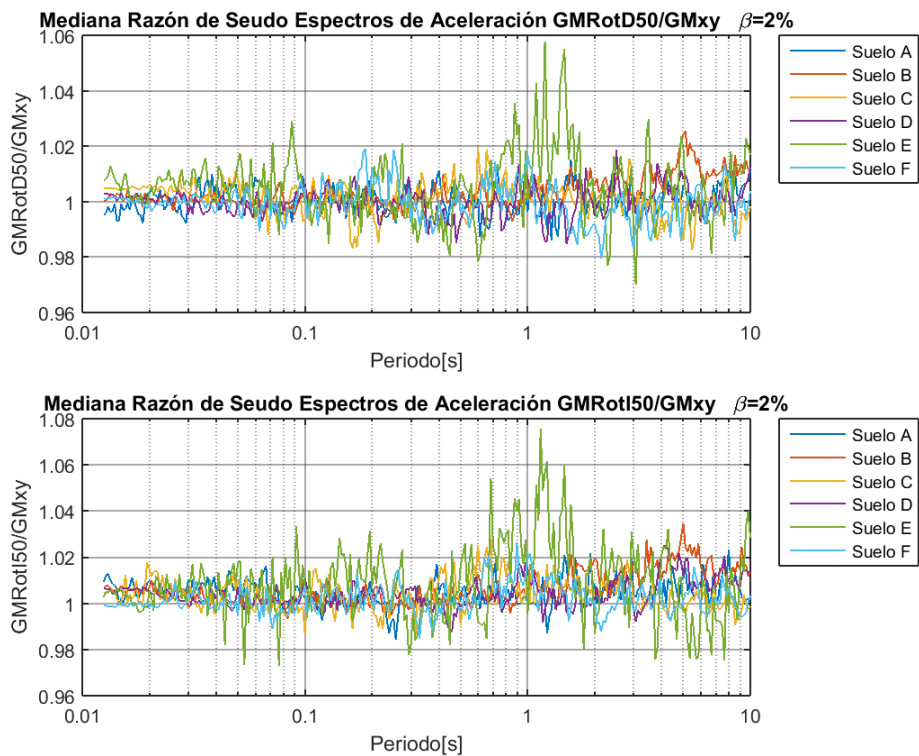


Figura A 38 Variación de la mediana en función del tipo de suelo. $\beta = 2 \%$

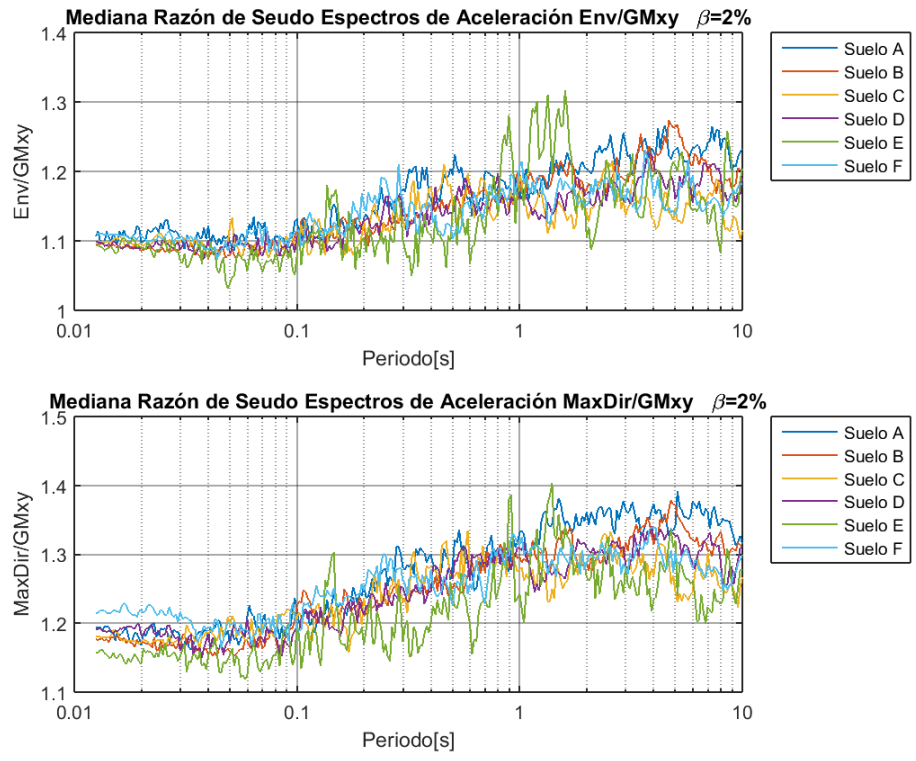


Figura A 39 Variación de la mediana en función del tipo de suelo. $\beta = 2 \%$

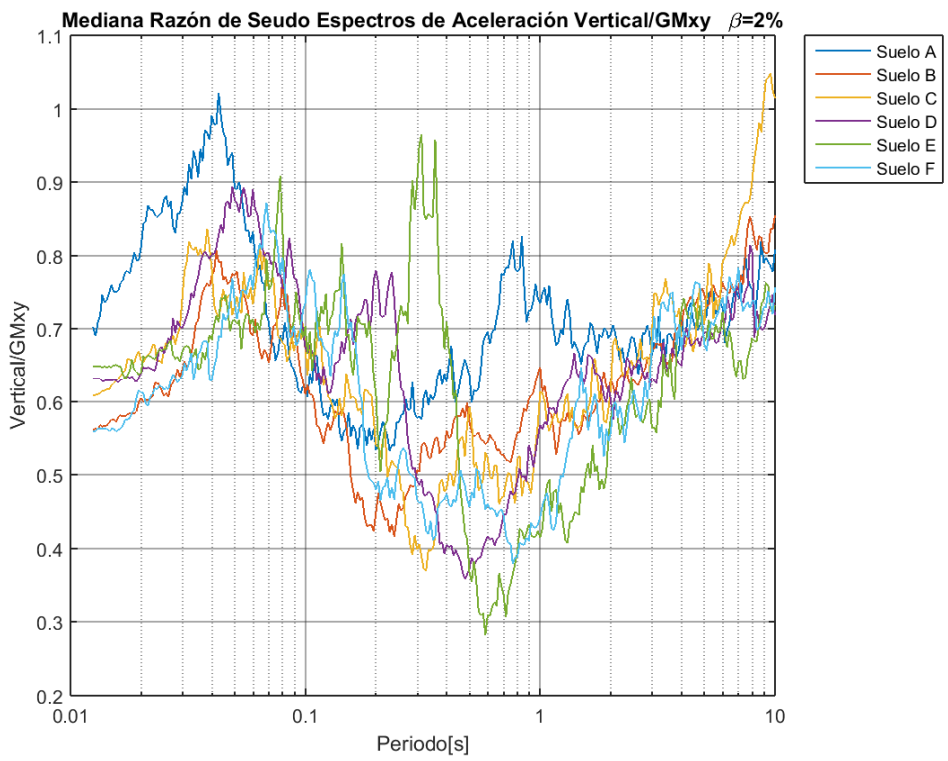


Figura A 40 Variación de la mediana en función del tipo de suelo. $\beta = 2 \%$



Figura A 41 Variación de la mediana en función del tipo de suelo. $\beta = 10 \%$

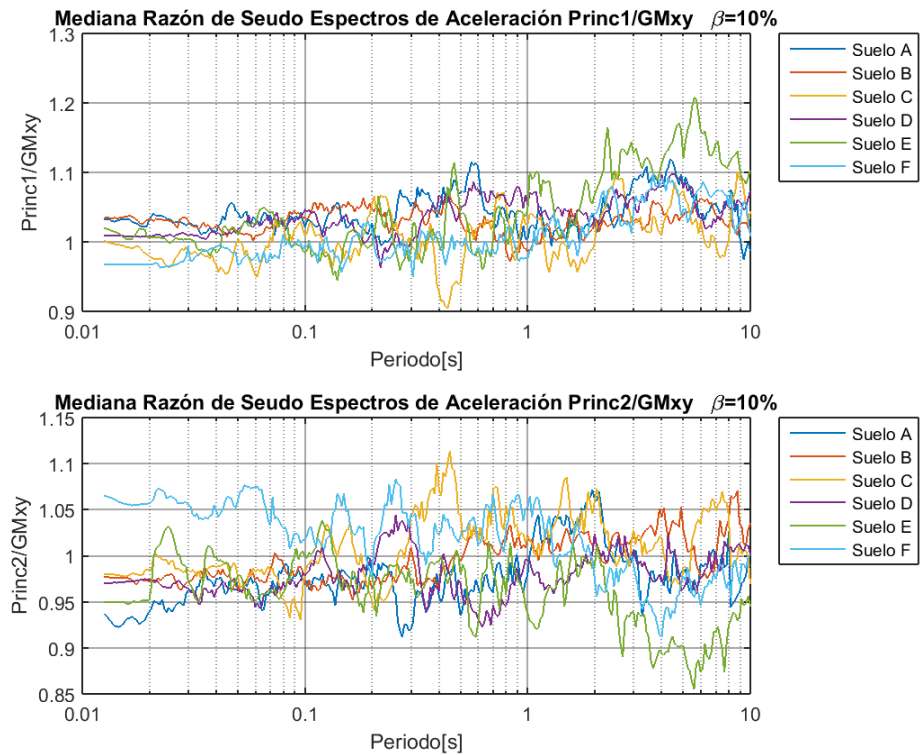


Figura A 42 Variación de la mediana en función del tipo de suelo. $\beta = 10 \%$

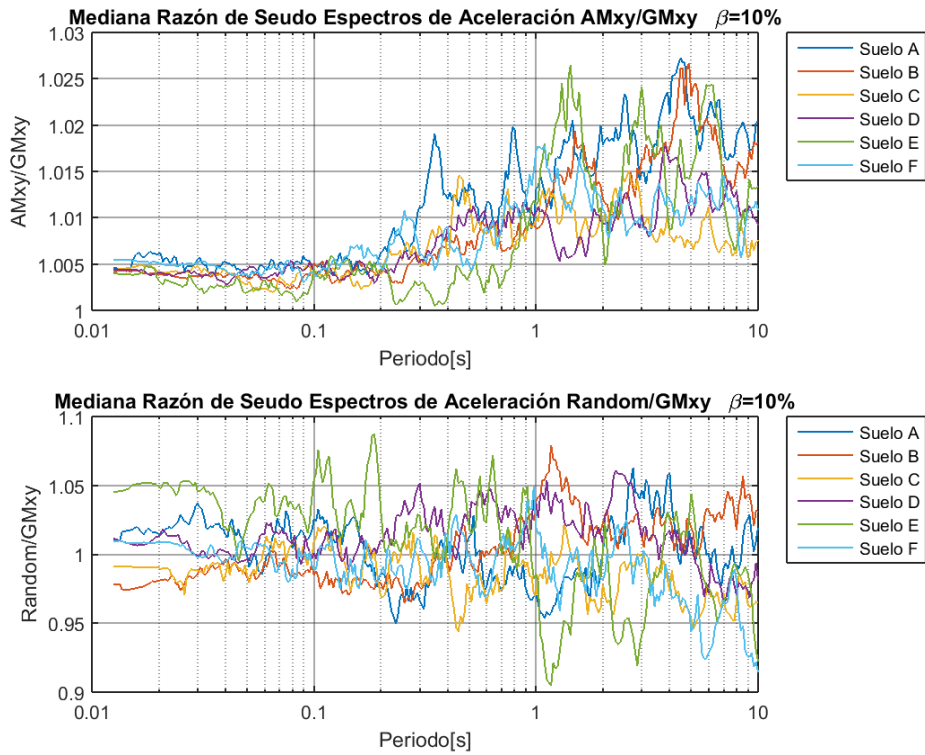


Figura A 43 Variación de la mediana en función del tipo de suelo. $\beta = 10 \%$

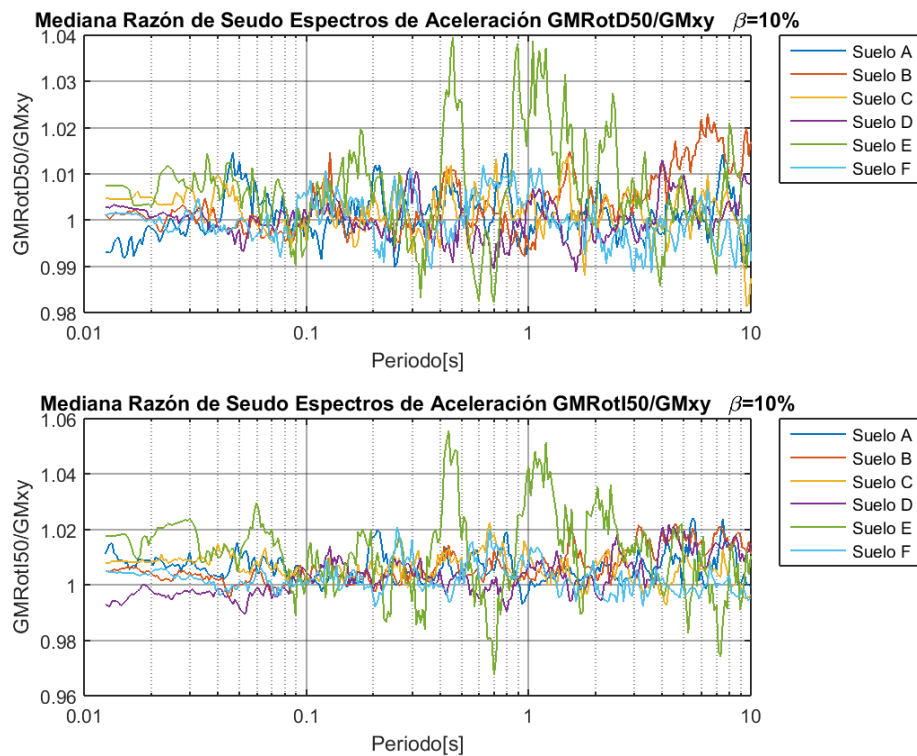


Figura A 44 Variación de la mediana en función del tipo de suelo. $\beta = 10 \%$

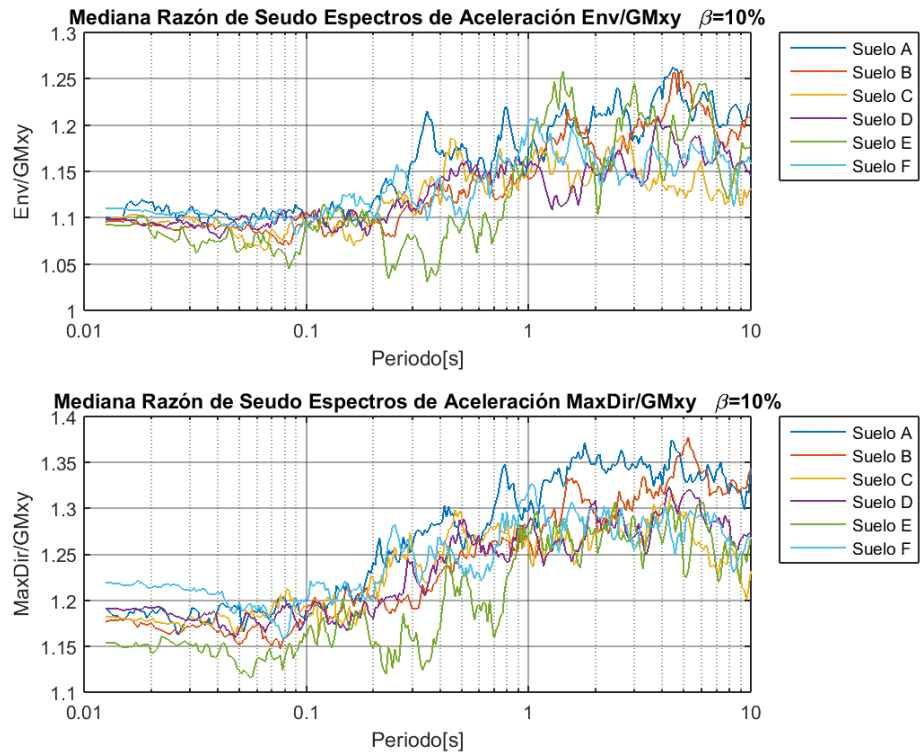


Figura A 45 Variación de la mediana en función del tipo de suelo. $\beta = 10 \%$

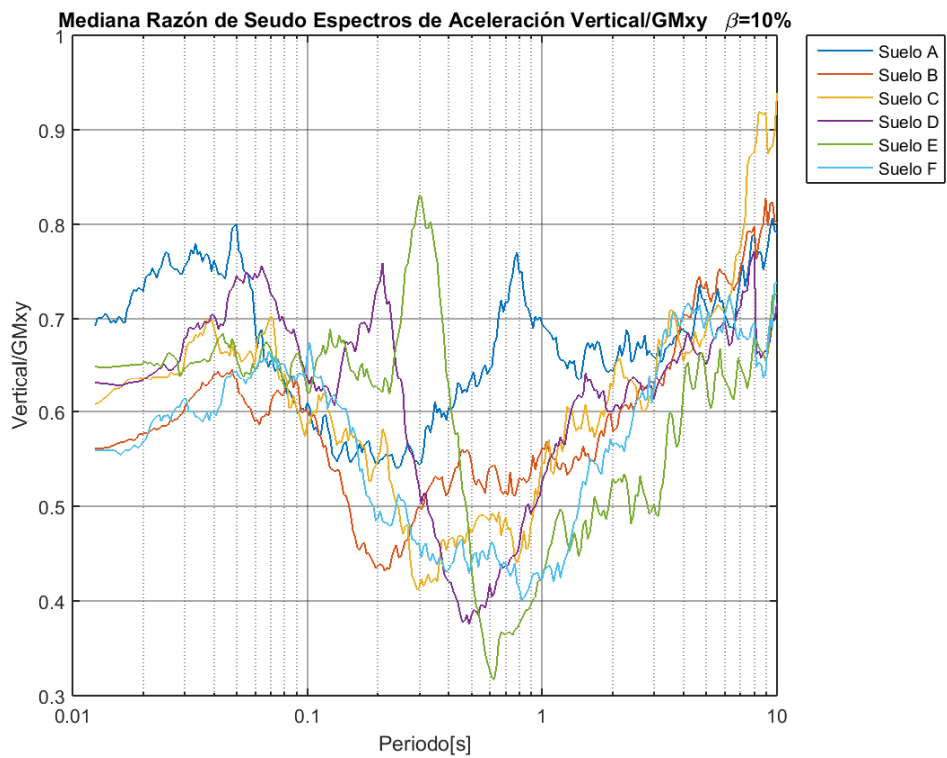


Figura A 46 Variación de la mediana en función del tipo de suelo. $\beta = 10 \%$

Variación de la Mediana de la Razón con la Magnitud Mw.

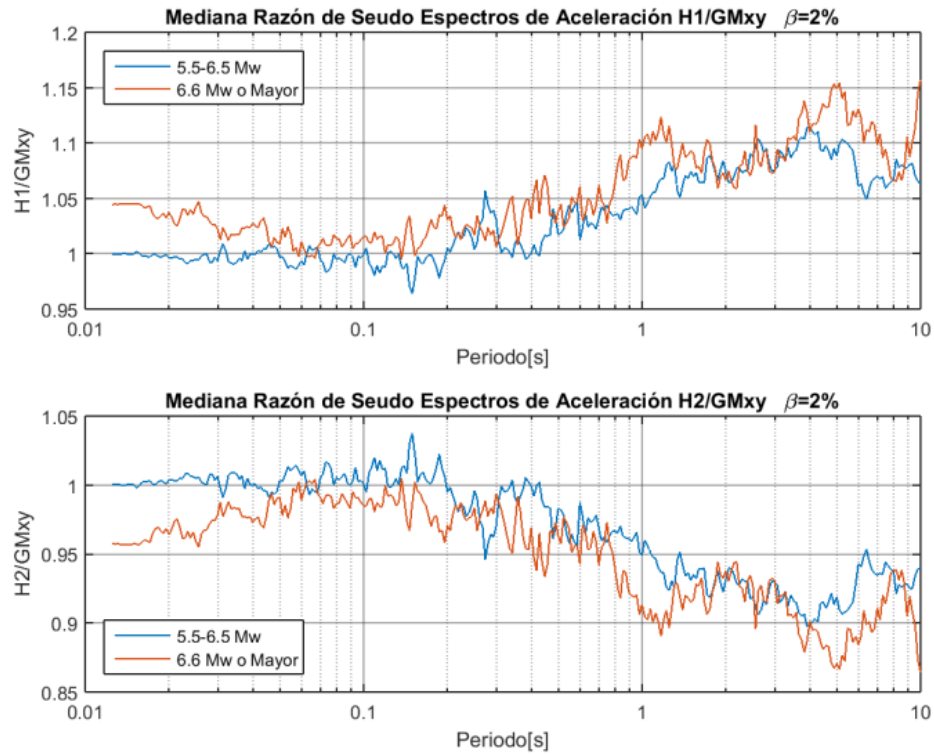


Figura A 47 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw. $\beta = 2 \%$

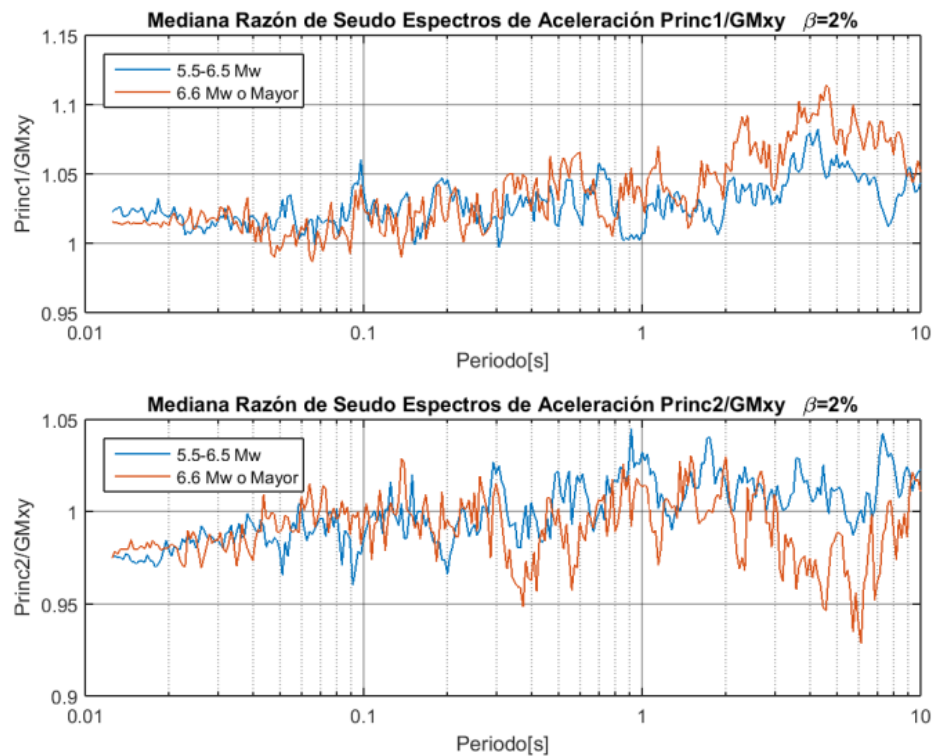


Figura A 48 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw. $\beta = 2 \%$

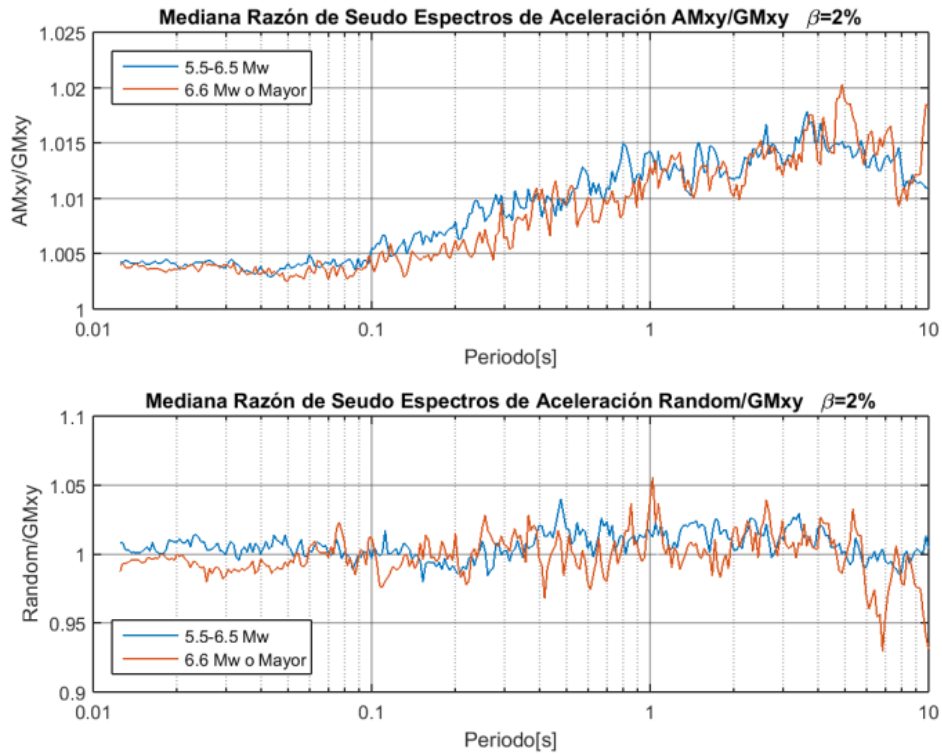


Figura A 49 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw. $\beta = 2 \%$

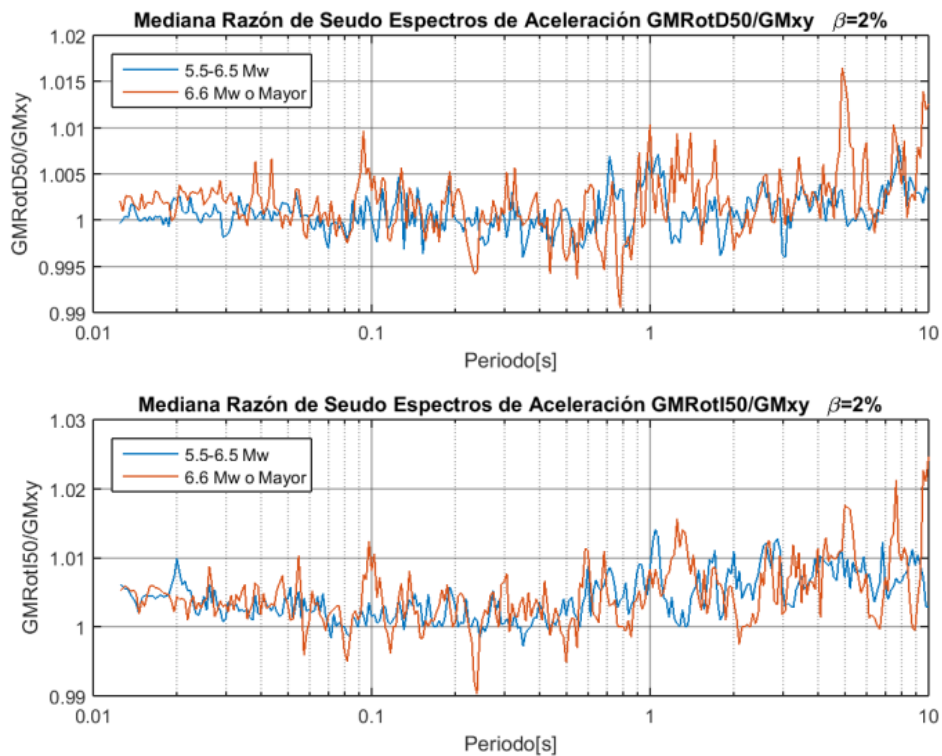


Figura A 50 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw. $\beta = 2 \%$

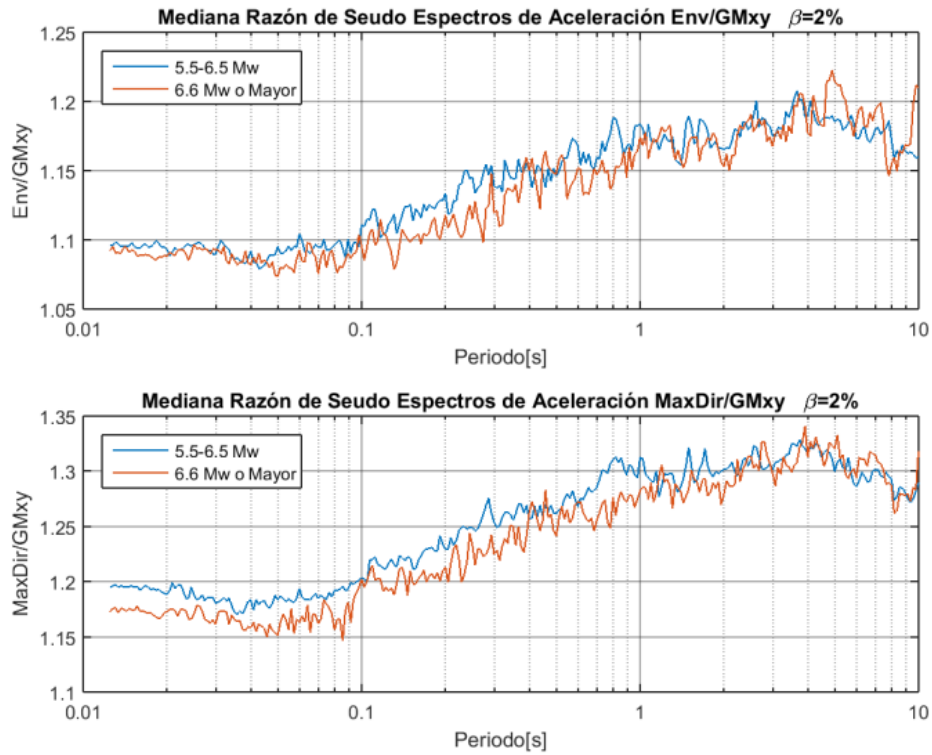


Figura A 51 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw. $\beta = 2 \%$

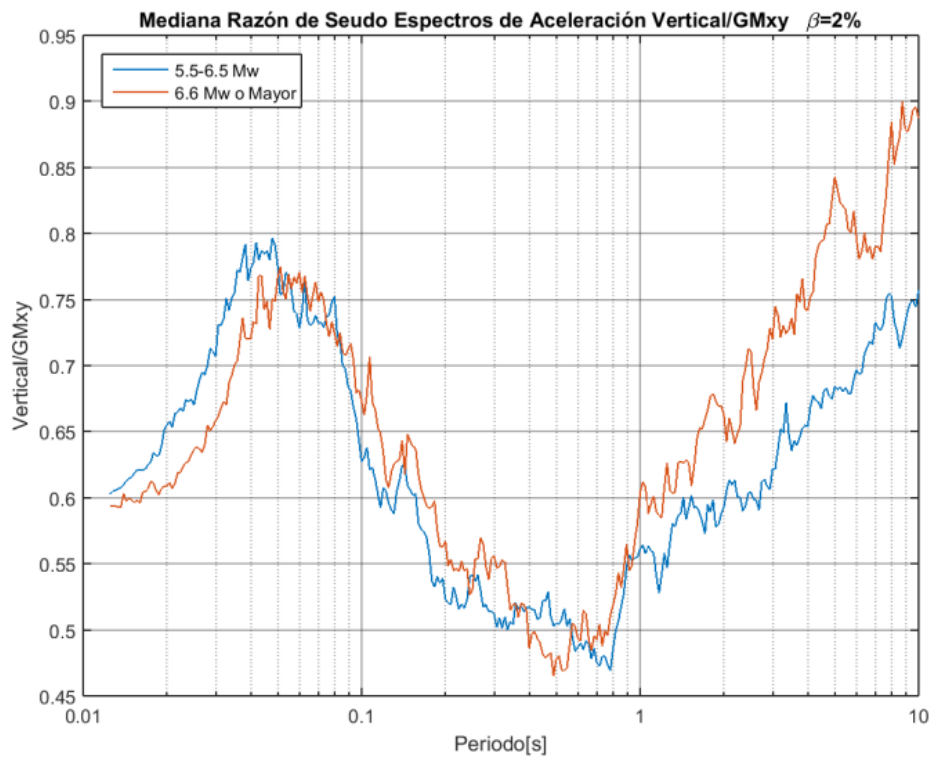


Figura A 52 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw. $\beta = 2 \%$

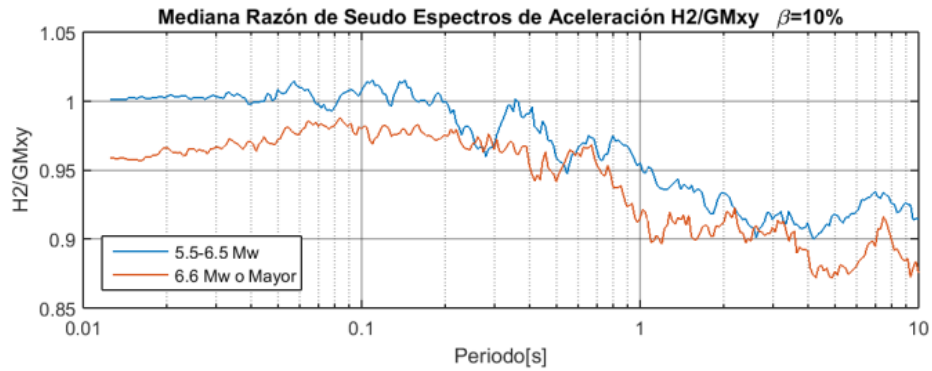
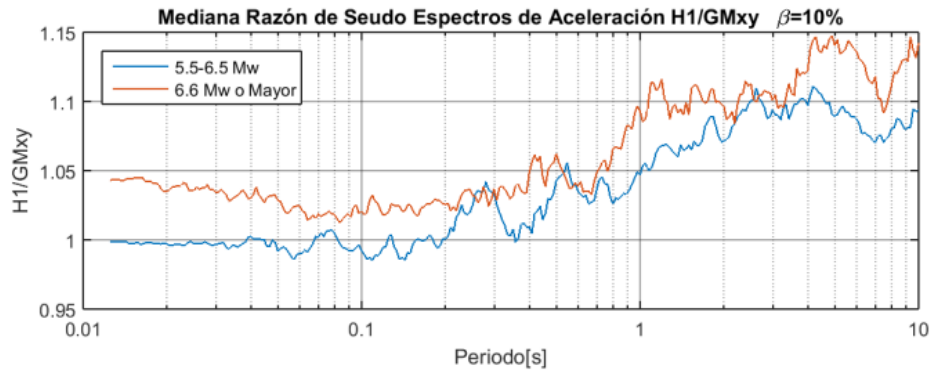


Figura A 53 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw. $\beta = 10 \%$

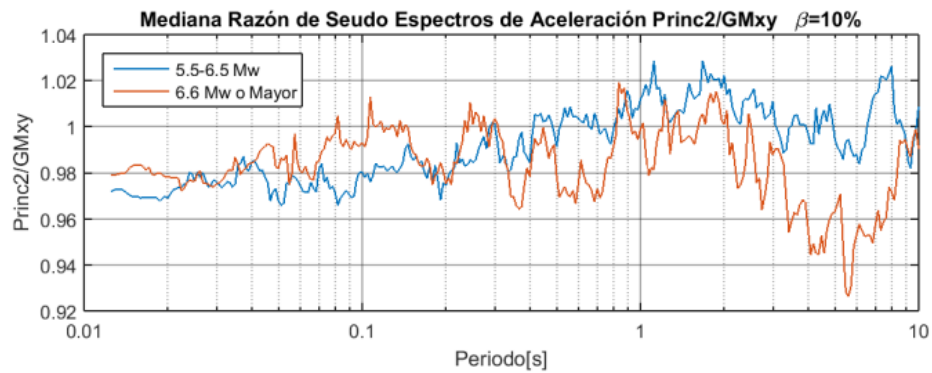
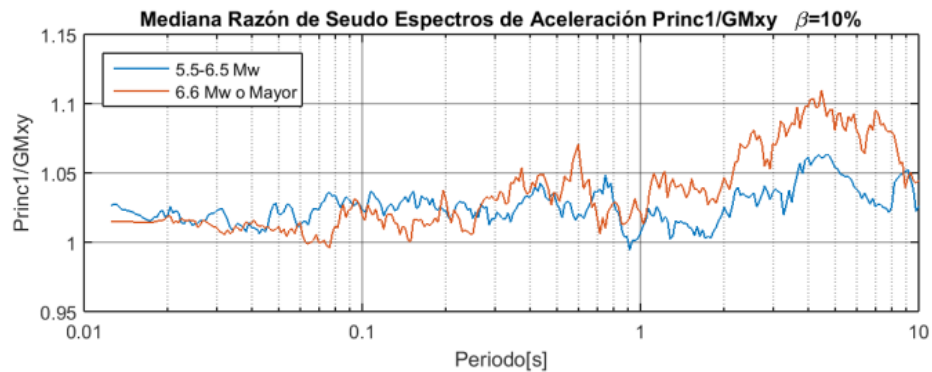


Figura A 54 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw. $\beta = 10 \%$

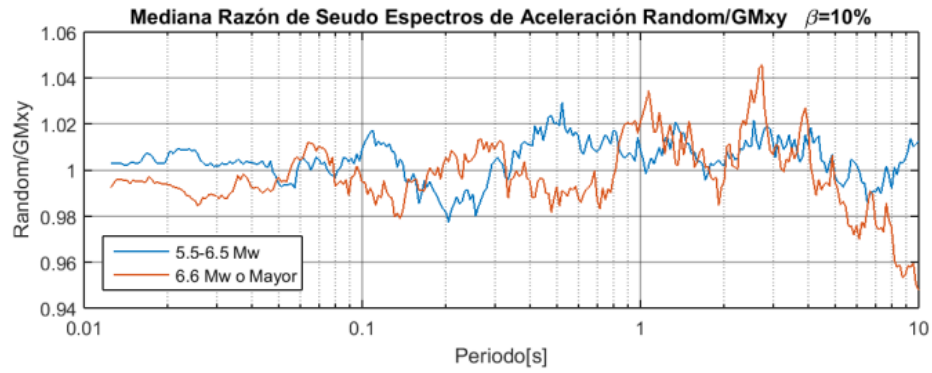
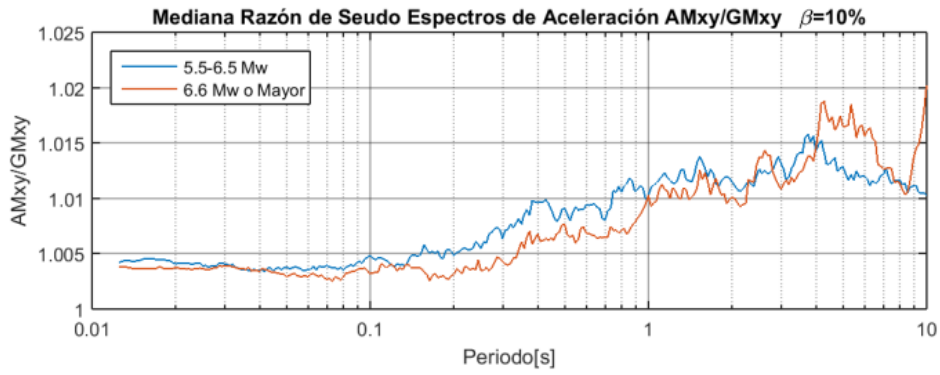


Figura A 55 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw. $\beta = 10 \%$

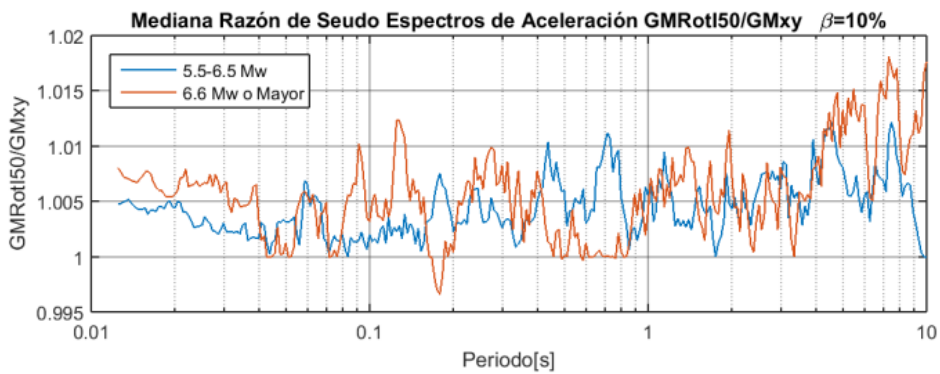
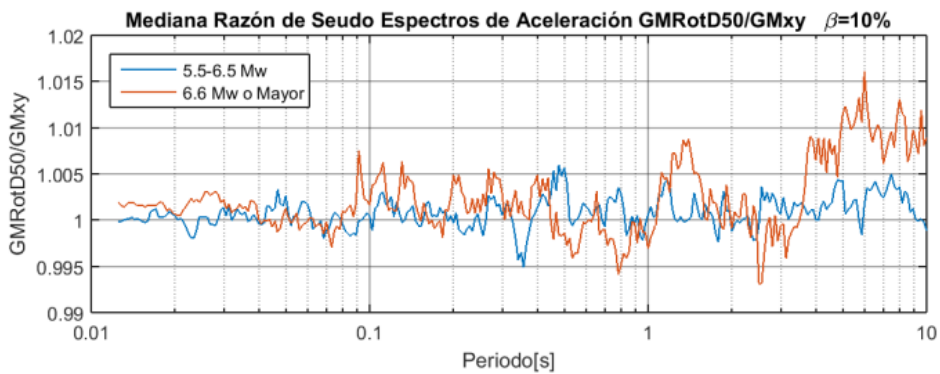


Figura A 56 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw. $\beta = 10 \%$

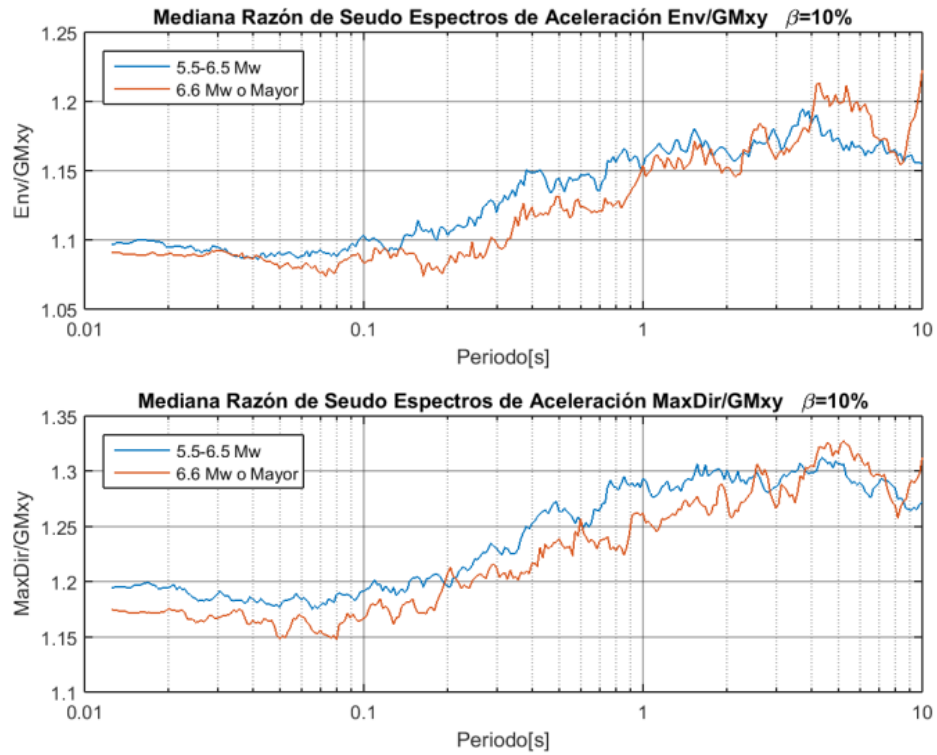


Figura A 57 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw. $\beta = 10 \%$

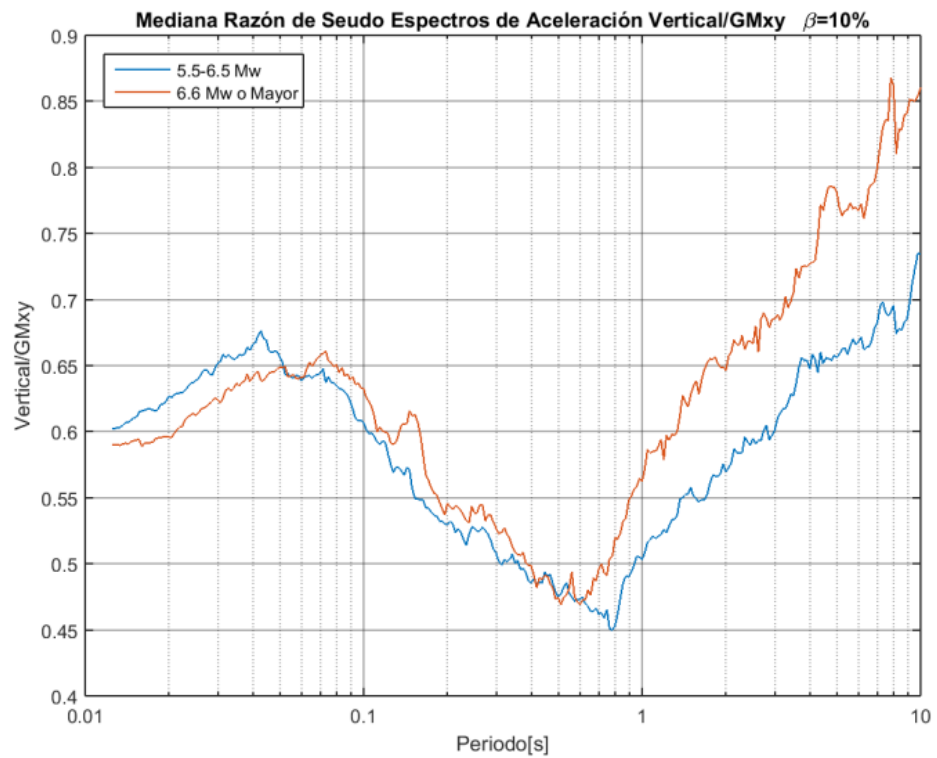


Figura A 58 Variación de la mediana en función de la magnitud Mw. $\beta = 10 \%$

Variación de la Mediana de la Razón con el Mecanismo de Falla.

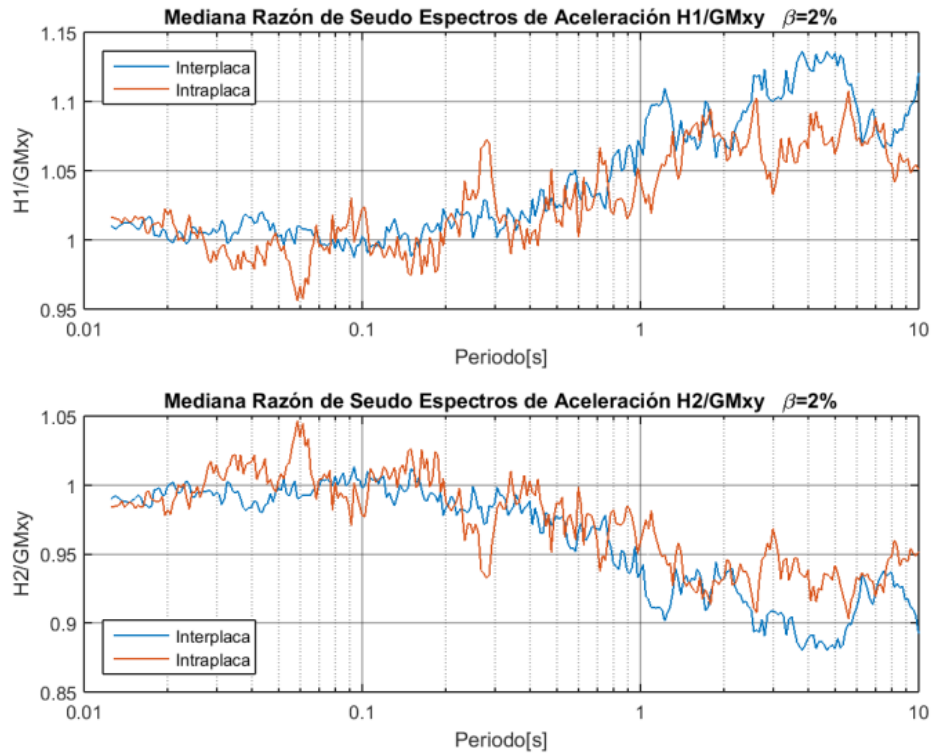


Figura A 59 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla. $\beta = 2 \%$

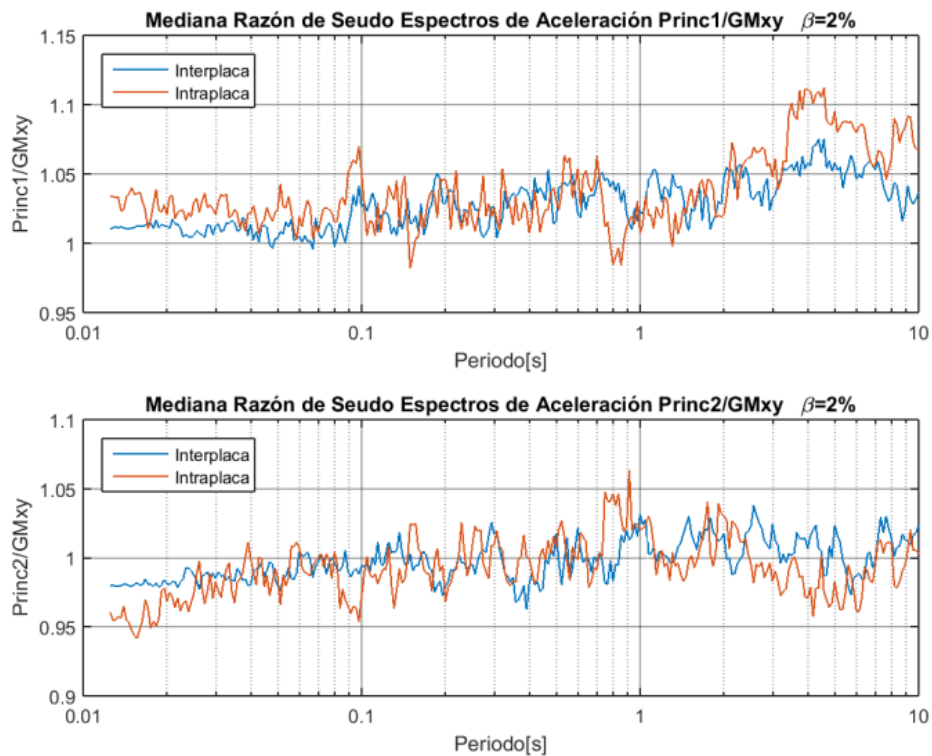


Figura A 60 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla. $\beta = 2 \%$

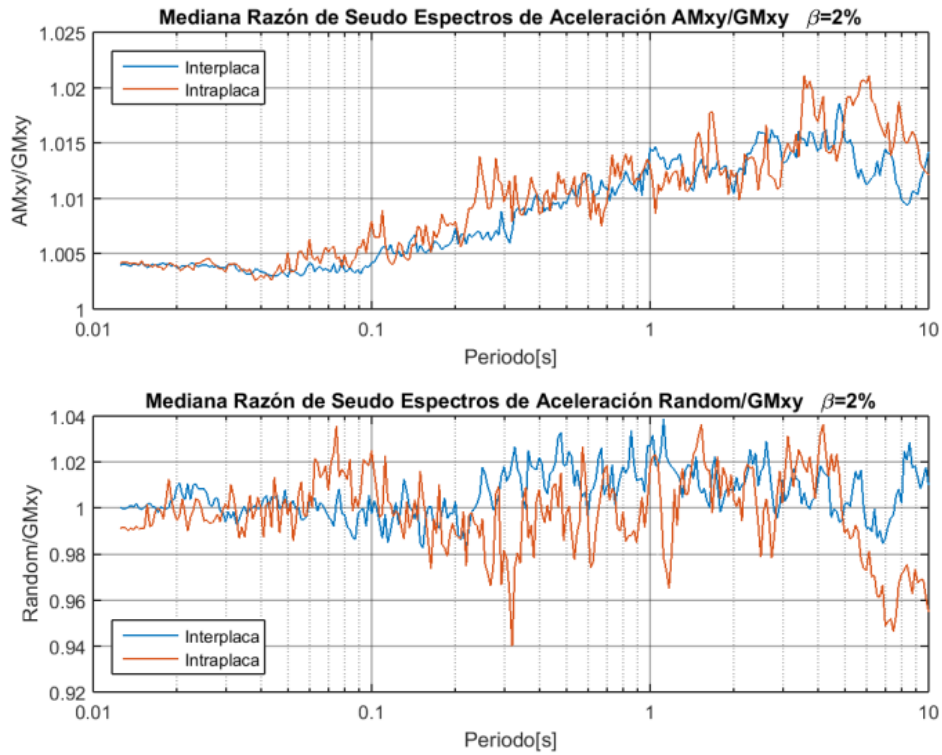


Figura A 61 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla. $\beta = 2 \%$

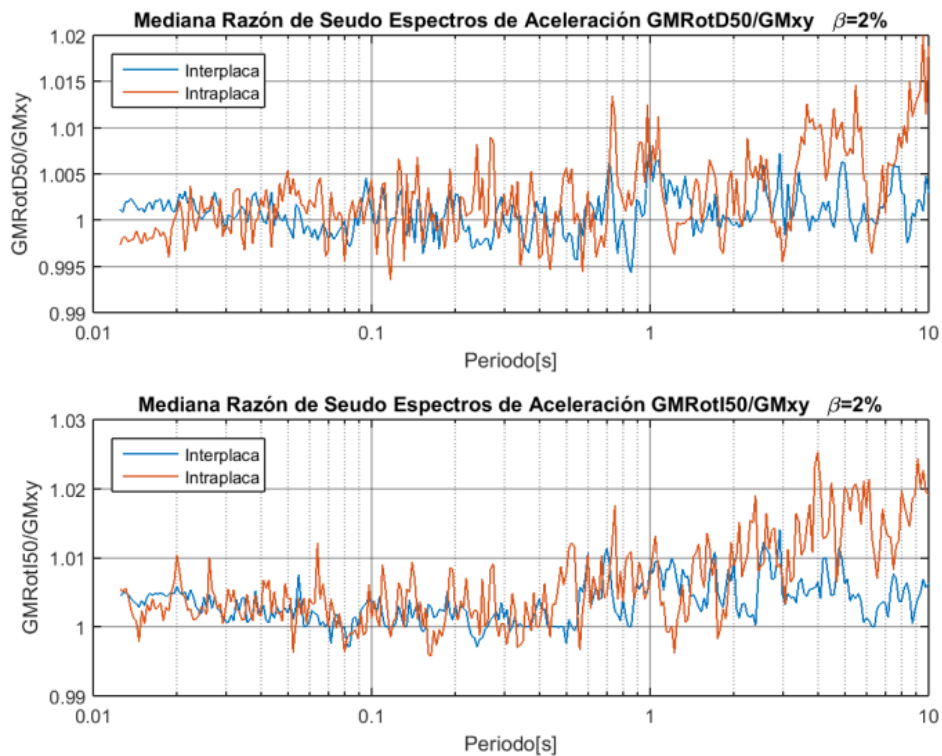


Figura A 62 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla. $\beta = 2 \%$

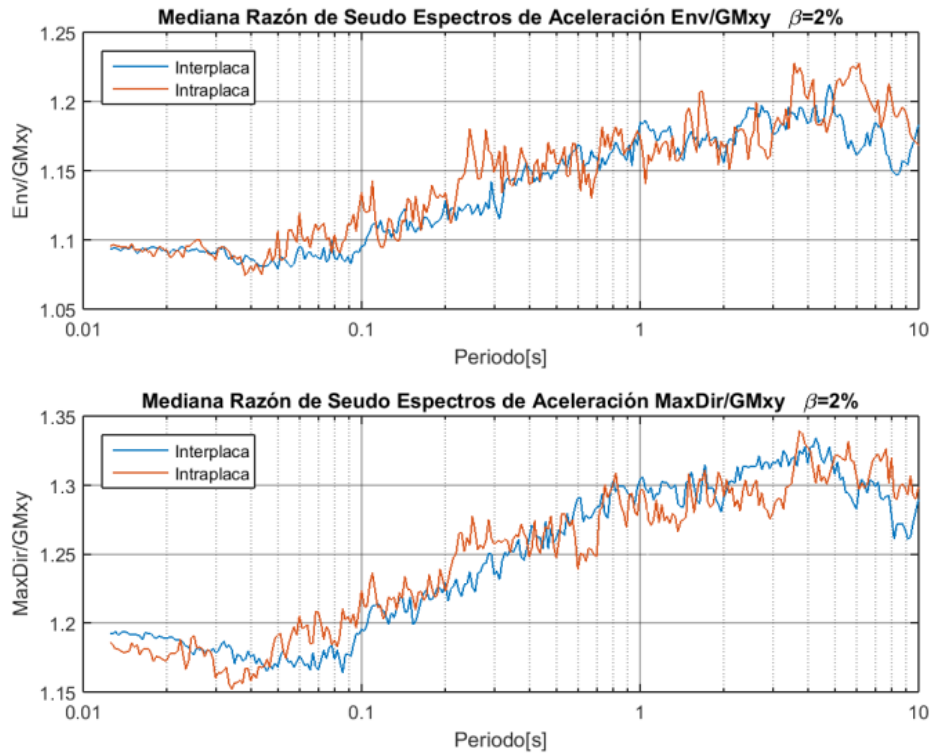


Figura A 63 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla. $\beta = 2 \%$

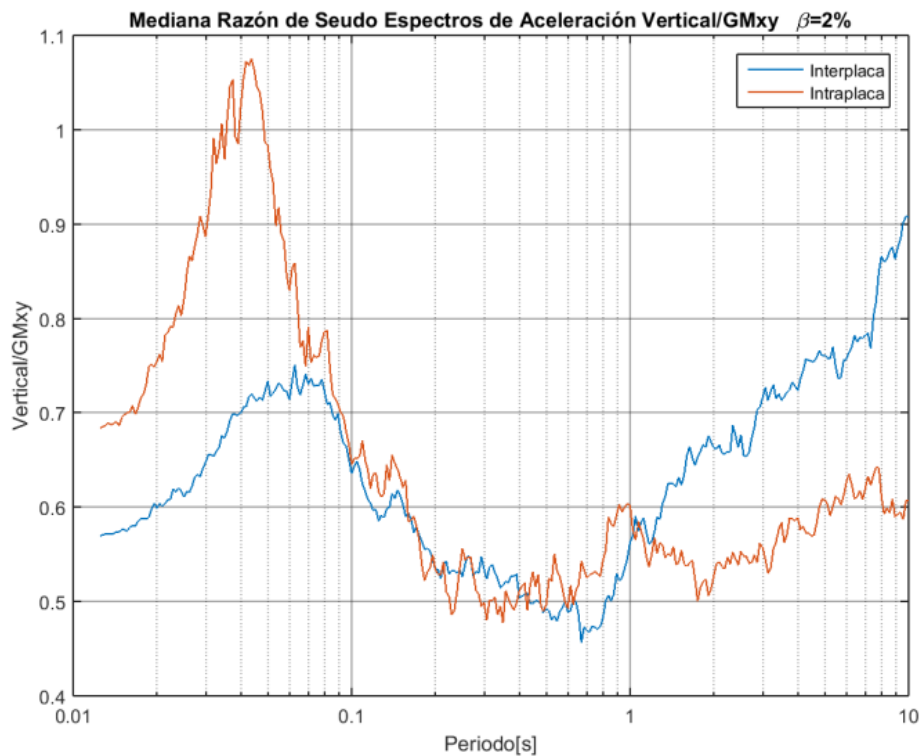


Figura A 64 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla . $\beta = 2 \%$

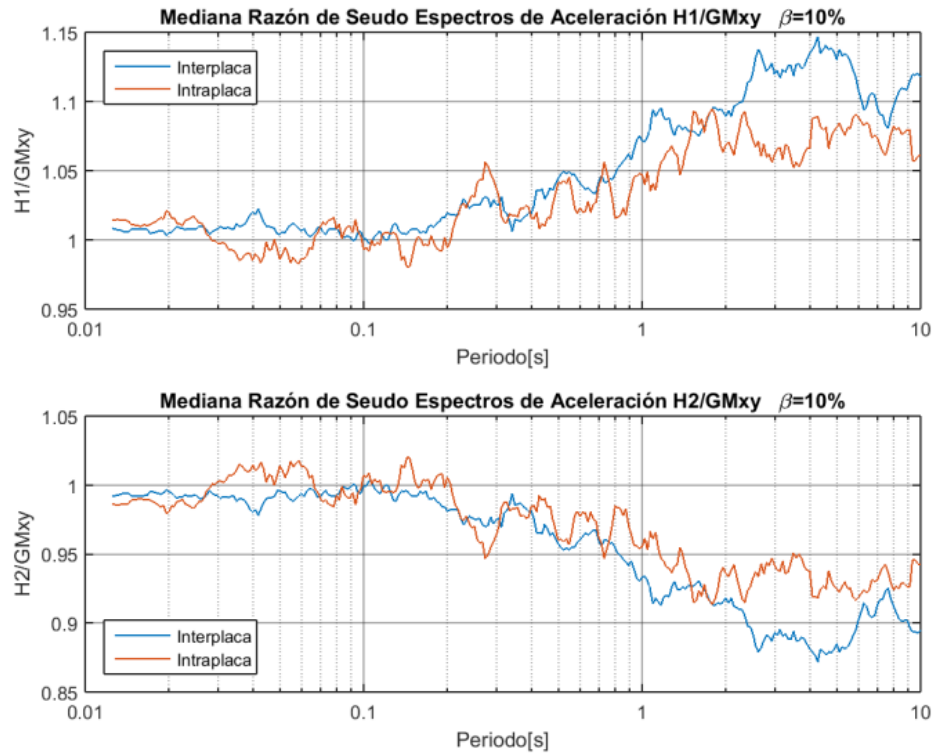


Figura A 65 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla. $\beta = 10 \%$

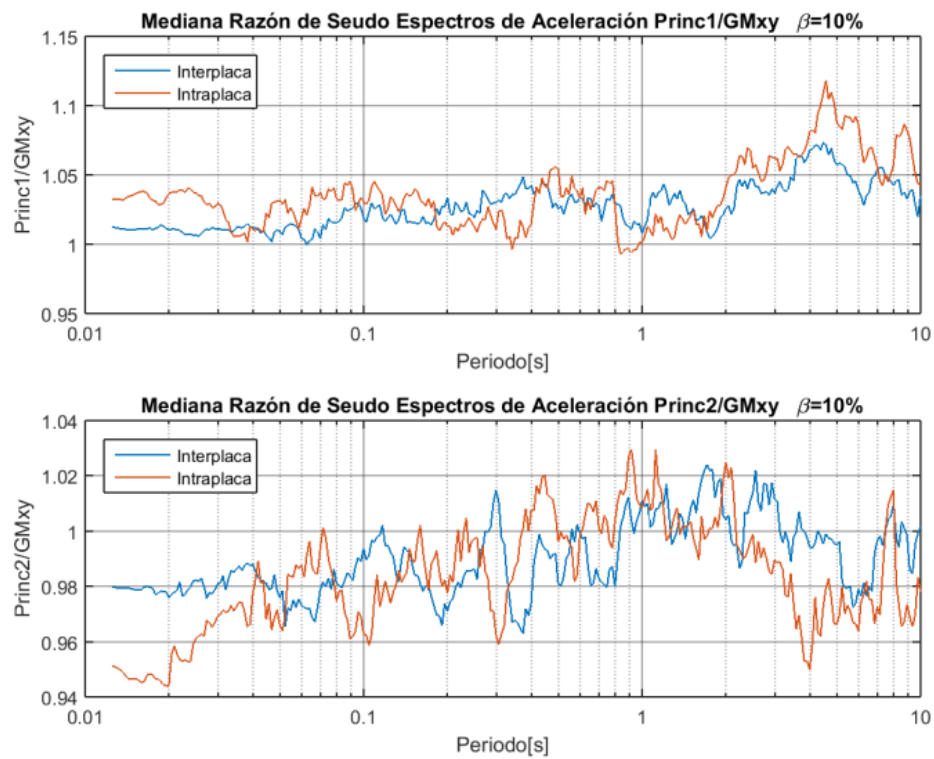


Figura A 66 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla. $\beta = 10 \%$

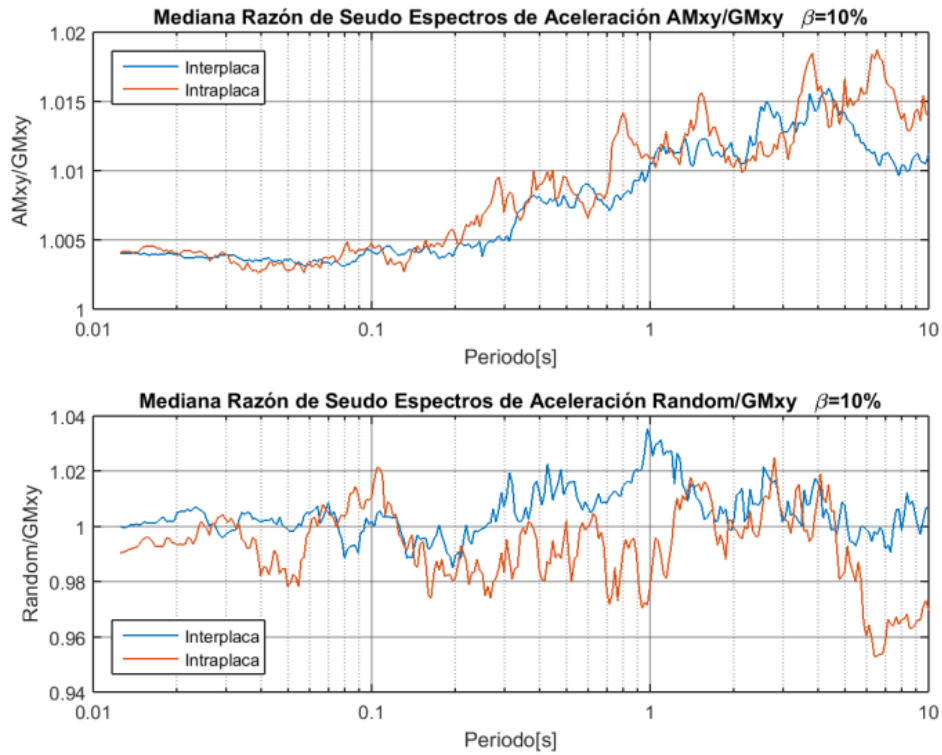


Figura A 67 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla. $\beta = 10 \%$

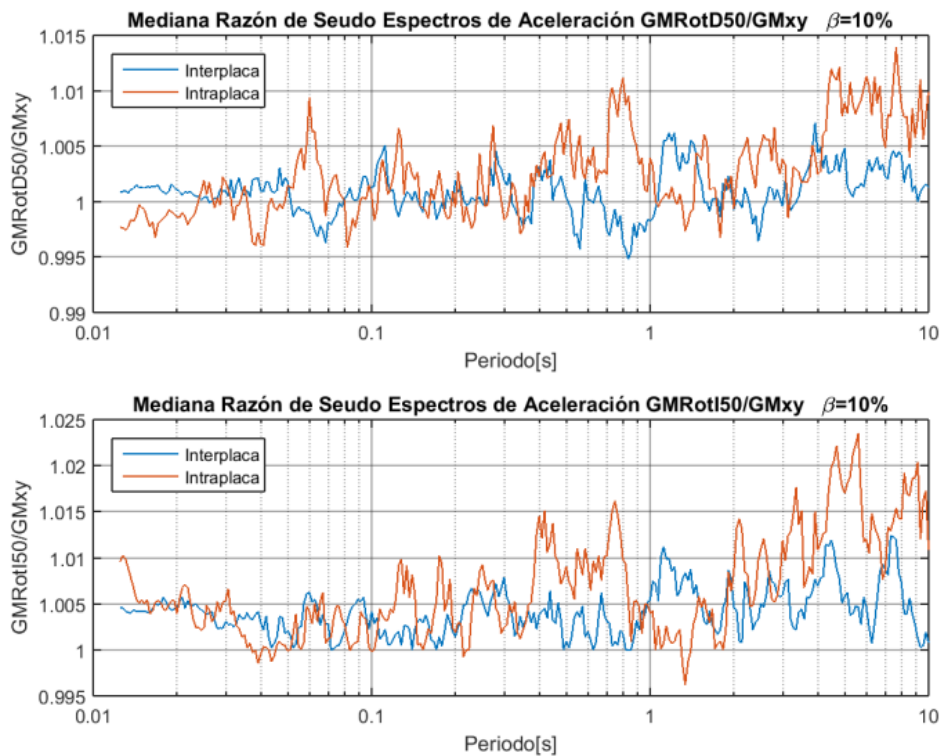


Figura A 68 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla. $\beta = 10 \%$

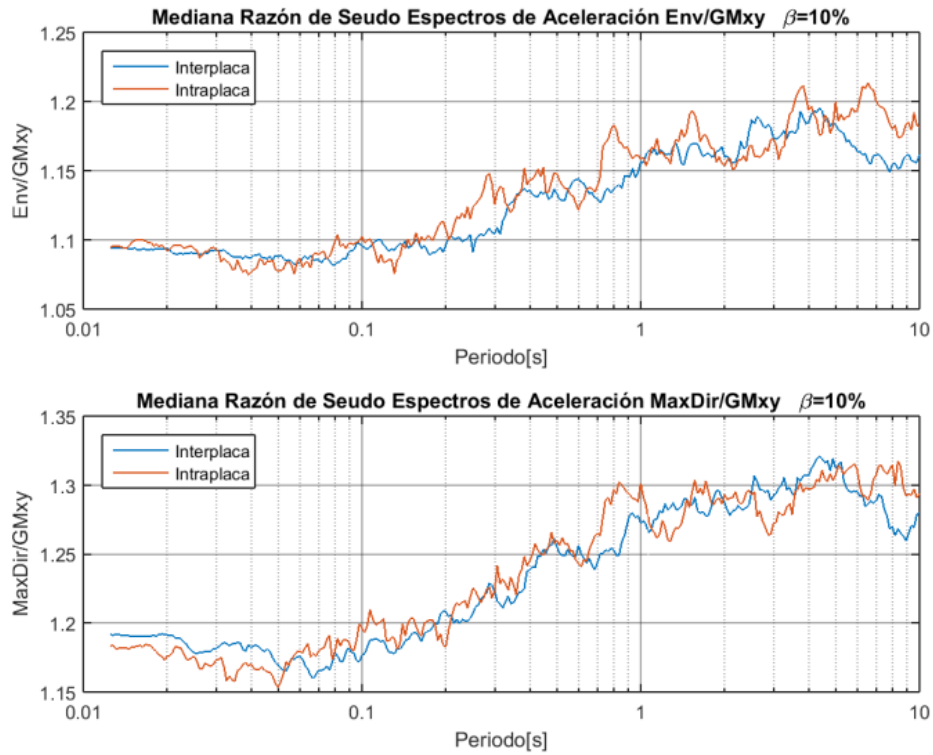


Figura A 69 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla. $\beta = 10 \%$

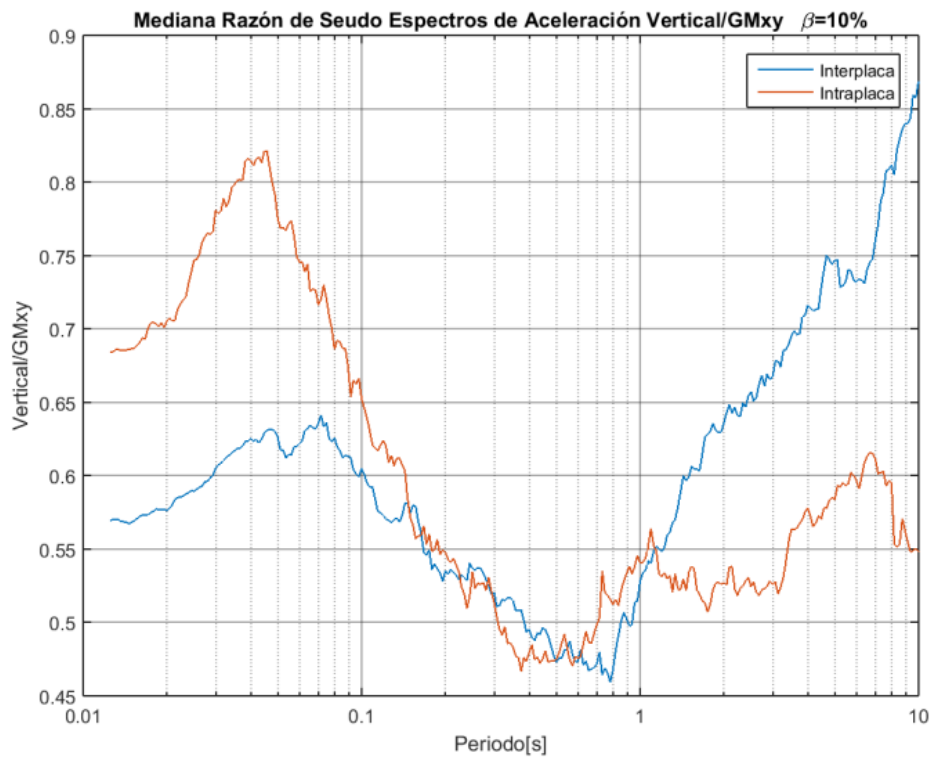


Figura A 70 Variación de la mediana en función del mecanismo de falla. $\beta = 10 \%$

Regresión para la Desviación del Logaritmo de la Razón de las Diferentes Definiciones.

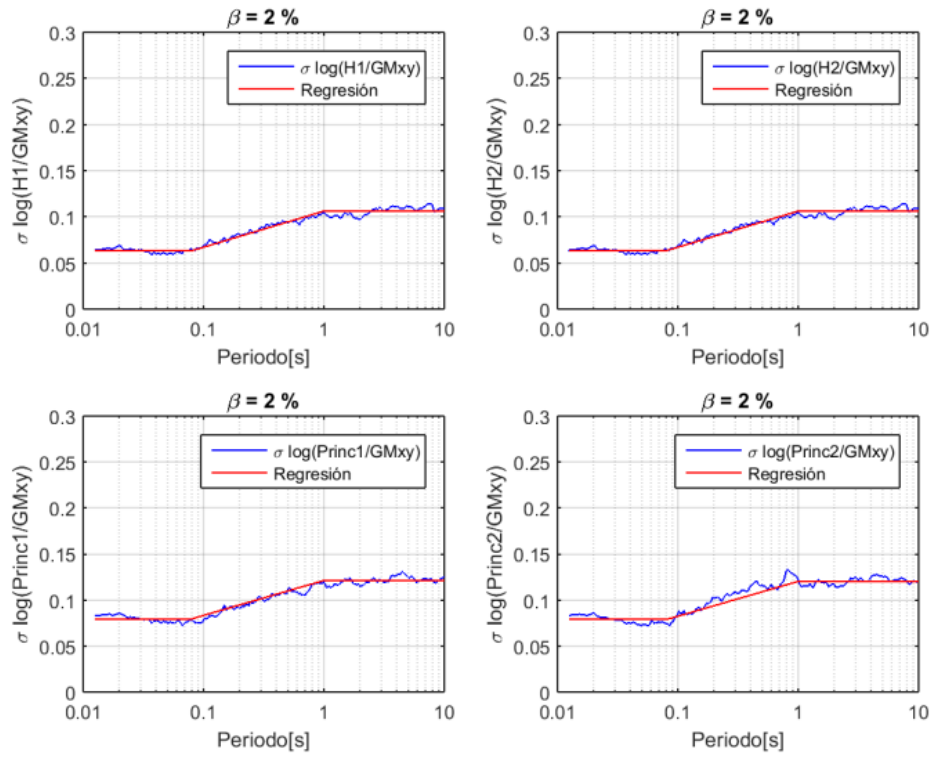


Figura A 71 Regresión de la desviación del logaritmo. $\beta = 2\%$

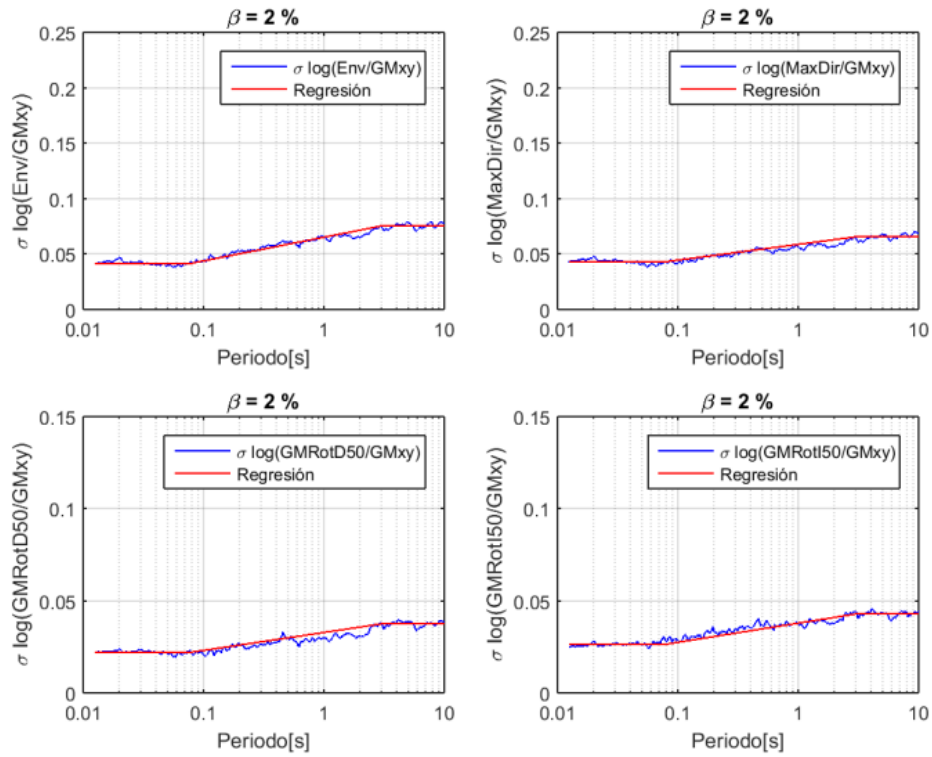


Figura A 72 Regresión de la desviación del logaritmo. $\beta = 2\%$

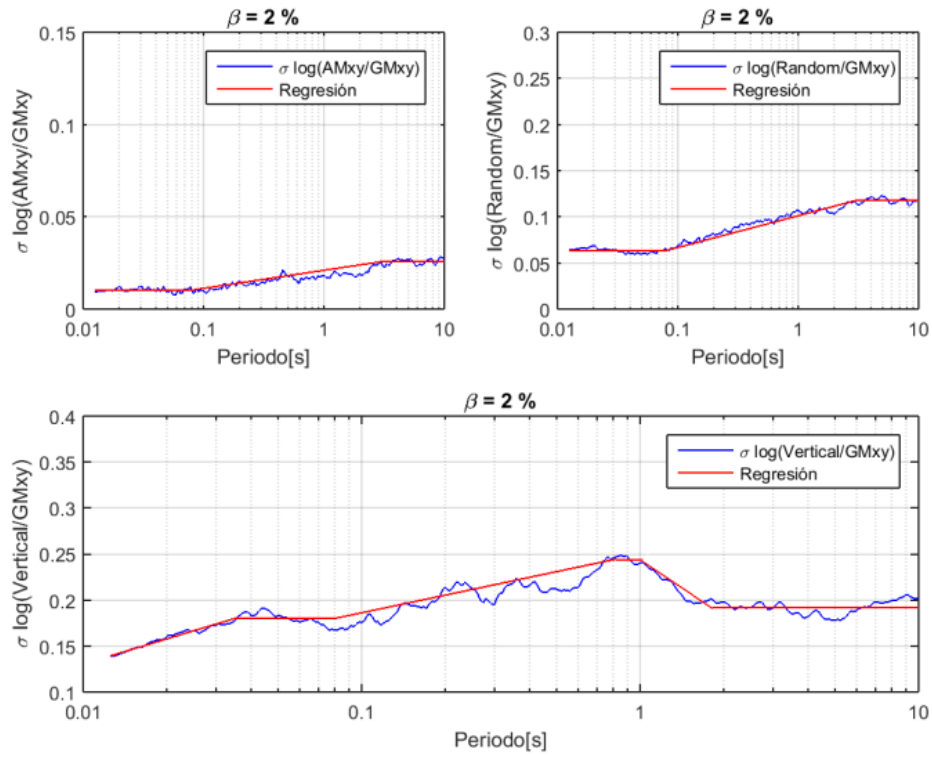


Figura A 73 Regresión de la desviación del logaritmo. $\beta = 2\%$

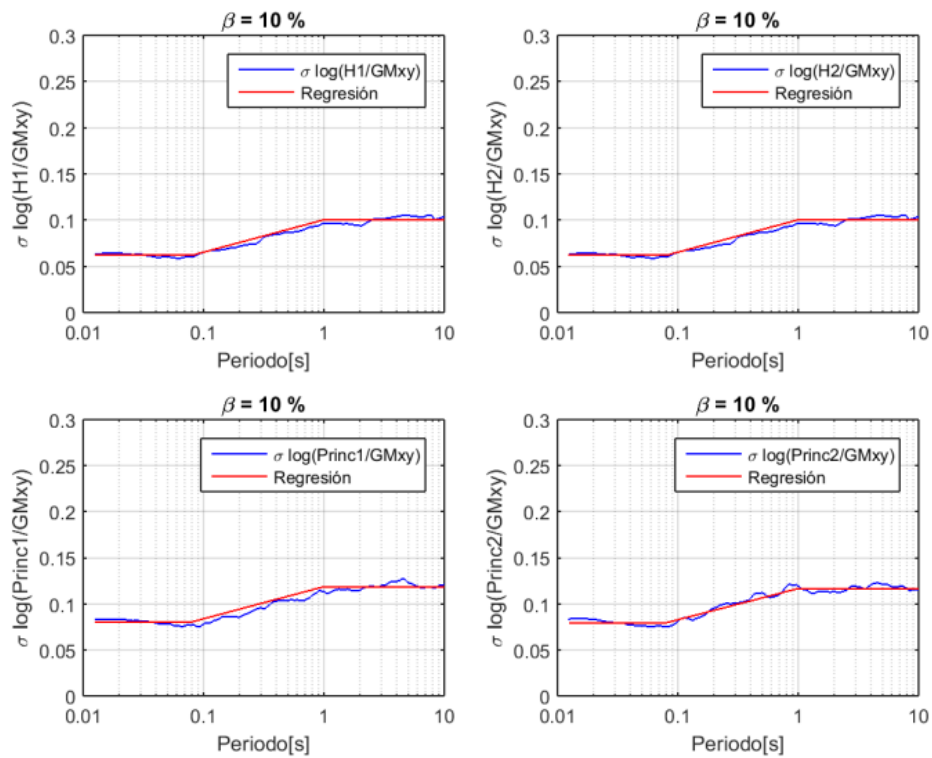


Figura A 74 Regresión de la desviación del logaritmo. $\beta = 10\%$

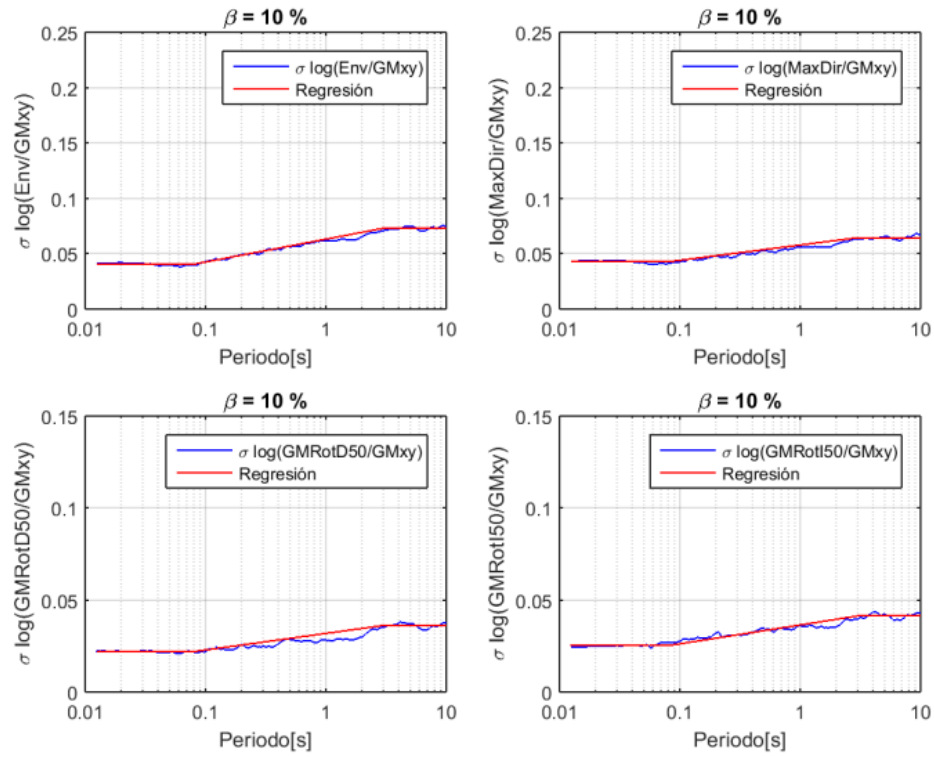


Figura A 75 Regresión de la desviación del logaritmo. $\beta = 10\%$

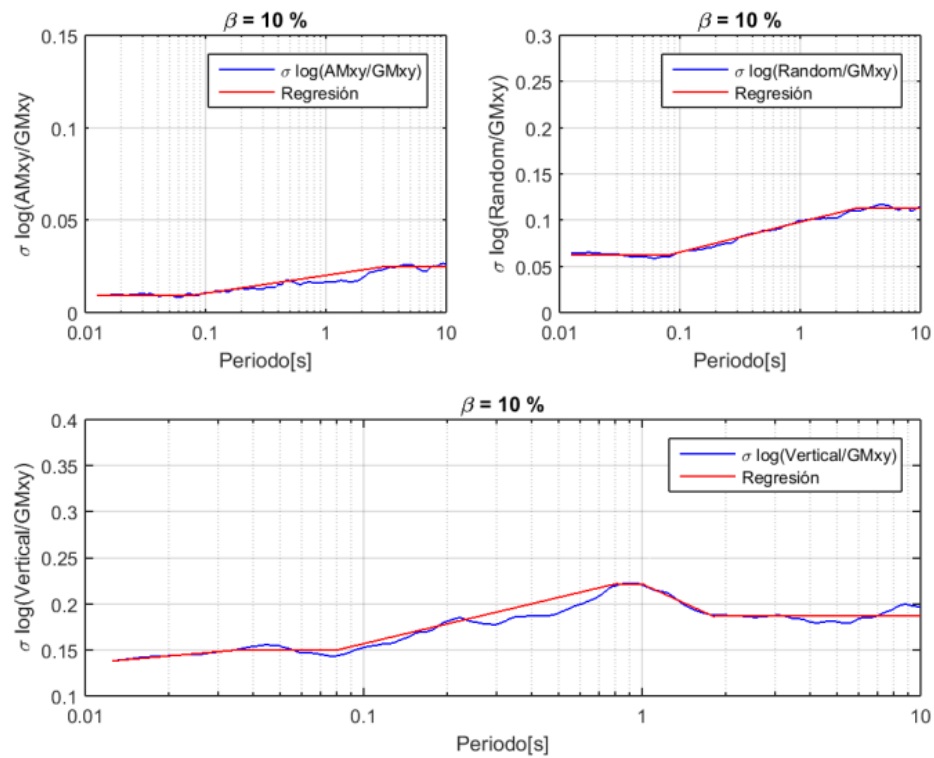


Figura A 76 Regresión de la desviación del logaritmo. $\beta = 10\%$

Regresión para la Razón de las desviaciones de los logaritmos de la Componente Vertical y GMxy.

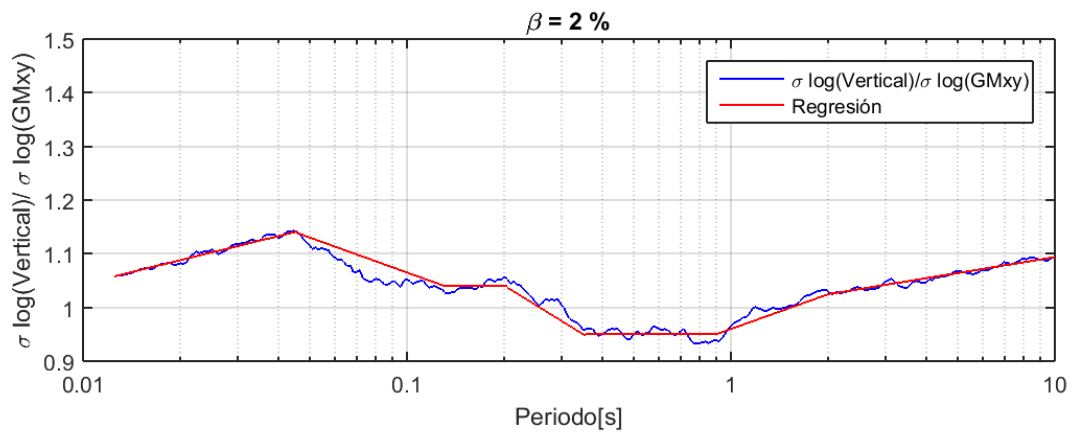


Figura A 77 Regresión Razones sigma para la componente Vertical. $\beta = 2 \%$.

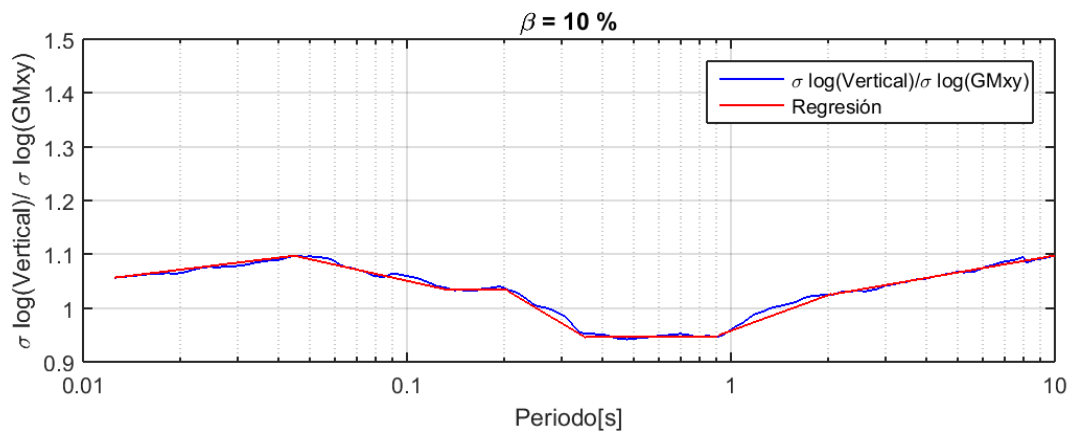


Figura A 78 Regresión Razones sigma para la componente Vertical. $\beta = 10 \%$.