

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Estudio de formas espectrales de registros sísmicos obtenidos de  
la base de datos Strong-Motion**

**Paula Soraya Pazmiño Quispe**

**Ingeniería Civil**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniería Civil

Quito, 7 de diciembre de 2023

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Estudio de formas espectrales de registros sísmicos obtenidos de  
la base de datos Strong-Motion**

**Paula Soraya Pazmiño Quispe**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Fabrizio Yépez, Ph.D**

Quito, 30 de noviembre de 2023

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Paula Soraya Pazmiño Quispe

Código: 00212876

Cédula de identidad: 1721204574

Lugar y fecha: Quito, 30 de noviembre de 2023

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

El trabajo presenta el análisis de distintos espectros respuesta obtenidos de la base de datos Strong-Motion de cien sismos de distintos países alrededor del mundo, de los cuales se obtuvo el espectro de respuesta de desplazamiento y aceleración respectivamente para cada sismo. Mediante el uso del programa Degtra se obtuvo los espectros de respuesta de las componentes horizontales de los acelerogramas de cada sismo. Con los espectros de respuesta obtenidos se realiza un análisis comparando la gráfica de un mismo tipo de falla, en un determinado rango de magnitud y determinado rango de tipo de suelo ( $V_s30$ ) de tal manera que se pueda determinar si existe relación entre los distintos segmentos estudiados. No se pudo concretar una relación entre los espectros respuestas normalizados de aceleración y el comportamiento esperado de acuerdo a la teoría por irregularidades en determinadas curvas debido a motivos externos como error humano o contaminación de los datos lo cual sugiere mayor discretización de los datos para futuras investigaciones.

**Palabras clave:** Espectro de respuesta, Sismo, Acelerograma, tipo de suelo, magnitud, tipo de falla.

## ABSTRACT

The work presents the analysis of different response spectra obtained from the Strong-Motion database, comprising one hundred seismic events from various countries worldwide. Response spectra for both displacement and acceleration were derived for each earthquake. Using Degtra program, response spectra for the horizontal components of the accelerograms of each seismic event were obtained. A comparative analysis was conducted using the obtained response spectra, focusing on the graph of a specific fault type within a defined magnitude range and specific soil type range ( $V_s30$ ). This analysis aimed to determine if there is a relationship among the various studied segments. However, establishing a correlation between normalized acceleration from spectra response and the expected behavior, according to theory, proved inconclusive due to irregularities in certain curves caused by external factors such as human error or data contamination that suggest more discretized data for future investigation.

**Key words:** Response spectrum, Earthquake, Accelerogram, Soil type, Magnitude, Fault type.

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>Introducción .....</b>	<b>11</b>
<b>Desarrollo del Tema.....</b>	<b>12</b>
Espectro de Respuesta.....	13
Hipótesis .....	16
Resultados obtenidos .....	17
Análisis .....	34
<b>Conclusiones.....</b>	<b>37</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>39</b>
<b>Anexo A: Vs30 de alaska .....</b>	<b>40</b>
<b>Anexo B: Vs30 de taiwan.....</b>	<b>40</b>
<b>Anexo C: Vs30 El Salvador .....</b>	<b>41</b>
<b>Anexo D: Vs30 China .....</b>	<b>41</b>
<b>Anexo E: Vs30 Chile .....</b>	<b>42</b>
<b>Anexo F: Vs30 India .....</b>	<b>42</b>
<b>Anexo G: Vs30 Turquía.....</b>	<b>43</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b>	<b>Datos recopilados para falla normal de magnitud 4-6.....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 2.</b>	<b>Datos recopilados para falla normal de magnitud 6-8.....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 3.</b>	<b>Datos recopilados para falla Reverse de magnitud 4-6 .....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 4.</b>	<b>Datos recopilados para falla Reverse de magnitud 6-8 .....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 5.</b>	<b>Datos recopilados para falla Reverse de magnitud mayor a 8 .....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 6.</b>	<b>Datos recopilados para falla Strike - SLIP de magnitud 6-8 .....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 7.</b>	<b>Datos recopilados para falla Strike - SLIP de magnitud 6-8 .....</b>	<b>19</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Tipo de perfil de suelo para diseño sísmico, NEC, 2014 .....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 2. Tipos de falla geológicas. ....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 3. Acelerograma del sismo Northwest China obtenido de Strong-Motion 14</b>	<b>14</b>
<b>Figura 4. Colocación de datos en Degtra para obtener el espectro de respuesta de aceleración. ....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 5. Espectro de respuesta de aceleración absoluta del sismo Northwest China en Degtra. ....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 6. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Normal, Magnitud 4-6 y Vs30 200-400 .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 7. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Normal, Magnitud 4-6 y Vs30 400-600 .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 8. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Normal, Magnitud 4-6 y Vs30 &gt;600.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 9. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Normal, Magnitud 6-8 y Vs30 200-400 .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 10. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Normal, Magnitud 6-8 y Vs30 400-600 .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 11. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Inversa, Magnitud 4-6 y Vs30 200-400 .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 12. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Inversa, Magnitud 4-6 y Vs30 400-600 .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 13. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Inversa, Magnitud 4-6 y Vs30 &gt;600.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 14. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Inversa, Magnitud 6-8 y Vs30 200-400 .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 15. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Inversa, Magnitud 6-8 y Vs30 400-600 .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 16. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Inversa, Magnitud 6-8 y Vs30 &gt;600.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 17. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Inversa, Magnitud &gt;8 y Vs30 200-400 .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 18. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 4-6 y Vs30 0-200 .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 19. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 4-6 y Vs30 200-400 .....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 20. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 4-6 y Vs30 400-600 .....</b>	<b>27</b>

<b>Figura 21. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 4-6 y Vs30 &gt;600.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 22. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 6-8 y Vs30 0-200 .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 23. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 6-8 y Vs30 200-400 .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 24. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 6-8 y Vs30 400-600 .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 25. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 6-8 y Vs30 &gt;600.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 26. Espectro respuesta de aceleración normalizado de suelo con Vs30 0-200 y su curva promedio.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 27. Espectro respuesta de aceleración normalizado de suelo con Vs30 200-400 y su curva promedio.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 28. Espectro respuesta de aceleración normalizado de suelo con Vs30 400-600 y su curva promedio.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 29. Espectro respuesta de aceleración normalizado de suelo con Vs30 &gt;600 y su curva promedio.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 30. Espectro de respuesta de aceleración promedio de Vs30 0-200, 200-400, 400-600 y mayor a 600.....</b>	<b>34</b>

## INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo existen principales regiones y zonas sísmicas que se han identificado debido a la localización epicentral de los sismos y al conocimiento de los movimientos de las placas tectónicas. Los observatorios sismológicos determinan los parámetros hipocentrales de los sismos de cada país a partir de las redes sísmicas mundiales, una de ellas la agencia internacional USGS reporta la ocurrencia de aproximadamente 7 000 sismos al año a nivel mundial (Tavera, 2008). La base de datos Strong-Motion tiene el reporte de varios sismos registrados por diversas estaciones en el mundo, entre ellas presenta datos de USGS, California Geological Survey (CGS), Sistema Sísmico Nacional Avanzado (ANSS), entre otros. Esta base de datos presenta la magnitud del sismo, tipo de falla, PGA máximo de cada componente y los acelerogramas. A partir de esta información se grafican los espectros de respuesta normalizado de aceleración y espectro de respuesta de desplazamiento.

Los espectros de respuesta permiten la caracterización de los movimientos y efectos del suelo frente a las estructuras. Mediante un gráfico se analiza las respuestas máximas absolutas en un medio determinado de un registro sísmico. Los espectros de respuesta brindan una amplia información útil para el diseño sísmico-resistente de una estructura de acuerdo a los parámetros de aceleración, velocidad y desplazamiento.

En esta investigación se analizará los espectros respuesta de desplazamiento y aceleración para cada uno de los cien registros sísmicos recolectados de la base de datos Strong-Motion y se los clasificará de acuerdo al tipo de falla, magnitud del sismo y tipo de suelo ( $V_{s30}$ ). La clasificación de los sismos permitirá obtener resultados de la posible relación entre la intensidad de un sismo y el tipo de suelo en el cual están ubicadas las estaciones. Finalmente, se realizará una comparativa frente a los resultados esperados y los resultados obtenidos de acuerdo a los espectros respuesta.

## DESARROLLO DEL TEMA

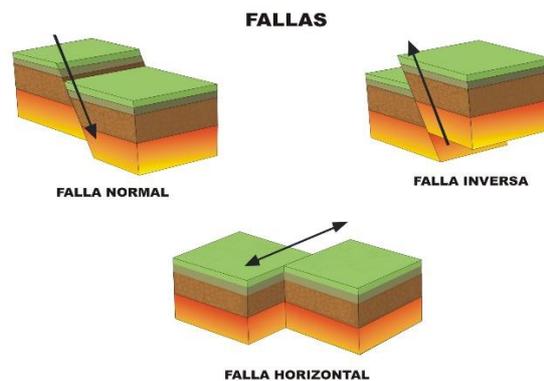
Un sismo se produce por la liberación de energía en el interior de la Tierra que se propaga debido a las ondas que este movimiento provoca. Las ondas sísmicas producen movimientos bruscos en el suelo las cuáles afecta a la base de las estructuras que tiende a seguir el movimiento de las ondas que llegan en una dirección determinada, pero la masa del edificio se opone por inercia al movimiento de desplazamiento dinámico. (Celigüeta, 2022)

El tipo de suelo que se encuentre cercano o debajo de una estructura de acuerdo a sus propias características puede ocasionar una amplificación o atenuación dinámica de un movimiento telúrico. Para el caso de suelos blandos se produce usualmente una amplificación dinámica que consecuentemente trae el problema de interacción suelo-estructura. (Miragall, 1983) Para catalogar el suelo existen varios métodos, para esta investigación se utilizó el vs30. Vs30 es la velocidad de propagación de ondas a los 30m de profundidad de la superficie del suelo; mientras mayor sea el valor de Vs30 obtenido se clasifica como un suelo duro, a menor valor de Vs30 se clasifica como un suelo blando.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s $> V_s \geq 360$ m/s
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360$ m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100$ kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP $> 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa

**Figura 1. Tipo de perfil de suelo para diseño sísmico, NEC, 2014**

Los tipos de falla por los cuales se clasificó en esta investigación corresponden a las fallas Normal, inversa (reverse) y falla de desgarre (strike-slip). La falla normal es el movimiento de las placas en sentido contrario de tal manera que el plano de falla se inclina hacia el labio hundido ocasionadas por fuerzas de tracción; en la falla inversa, el plano de falla se inclina hacia la capa tectónica levantada, mientras que en la falla de desgarre, ambas capas se encuentran a la misma altura y presenta un desplazamiento horizontal entre sí.



**Figura 2. Tipos de falla geológicas.**

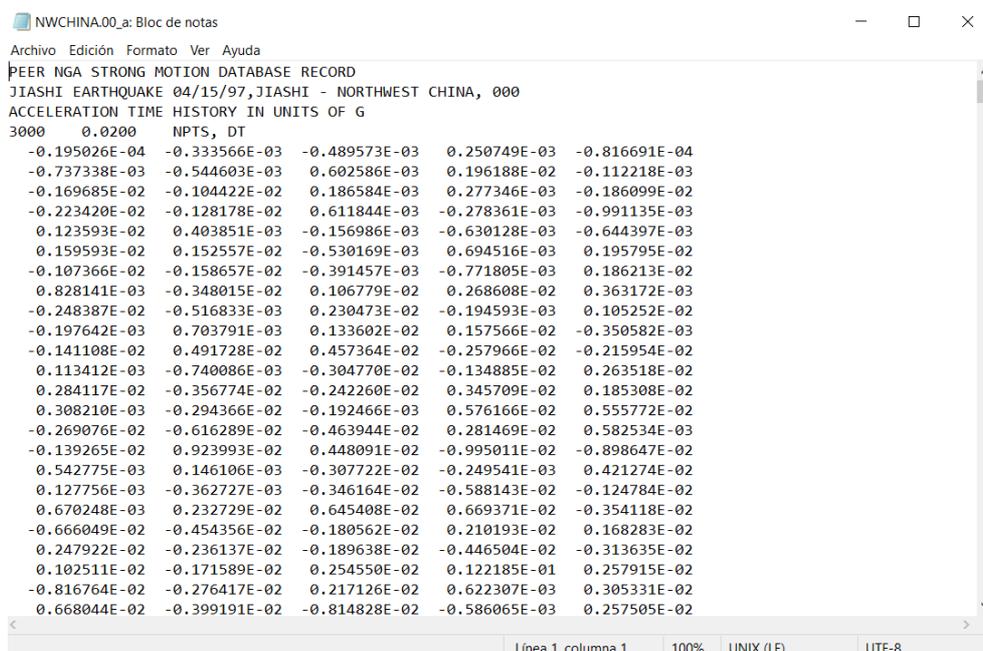
### **Espectro de Respuesta**

Para determinar la respuesta sísmica que tendrá una estructura frente a movimientos telúricos, se utilizan modelos matemáticos que asemejen las propiedades mecánicas y dinámicas de la estructura a un modelo más simple. Dentro del modelo más utilizado es la respuesta sísmica de estructuras de un grado de libertad, en el cual se distribuye toda la masa de la estructura en un solo punto, se la evalúa como si fuera una estructura de un solo piso con una determinada rigidez lateral y con estructura empotrada en la base (Rochel, 2020).

Bajo el sistema de un grado de libertad se utiliza la ecuación dinámica de un grado de libertad amortiguado. Normalmente para diseño sismo resistente sólo se desea conocer el valor máximo absoluto de respuesta que es el punto en el cual se presentan daños en la estructura.

Para obtener el espectro de respuesta se puede emplear el método de aceleración lineal, el cual busca determinar la respuesta para un sistema lineal de un grado de libertad suponiendo que la aceleración varía linealmente entre dos intervalos de tiempo. Este método presenta una solución divergente siempre y cuando se tenga en cuenta ciertas consideraciones del periodo, si se escoge un periodo menor o igual a la décima parte del mismo se obtendrán resultados confiables. Integrando la expresión para la aceleración se obtiene la expresión de la velocidad, e integrando dos veces la expresión de la aceleración se obtiene la fórmula del desplazamiento. En esta investigación se utilizó el método de aceleración lineal. Para obtener los espectros de respuesta de aceleración y desplazamiento se utilizó la base de datos Strong-Motion del cual se seleccionaron cien sismos de distintos países de los cuales se obtuvieron las aceleraciones registradas por las estaciones en tres componentes por cada sismo, dos componentes horizontales y una componente vertical. Un ejemplo, a continuación:

A través de Strong-motion se descargó las componentes horizontales y vertical para el sismo Northwest China de magnitud 5.9, Vs30 de 225 m/s y falla de Desgarre (Strike Slip).



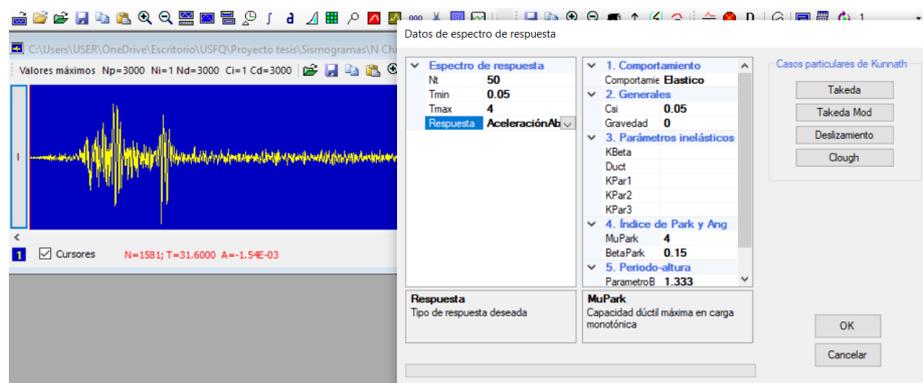
```

NWCHINA.00_a: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
PEER NGA STRONG MOTION DATABASE RECORD
JIASHI EARTHQUAKE 04/15/97, JIASHI - NORTHWEST CHINA, 000
ACCELERATION TIME HISTORY IN UNITS OF G
3000 0.0200 NPTS, DT
-0.195026E-04 -0.333566E-03 -0.489573E-03 0.250749E-03 -0.816691E-04
-0.737338E-03 -0.544603E-03 0.602586E-03 0.196188E-02 -0.112218E-03
-0.169685E-02 -0.104422E-02 0.186584E-03 0.277346E-03 -0.186099E-02
-0.223420E-02 -0.128178E-02 0.611844E-03 -0.278361E-03 -0.991135E-03
0.123593E-02 0.403851E-03 -0.156986E-03 -0.630128E-03 -0.644397E-03
0.159593E-02 0.152557E-02 -0.530169E-03 0.694516E-03 0.195795E-02
-0.107366E-02 -0.158657E-02 -0.391457E-03 -0.771805E-03 0.186213E-02
0.828141E-03 -0.348015E-02 0.106779E-02 0.268608E-02 0.363172E-03
-0.248387E-02 -0.516833E-03 0.230473E-02 -0.194593E-03 0.105252E-02
-0.197642E-03 0.703791E-03 0.133602E-02 0.157566E-02 -0.350582E-03
-0.141108E-02 0.491728E-02 0.457364E-02 -0.257966E-02 -0.215954E-02
0.113412E-03 -0.740086E-03 -0.304770E-02 -0.134885E-02 0.263518E-02
0.284117E-02 -0.356774E-02 -0.242260E-02 0.345709E-02 0.185308E-02
0.308210E-03 -0.294366E-02 -0.192466E-03 0.576166E-02 0.555772E-02
-0.269076E-02 -0.616289E-02 -0.463944E-02 0.281469E-02 0.582534E-03
-0.139265E-02 0.923993E-02 0.448091E-02 -0.995011E-02 -0.898647E-02
0.542775E-03 0.146106E-03 -0.307722E-02 -0.249541E-03 0.421274E-02
0.127756E-03 -0.362727E-03 -0.346164E-02 -0.588143E-02 -0.124784E-02
0.670248E-03 0.232729E-02 0.645408E-02 0.669371E-02 -0.354118E-02
-0.666049E-02 -0.454356E-02 -0.180562E-02 0.210193E-02 0.168283E-02
0.247922E-02 -0.236137E-02 -0.189638E-02 -0.446504E-02 -0.313635E-02
0.102511E-02 -0.171589E-02 0.254550E-02 0.122185E-01 0.257915E-02
-0.816764E-02 -0.276417E-02 0.217126E-02 0.622307E-03 0.305331E-02
0.668044E-02 -0.399191E-02 -0.814828E-02 -0.586065E-03 0.257505E-02
Linea 1, columna 1 100% UNIX (LF) UTF-8

```

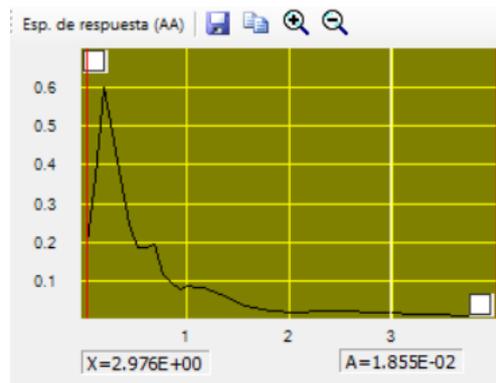
**Figura 3. Acelerograma del sismo Northwest China obtenido de Strong-Motion**

Degtra es un Software diseñado por el Instituto de Ingeniería de México (UNAM), dentro de sus funcionalidades está el cálculo de espectros de amplitudes de Fourier, cálculo de espectros de respuesta lineales o no lineales, respuesta osciladores de un grado de libertad o Intensidad de Arias (Ordaz, 2005). Mediante el programa Degtra se obtienen los espectros de respuesta de aceleración y desplazamiento. Se utilizan los datos del intervalo de tiempo con los cuales fueron recolectados los datos, el periodo en el cual se desea visualizar el espectro de respuesta y el amortiguamiento. El intervalo de tiempo depende de cada estación y la manera en la cuál registra los datos, el periodo analizado corresponde de 0.05 a 4 segundos y el amortiguamiento es de 5% para todos los sismos.



**Figura 4. Colocación de datos en Degtra para obtener el espectro de respuesta de aceleración.**

Degtra proporciona una gráfica de espectro de respuesta, donde se visualiza el punto máximo de aceleración en un determinado periodo. Los datos proporcionados por Degtra se exportan a Excel para armar la base de datos de cien sismos recopilados y clasificarlos posteriormente.



**Figura 5. Espectro de respuesta de aceleración absoluta del sismo Northwest China en Degtra.**

### Hipótesis

La teoría explica la relación entre el tipo de suelo y el espectro de respuesta de aceleración para cada sismo. Un suelo blando caracterizado por un  $V_{s30}$  de 0-200 suele aumentar las aceleraciones producidas por las ondas sísmicas generando el efecto de amplificación dinámica. Este efecto, especialmente para bajas y medias intensidades, produce que el periodo de vibración de la estructura sea mayor y los valores del espectro de respuesta de aceleración alcancen valores más grandes a comparación de los suelos firmes o rocosos. Mientras mayor sea el valor de  $V_{s30}$  no se espera una amplificación importante, por otro lado, se espera que las aceleraciones obtenidas en el espectro de respuesta y el periodo de vibración sean menores en comparación con los suelos blandos.

En la gráfica final se espera que la curva correspondiente al  $V_{s30}$  entre 0-200 su punto máximo de aceleración se encuentre en un mayor periodo de vibración y posea mayor aceleración, siguiendo con el suelo de  $V_{s30}$  entre 200-400, el suelo de  $V_{s30}$  entre 400-600 tendría un periodo de vibración intermedio y finalmente el  $V_{s30}$  para los tipos de suelos mayores a 600 se espera que su punto máximo de vibración se alcance en el menor periodo de vibración y sus

aceleraciones sean menores a las otras dos curvas. No obstante, la intensidad sísmica (depende de la magnitud y distancia) juega un rol importante en este aspecto.

## Resultados obtenidos

En esta investigación se recolectó a través de la base de datos de Strong-Motion el registro de acelerogramas correspondientes a cien sismos, de los cuales a través del programa Degtra se obtuvo el espectro de respuesta de aceleración considerando un periodo de vibración correspondiente a 0.05 – 4s y un amortiguamiento del 5%. Con el espectro respuesta de aceleración se divide para su respectivo valor de GPA máximo para obtener los registros respuesta de aceleración normalizados.

Los datos se agruparon de acuerdo al tipo de falla Normal (Normal), Inversa (Reverse) y de desgarre (Strike slip) dentro de cada tipo de falla se subclasificó por la magnitud de cada sismo. Se recopiló en una tabla el nombre del sismo, año, tipo de suelo (Vs30), el tipo de falla, el nombre de la estación que registró el sismo, magnitud, país, distancia epicentral, profundidad, nombre de los acelerogramas recopilados de Strong-Motion de la componente horizontal (1), horizontal (2) y vertical, PGA de la componente horizontal (1), horizontal (2) y vertical.

**Tabla 1. Datos recopilados para falla normal de magnitud 4-6**

# Registro	País	Nombre del sismo	Año	Estación	Magnitud	Tipo	Distancia Epicentral (Km)	Profundidad (Km)	Vs30	Suelo	Nombre del registro (Horizontal 1)	Nombre del registro (Horizontal 2)	Nombre del registro (Vertical)	PGA 1 (g)	PGA 2 (g)	PGA v (g)	PGA 1 (cm/s/s)	PGA 2 (cm/s/s)	PGA v (cm/s/s)
1	USA	Anza	2001	USGS station 5223	5,1	Normal - Oblique	10,55	15,20	425		Anza01.360_u	Anza01.90_u	Anza01.v_u	-0,103	0,127	-0,353	-100,7	124,7	-345,8
2	China	Northwest China	1997	CSB station 19001	5,8	Normal - Oblique	25,04	22,40	225		NWCHINA.270_a	NWCHINA.00_a	NWCHINA.v_a	-0,234	0,274	0,192	-229,23	268,34	188,47
3	Grecia	Kozani	1995	ITSK station	5,1	Normal	12,95	8,70	425		KOZANI.EW_a	KOZANI.NS_a	KOZANI.v_a	0,159	-0,141	-0,072	155,46	-137,88	-70,62
4	Japón	Kuril Islands	2006	KNET station HKD074	5	Normal - Oblique	51	10,00	555		Kislands.NS_u	Kislands.EW_u	Kislands.v_u	0,204	0,099	0,081	199,88	96,99	79,41
5	Japón	Kyushu	2006	KNET station OIT004	5,5	Normal - Oblique	17,04	71,60	690		Kyushu.EW_u	Kyushu.NS_u	Kyushu.v_u	0,142	0,097	0,075	139,69	94,68	73,53

**Tabla 2. Datos recopilados para falla normal de magnitud 6-8**

# Registro	País	Nombre del sismo	Año	Estación	Magnitud	Tipo	Distancia Epicentral (Km)	Profundidad (Km)	Vs30	Suelo	Nombre del registro (Horizontal 1)	Nombre del registro (Horizontal 2)	Nombre del registro (Vertical)	PGA 1 (g)	PGA 2 (g)	PGA v (g)	PGA 1 (cm/s/s)	PGA 2 (cm/s/s)	PGA v (cm/s/s)
1	USA	"Nisqually"	2001	"USGS station 7008"	6,8	Normal	15,69	52,4	312	Nisq.360_u	Nisq.270_u	Nisq.v_u	-0,155	-0,110	0,117	-151,7	-107,6	114,6	
2	Nueva Zelanda	"Edgecumbe"	1987	"GNS station 085B"	6,5	Normal	26,15	10	690	Edgec.N83E_a	Edgec.N07W_a	Edgec.v_a	0,058	-0,038	-0,288	56,7	-37	-282,4	
3	El Salvador	El Salvador	2001	UCA station ZA	7,6	Normal	51,24	60	255		ELSALVADOR_a			-0,294	0,258	-0,275	-288,3	253	-270,1
4	Grecia	Kozani	1995	ITSK station	6,4	Normal	19,5	12,6	425	KOZ.T_a	KOZ.L_a	KOZ.v_a	0,139	0,215	0,092	136	211,03	90,33	
5	USA	Oroville	1975	USGS station	6	Normal	13	5,5	538	Oroville.N44W_a	Oroville.N64E_a	Oroville.v_a	-0,085	0,118	0,133	-83,29	115,36	130,61	
6	USA	Mammoth Lakes	1980	CSMIP station 54099	6,1	Normal-Oblique	1,35	9	382	MamL.180_a	MamL.90_a	MamL.v_a	-0,400	-0,410	-0,385	-392,09	-402,19	-377,98	

**Tabla 3. Datos recopilados para falla Reverse de magnitud 4-6**

# Registro	País	Nombre del sismo	Año	Estación	Magnitud	Tipo	Distancia Epicéntrica (Km)	Profundidad (Km)	Vs30	Nombre del registro (Horizontal 1)	Nombre del registro (Horizontal 2)	Nombre del registro (Vertical)	PGA 1 (g)	PGA 2 (g)	PGA v (g)	PGA 1 (cm/s/s)	PGA 2 (cm/s/s)	PGA v (cm/s/s)
1	USA	"Northridge Aftershock"	1994	24436"	5.3	Reverse	9,77	15	1305	NorthridgeAft.180_a	NorthridgeAft.270_a	NorthridgeAft.v_a	-0,309	0,373	0,130	-302,7	365,3	127,8
2	USA	"Sierra Madre"	1991	23210"	5,6	Reverse	3,84	12	680	SierraMadre.155_a	SierraMadre.65_a	SierraMadre.v_a	-0,302	-0,264	-0,227	-296,2	-259	-223,1
3	USA	"Whittier Aftershock"	1987	24461"	5,3	Reverse-Oblique	6,49	13,3	550	WA.270_a	WA.180_a	WA.v_a	-0,214	-0,178	-0,174	-210	-175	-170,7
4	USA	"Oceanside"	1986	"USC station 5302"	5,8	Reverse	76,95	10	221	Oceanside.h2_u	Oceanside.h1_u	Oceanside.v_u	0,027	0,033	0,012	26,7	32,1	11,6
5	USA	"Coalinga Aftershock"	1983	"CSMIP station CHP"	5,3	Reverse	9,53	8,4	299	CA.90_u	CA.00_u	CA.v_u	0,709	0,478	0,322	695	468,9	315,6
6	USA	"Point Mugu, California"	1973	25281"	5,3	Reverse	17,89	8	249	PM.270_u	PM.180_u	PM.v_u	0,076	0,129	0,042	74,1	126,1	41,3
7	USA	Santa Barbara	1978	USGS station 0283	5,8	Reverse-Oblique	7,20	12,7	515	SantaB.222_a	SantaB.132_a	SantaB.v_a	0,204	-0,101	0,077	199,97	-98,9	75,06
8	Japón	Chitose	2019	KNET station HKD128	5,5	Reverse-Oblique	11,59	41,2	555	Chitose.EW_a	Chitose.NS_a	Chitose.EW_a	0,196	0,145	0,139	192,25	142,27	135,99

**Tabla 4. Datos recopilados para falla Reverse de magnitud 6-8**

# Registro	País	Nombre del sismo	Año	Estación	Magnitud	Tipo	Distancia Epicéntrica (Km)	Profundidad (Km)	Vs30	Nombre del registro (Horizontal 1)	Nombre del registro (Horizontal 2)	Nombre del registro (Vertical)	PGA 1 (g)	PGA 2 (g)	PGA v (g)	PGA 1 (cm/s/s)	PGA 2 (cm/s/s)	PGA v (cm/s/s)
1	Taiwan	"Chi-chi"	1999	"CWB station TCU080"	7,7	Reverse	10,2	16	760	a.CHICHI-N	a.CHICHI-E	a.CHICHI-V	0,468782	-0,53762	-0,47998	459,72	-527,23	-470,7
2	Taiwan	"Taiwan"	1986	"IES station E02"	7,3	Reverse	71,34	15	240	Tai.NS_a	Tai.EW_a	Tai.v_a	-0,13627	-0,14265	-0,05231	-133,64	-139,89	-51,3
3	Alaska	"SE Alaska"	1979	"USGS station MDY"	7,4	Reverse	71,80	15,7	425	SE.270_a	SE.00_u	SE.v_u	0,041604	0,064038	0	40,8	62,8	
4	USA	"San Simeon"	2003	"CSMIP station 37737"	6,50	Reverse	12,70	7,6	362	SanS.360_a	SanS.90_a	SanS.v_a	0,124507	0,178449	-0,08831	122,1	175	-86,6
5	USA	"Northridge"	1994	"USC station 5303"	6,7	Reverse	12,9	17,5	280	North.h1_u	North.h2_u	North.v_u	-0,10268	0,127158	-0,35262	-100,7	124,7	-345,8
6	USA	"Cape Mendocino/Petrolia"	1992	"CSMIP station 89005"	7	Reverse	12,17	9,6	568	CAPEMEND.90_a	CAPEMEND.00_a	CAPEMEND.v_a	1,039493	1,497242	-0,75346	1019,4	1468,3	-738,9
7	USA	"Loma Prieta/Santa Cruz"	1989	"CSMIP station 57007"	7	Reverse-Oblique	2,8	17,5	462	LomaST.90_a	LomaST.00_a	LomaST.v_a	0,478652	0,629875	0,439597	469,4	617,7	431,1
8	USA	"Whittier Narrows"	1987	"MWD station 0709"	6,1	Reverse-Oblique	13,6	14,6	468	WN.330_a	WN.60_a	WN.v_a	-0,47742	-0,37436	0,380842	-468,19	-367,12	373,48
9	USA	"North Palm Springs"	1986	"USGS station 5072"	6,2	Reverse-Oblique	6,10	11	503	NPS.270_u	NPS.180_u	NPS.v_u	0,615905	0,489359	0,436334	604	479,9	427,9
10	Armenia	"Spitak"	1998	"NSSP station"	7,1	Reverse-Oblique	27,04	5	780	Spitak.V_a	Spitak.X_a	Spitak.Z_a	0,190278	0,191604	0,132358	186,6	187,9	129,8
11	USA	Northridge Earthquake	1994	CSMIP station 24386	6,4	Reverse	6,6	1,7	284	NorthEarth.00_u	NorthEarth.270_u	NorthEarth.v_u	0,405	0,456	0,277	397,1714	447,185	271,6456
12	Canadá	Nahanni	1985	GSC station NAH1	6,9	Reverse	19,26	10	760	Nahanni.280_a	Nahanni.10_a	Nahanni.v_a	1,345101	0,975558	1,368117	1319,1	956,7	2322,4
13	India	Uttarkashi	1991	IITR station bhat	7	Reverse	19,26	10	760	Uttark.N05W_a	Uttark.N85E_a	Uttark.v_a	-0,24677	0,252888	0,294696	-242	248	289
14	Chile	Valparaiso	1985	DGS station 4406	7,8	Reverse	95,46	33	375	Valpa.EW_u	Valpa.NS_u	Valpa.v_u	0,089327	0,223317	0,062508	87,6	219	61,3
15	USA	Kern Country	1952	USGS station 1095	7,2	Reverse	36,2	16	423,9	KernC.N21E_a	KernC.S69E_a	KernC.v_a	0,179418	0,15571	0,104877	175,95	152,7	102,85
16	USA	San Fernando	1971	CSMIP station 24207	6,6	Reverse	3,5	13	390	SanFer.254_u	SanFer.164_u	SanFer.v_u	1,075744	-1,17069	0,709688	1054,95	-1148,06	695,97
17	USA	Coalinga	1983	USBR station 1162	6,5	Reverse	13,33	4,6	270,4	Coalinga.135_u	Coalinga.45_u	Coalinga.v_u	0,272548	0,312735	-0,22052	267,28	306,69	-216,26
18	Nueva Zelanda	Cass	1995	GNS station 505A	6,2	Reverse-Oblique	20,86	7	760	Cass.N13W_a	Cass.N77E_a	Cass.v_a	-0,1448	-0,11513	0,058837	-142	-112,9	57,7

**Tabla 5. Datos recopilados para falla Reverse de magnitud mayor a 8**

# Registro	País	Nombre del sismo	Año	Estación	Magnitud	Tipo	Distancia Epicéntrica (Km)	Profundidad (Km)	Vs30	Nombre del registro (Horizontal 1)	Nombre del registro (Horizontal 2)	Nombre del registro (Vertical)	PGA 1 (g)	PGA 2 (g)	PGA v (g)	PGA 1 (cm/s/s)	PGA 2 (cm/s/s)	PGA v (cm/s/s)
1	Japón	Tokachi-oki	2003	KNET station HKD112	8	Reverse	44,62	33	275	Tokachi.EW_a	Tokachi.NS_a	Tokachi.v_a	0,114412	0,145819	0,047621	112,2	143	46,7
2	Chile	Iquique, Chile Earthquake	2014	NSNC station G001	8,2	Reverse	169,81	20,1	225	Iquique.360_u	Iquique.90_u	Iquique.v_u	0,36264	-0,23619	-0,16415	355,63	-231,62	-160,98

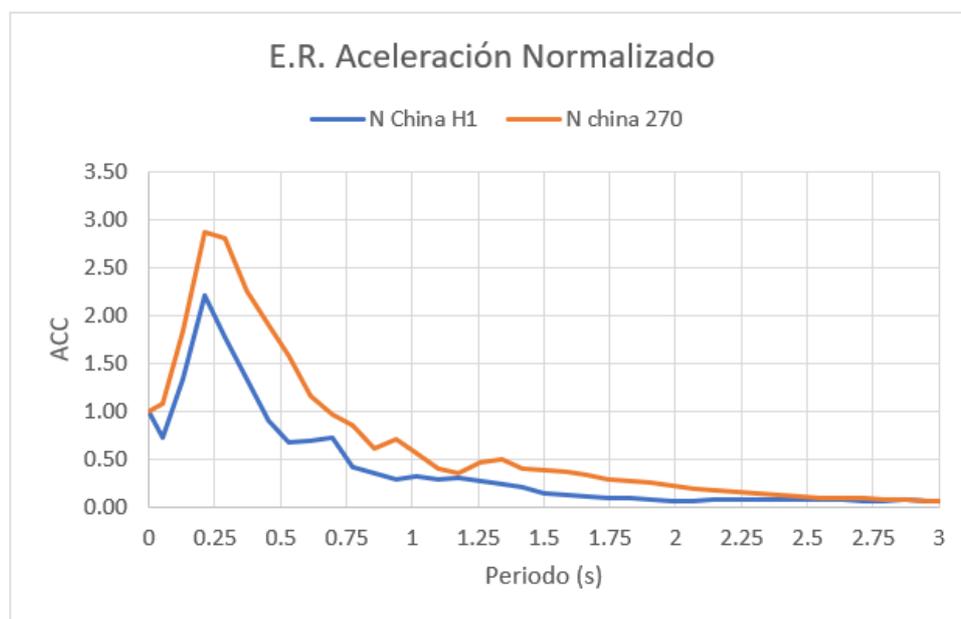
**Tabla 6. Datos recopilados para falla Strike - SLIP de magnitud 6-8**

# Registro	País	Nombre del sismo	Año	Estación	Magnitud	Tipo	Distancia Epicéntrica (Km)	Profundidad (Km)	Vs30	Nombre del registro (Horizontal 1)	Nombre del registro (Horizontal 2)	Nombre del registro (Vertical)	PGA 1 (g)	PGA 2 (g)	PGA v (g)	PGA 1 (cm/s/s)	PGA 2 (cm/s/s)	PGA v (cm/s/s)
1	USA	"Anza"	2005	"USGS station 5223"	5,2	Strike-slip	5,12	14,1	425	Anza.360_u	Anza.90_u	Anza.v_u	-0,20394	0,17641	-0,19375	-200	173	-190
2	USA	"Big bear city"	2003	"CSMIP station 22791"	5,4	Strike-slip	5,09	6,3	335	BBC.106_a	BBC.16_a	BBC.v_a	0,122891	-0,24687	0,066587	126,4	-242,1	65,3
3	USA	"Yorba Linda"	2002	"USGS station 698"	4,8	Strike-slip	3,98	12,9	270	YorbaL.281_u	YorbaL.11_u	YorbaL.v_u	0,023953	-0,02242	-0,01759	23,49	-21,99	-17,25
4	USA	"Mohawk Valley"	2001	"ACOE station 1133"	5,2	Strike-slip	74,79	4	425	MV.360_u	MV.90_u	MV.v_u	0,018661	-0,02223	0,016825	18,3	-21,8	16,5
5	USA	"Big bear Lake"	2001	"CSMIP station 22791"	5,1	Strike-slip	4,82	9,1	335	BigBL.106_a	BigBL.16_a	BigBL.v_a	-0,06067	-0,12685	0,048436	-59,5	-124,4	47,5
6	USA	"Yountville"	2000	"USGS station 1765"	5	Strike-slip	9,97	9,4	270	Yount.360_u	Yount.90_u	Yount.v_u	-0,40921	0,507918	0,512813	-401,3	498,1	502,9
7	USA	"San Juan Bautista"	1998	"USGS station 1032"	5,2	Strike-slip	8,20	9,1	270	SJB.360_u	SJB.90_u	SJB.v_u	-0,09657	-0,09137	-0,04099	-94,7	-89,6	-40,2
8	USA	"Joshua Tree"	2013	"GSCN station HCC"	4,3	Strike-slip	18,57	14,4	725	JT.360_u	JT.90_u	JT.v_u	0,00063	0,00771	0,00333	6,178221	6,96257	3,26211
9	USA	"Upland"	1990	"USGS station 656"	5,2	Strike-slip	6,12	4,5	619	Upland.245_u	Upland.155_u	Upland.v_u	0,434295	0,171413	0,283167	423,9	168,1	287,5
10	USA	"Chalfant Valley aftershock"	1986	"CSMIP station 54171"	5,8	Strike-slip	12,47	9,2	522	CHA.160_a	CHA.70_a	CHA.v_a	0,183201	0,123528	0,059296	179,66	121,14	58,15
11	USA	"Mammoth Lakes"	1983	"CSMIP station 54099"	5,2	Strike-slip	8,91	3	382	WESTMO.180_u	WESTMO.90_u	WESTMO.v_u	-0,15402	0,158687	0,096944	-151,04	155,62	95,07
12	USA	"Westmorland"	1981	"CSMIP station 11369"	5,9	Strike-slip	6,82	2,3	194	WESTMO.180_a	WESTMO.90_a	WESTMO.v_a	0,495987	0,378109	0,545749	486,4	370,8	535,2
13	USA	"Redlands, California"	1985	"CSMIP station 23497"	4,8	Strike-slip	31,19	15,2	390	RC.00_u	RC.00_u	RC.v_u	0,034262	0,04395	0,030387	33,6	43,1	29,8
14	USA	"Westmorland, California"	1981	"CSMIP station 11369"	5,9	Strike-slip	6,82	2,3	194	WCAL.180_a	WCAL.90_a	WCAL.v_a	0,495987	0,378109	0,545749	486,4	370,8	535,2
15	México	California-Baja California Border	2002	USGS station 5053	5,7	Strike-slip	44,35	7	223	CalIFB.360_u	CalIFB.90_u	CalIFB.v_u	-0,11268	0,078722	-0,0258	-110,5	77,2	-25,3
16	México	Gulf of California	2001	USGS station 5272	5,7	Strike-slip	82,80	10	223	GuIFC.270_u	GuIFC.180_u	GuIFC.v_u	0,011727	0,01295	-0,00744	11,5	12,7	-7,3
17	China	Northwest China	1997	C88 station 19001	5,9	Strike-slip	13,19	23,1	225	NorthChina.270_u	NorthChina.00_u	NorthChina.v_u	-0,23775	0,273629	0,192185	-239,23	268,34	188,47
18	USA	Lyttle Creek	1970	USGS station 0290	5,3	Strike-slip	13,04	8	845,1	LyttleC.205_u	LyttleC.115_u	LyttleC.v_u	0,198242	0,141781	-0,0541	194,41	139,04	-53,05
19	USA	Femdale	1967	USGS station 1023	5,8	Strike-slip	30,5	6	312,9	Femdale.544W_a	Femdale.146W_a	Femdale.v_a	0,105102	-0,12864	0,033059	103,07	-232,07	32,42
20	USA	Imperial Valley	1951	USGS station 0117	5,8	Strike-slip	27,13	16	213,4	ImpValley.90_u	ImpValley.00_u	ImpValley.v_u	-0,0281	0,030948	0,013532	-27,56	30,35	13,27
21	USA	Livermore	1980	CSMIP station 57314	5,5	Strike-slip	15,52	11,8	787,9	Livermore.340_u	Livermore.70_u	Livermore.v_u	-0,03905	0,05486	0,016111	-38,3	53,8	15,8
22	USA	Imperial Valley aftershock	1979	CSMIP station 11369	5	Strike-slip	10,81	3,3	194	ImpVal.360_u	ImpVal.90_u	ImpVal.v_u	0,113086	0,154996	0,106451	110,9	152	114,2
23	USA	Coyote Lake	1979	CSMIP station 57217	5,7	Strike-slip	4,49	9,6	561	CoyoteL.250_u	CoyoteL.160_u	CoyoteL.v_u	0,249452	0,140435	0,103174	244,63	137,72	101,18
24	USA	Northern California	1975	USGS station 1023	5,2	Strike-slip	7	21	312,9	NCalIF.544W_u	NCalIF.v_u	NCalIF.v_u	0,20333	0,178286	-0,04321	199,37	174,84	-42,37
25	USA	Hollister	1974	CSMIP station 1377	5,2	Strike-slip	10	6,1	372	Hollister.S57E_u	Hollister.N33E_u	Hollister.v_u	0,114259	0,044806	-0,04649	112,05	43,94	-45,59
26	USA	Anza	1982	USGS station 5160	4,8	Strike-slip	0,00	12,2										

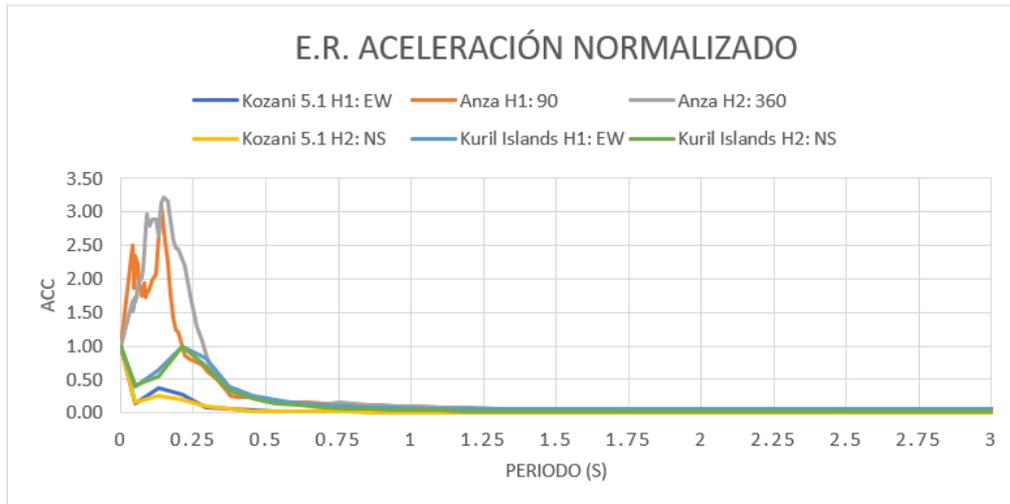
**Tabla 7. Datos recopilados para falla Strike - SLIP de magnitud 6-8**

# Registro	País	Nombre del sismo	Año	Estación	Magnitud	Tipo	Distancia Epicentro l (Km)	Profundidad (Km)	Vs30	Suelo	Nombre del registro (Horizontal 1)	Nombre del registro (Horizontal 2)	Nombre del registro (Vertical)	PGA 1 (g)	PGA 2 (g)	PGA v (g)	PGA 1 (cm/s/s)	PGA 2 (cm/s/s)	PGA v (cm/s/s)
1	Alaska	"Denali"	2002	"APSC station ps10"	7.9	Strike-slip	88.76	4.9	760		Denali.321_u	Denali.51_u	Denali.v_u	-0.29582	-0.33681	-0.23759	-290.1	-330.3	-233
2	Alaska	"Nenana Mountain"	2002	"APSC station ps09"	6.7	Strike-slip	116.32	4.2	425		Nenana.103_a	Nenana.13_a	Nenana.v_a	-0.01581	-0.01795	0.015194	-15.5	-17.6	14.9
3	USA	"Off the coast of northern California"	2005	"USGS station 1725"	7.2	Strike-slip	129.11	10	390		OFC.360_u	OFC.90_u	OFC.v_u	0.013562	-0.01162	0.006522	13.3	-11.4	6.2
4	USA	"Parkfield"	2004	"USGS station GFU"	6	Strike-slip	3.2	7.9	451		PARKF.360_u	PARKF.90_u	PARKF.v_u	0.138681	-0.17131	-0.11829	136	-168	-116
5	USA	"Hector Mine"	1999	"21081"	7.3	Strike-slip	48.54	5	383		HM.360_a	HM.90_a	HM.v_a	-0.14969	0.181916	-0.13256	-146.8	178.4	-130
6	USA	"South Lake Tahoe"	1994	"65398"	6.3	Strike-slip	16.98	5	393		SILT.90_a	SILT.00_a	SILT.00_a	0.086064	0.060571	0.113494	84.4	59.4	111.3
7	USA	"Big bear"	1992	"USGS station 22561"	6.4	Strike-slip	12.90	13	356		BIGBEAR.360_a	BIGBEAR.270_a	BIGBEAR.v_a	0.54473	0.481508	0.194051	534.2	472.2	190.3
8	USA	"Landers"	1992	"22170"	7.3	Strike-slip	10	7	343		Landers.90_a	Landers.00_a	Landers.v_a	0.283888	0.273588	-0.1812	278.4	268.3	-177.7
9	USA	"Superstition Hills"	1987	"USGS station 0286"	6.6	Strike-slip	5.6	9	503		SUPERST.135_a	SUPERST.45_a		-0.89378	-0.68215	0	-87.5	-68.96	
10	USA	"Elmore Ranch"	1987	"USGS station 5210"	6.2	Strike-slip	15.6	5	198.5		Elmore.360_a	Elmore.90_a	Elmore.v_a	-0.12763	0.128473	-0.17968	-125.16	125.99	-176.21
11	USA	"Chalfant Valley"	1986	"54428"	6.4	Strike-slip	15.56	10	316		CV.360_a	CV.270_a	CV.v_a	0.402378	0.44439	-0.29796	394.6	435.8	-292.2
12	USA	"Helena"	1995	"USGS station 2202"	6	Strike-slip	3.2	6	539		Helena.h1_a	Helena.h2_a	Helena.v_a	0.145309	0.146298	0.089215	142.5	143.47	87.49
13	Iran	"Manjil-Iran"	1990	"BHC station"	7.4	Strike-slip	12.6	19	760		MANJIL.L_a	MANJIL.L_a	MANJIL.v_a	-0.49635	0.514556	0.537626	-486.76	504.61	527.43
14	Turquia	"Amir-Kocaeli"	1999	"KÖER station 772"	7.4	Strike-slip	17.04	15	280		IK.270_u	IK.00_u	IK.v_u	0.230047	0.321923	0.240856	225.6	315.7	236.2
15	Turquia	"Duzce-Turkey"	1999	"IRIGM station 487"	7.1	Strike-slip	24.00	10	200		DuzceTurkey.NS_a	DuzceTurkey.EW_a	DuzceTurkey.v_a	0.303568	0.282256	0.228945	297.7	276.8	225.5
16	USA	"Morgan Hill, California"	1984	"57191"	6.1	Strike-slip	2.5	8.5	282		MHC.150_u	MHC.150_u	MHC.v_u	0.311797	-0.156	-0.11015	305.77	-152.98	-108.02
17	USA	"Long Beach"	1933	"USGS station 0131"	6.4	Strike-slip	0.8	13	369.1		LB.270_u	LB.180_u	LB.v_u	-0.15907	0.196529	0.285295	-156	192.73	279.78
18	USA	"Calexico"	2010	"CSMIP station 01711"	7.2	Strike-slip	63.5	26	229		Calexico.135_u	Calexico.45_u	Calexico.v_u	0.383	-0.273	0.369	375.9966	-267.723	361.8672
19	USA	"Ridgecrest Earthquake"	2019	"CSMIP station 32076"	7.1	Strike-slip	122	109.8	387		RidE.360_u	RidE.360_u	RidE.v_u	0.07	-0.12	-0.04	68.6469	-117.68	-39.2268
20	El Salvador	"El Salvador"	2001	"UCA station BA"	6.6	Strike-slip	10.95	13	255		ELSALV_a			0.159279	-0.11227	-0.14062	156.2	-110.11	-137.9
21	México	"Victoria"	1980	"Idel station 6610"	6.4	Strike-slip	4.2	11	231		Vict.320_u	Vict.50_u	Vict.v_u	0.872363	0.977597	0	855.5	958.7	
22	México	"El Alamo"	1956	"USGS station 0117"	6.8	Strike-slip	121	16	213.4		ElAlamo.S00W_u	ElAlamo.S90W_u	ElAlamo.v_u	-0.033059	-0.05108	0.012665	32.42	-50.09	12.42
23	Japón	"Kobe"	1995	"UC station"	6.9	Strike-slip	7.1	17.9	318		ath.KOBE.NS000	ath.KOBE.NS090	ath.KOBE.NIS-UP	-0.50934	-0.50275	0.370726	-499.49	-493.03	363.56
24	USA	"Borrego Mountain"	1968	"USGS station 0117"	6.3	Strike-slip	33.77	8	213.4		BorregoM.270_a	BorregoM.180_a	BorregoM.v_a	-0.05737	-0.13026	-0.03033	-56.16	-127.74	-29.74
25	USA	"El centro"	1940	"USGS station 0117"	6.9	Strike-slip	8.45	8	213.4		ElCentro.180_u	ElCentro.270_u	ElCentro.v_u	0.214282	0.348423	-0.21042	210.14	341.69	-206.35
26	USA	"Imperial Valley"	1979	"Idel station 6618"	6.5	Strike-slip	3.3	10	223		ImperialValley.273_u	ImperialValley.03_u	ImperialValley.v_u	0.234432	0.358326	0.906931	229.9	351.4	889.4
27	USA	"Parkfield"	1966	"CSMIP station 36228"	6.1	Strike-slip	46.37	3.5	10	173	ParkF.355_u	ParkF.85_u	ParkF.v_u	-0.05468	-0.043407	-0.11919	-347.82	-425.68	-116.89
28	USA	"Borrego Valley"	1942	"USGS station 0117"	6.5	Strike-slip	46.37	7	213.4		BorregoValley.00_u	BorregoValley.90_u	BorregoValley.v_u	-0.05964	-0.04746	-0.02569	-58.49	-46.54	-25.19
29	USA	"Mammoth Lakes"	1980	"CSMIP station 54099"	6.2	Strike-slip	11.94	14	382		MammothL.180_u	MammothL.90_u	MammothL.v_u	-0.29361	0.253051	-0.17086	-287.93	248.16	-167.56
30	Japón	"Kumamoto-shi"	2016	"KNET station KMM006"	7	Strike-slip	4.58	10	690		Kumamoto.EW_u	Kumamoto.NS_u	Kumamoto.v_u	0.628468	0.843505	0.544801	616.32	827.2	534.27

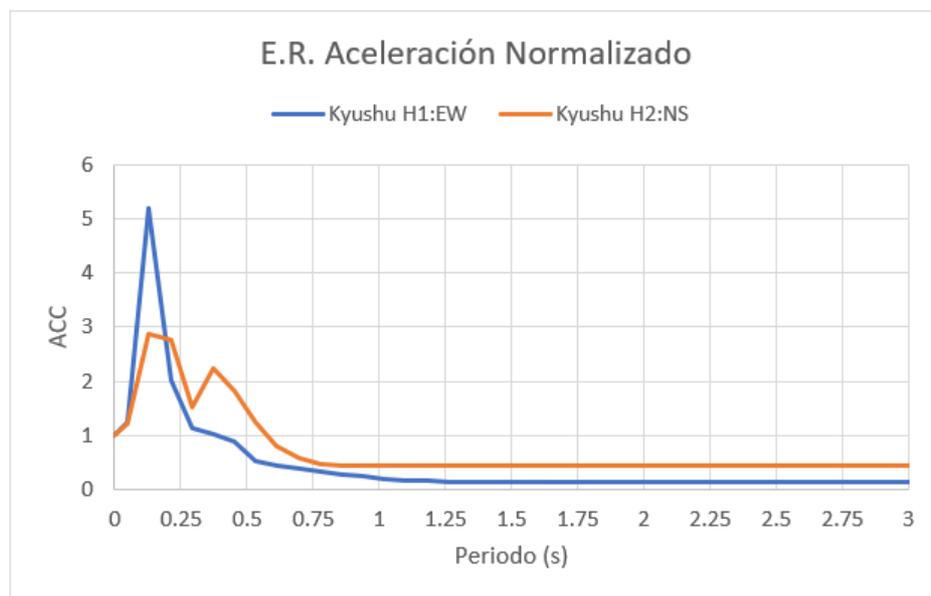
A continuación, se presentan las gráficas de los espectros de respuesta de aceleración normalizados clasificados de acuerdo al tipo de falla, tipo de suelo y magnitud. Ejemplos de los espectros obtenidos se encuentran a continuación.



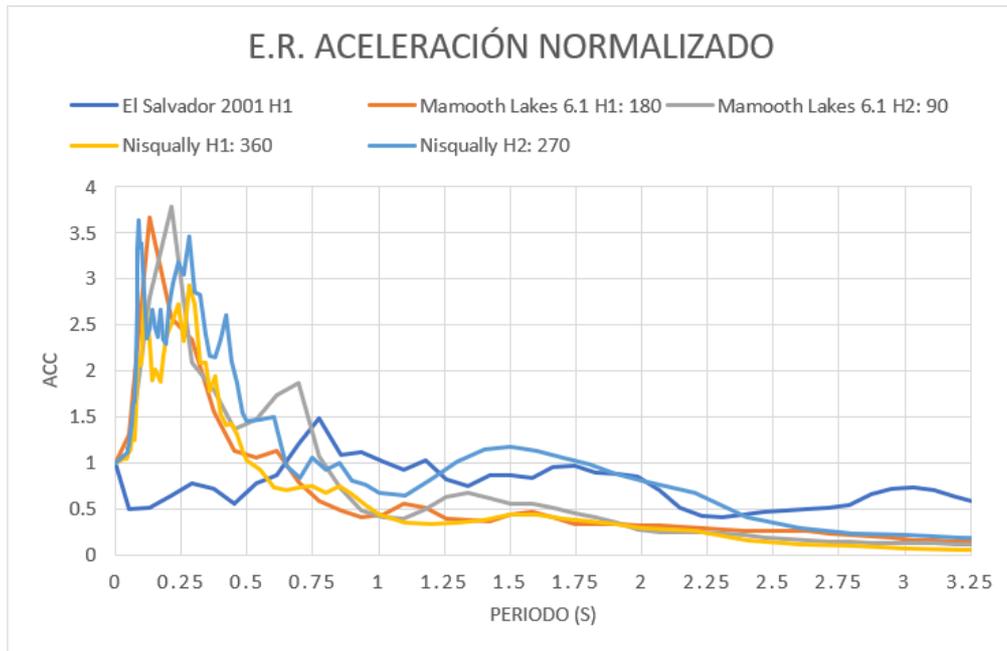
**Figura 6. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Normal, Magnitud 4-6 y Vs30 200-400**



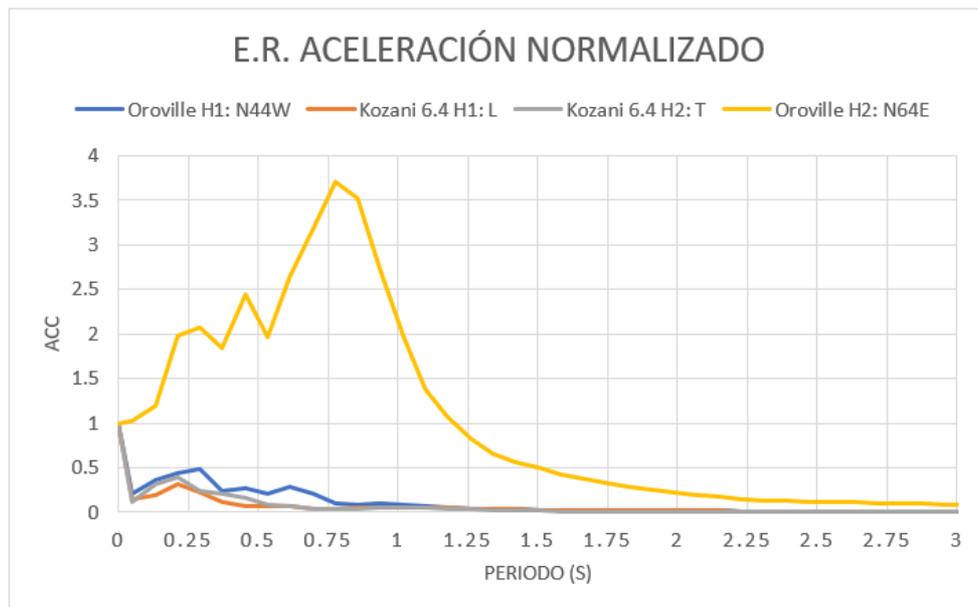
**Figura 7. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Normal, Magnitud 4-6 y Vs30 400-600**



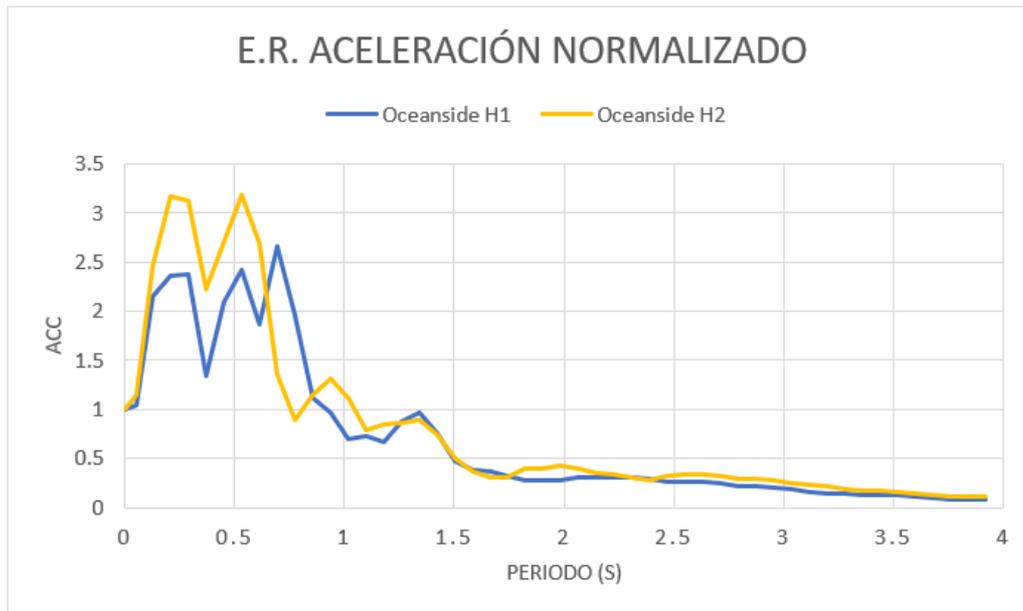
**Figura 8. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Normal, Magnitud 4-6 y Vs30 >600**



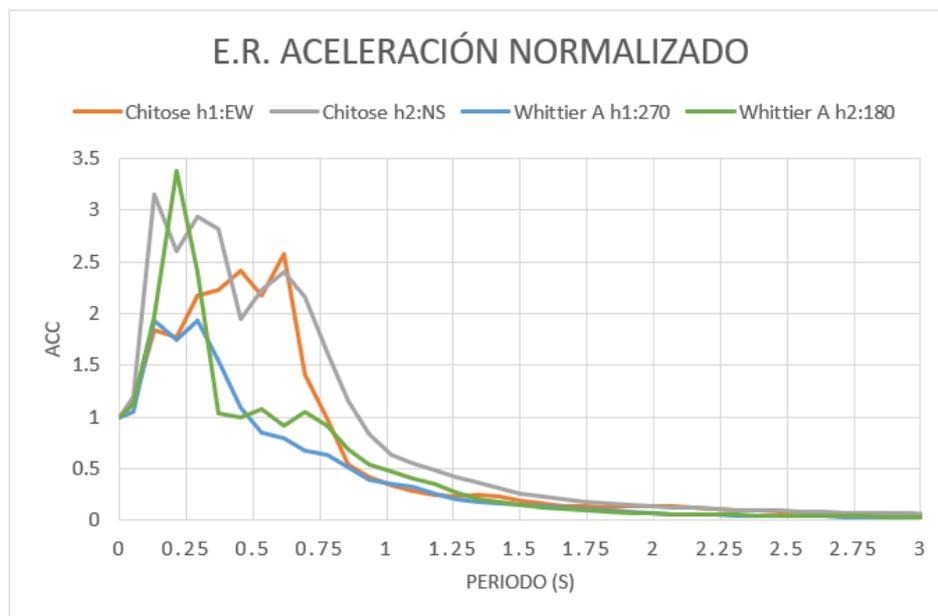
**Figura 9. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Normal, Magnitud 6-8 y Vs30 200-400**



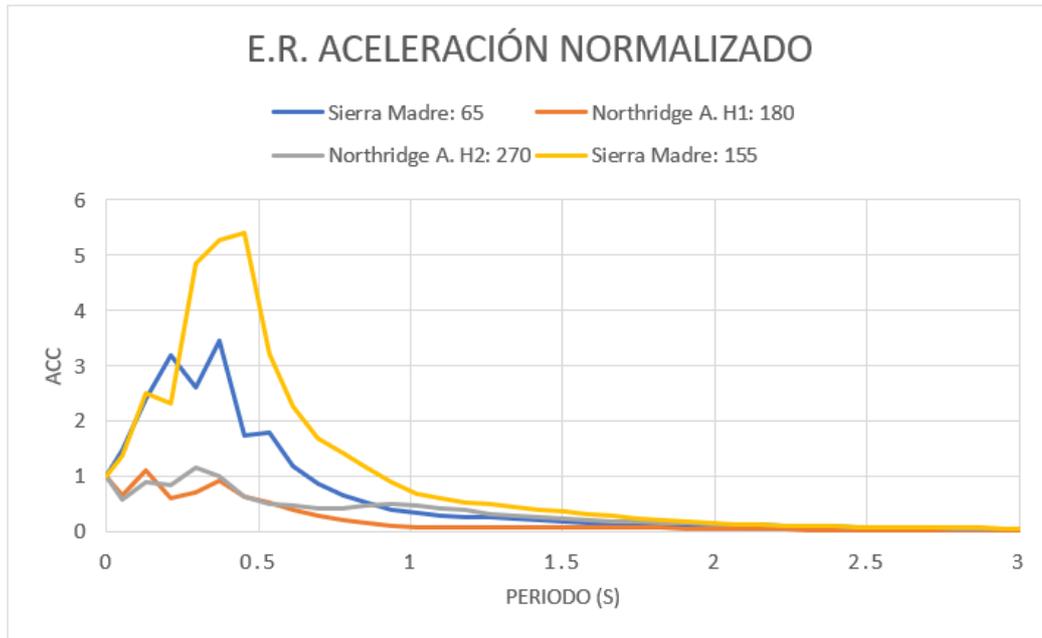
**Figura 10. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Normal, Magnitud 6-8 y Vs30 400-600**



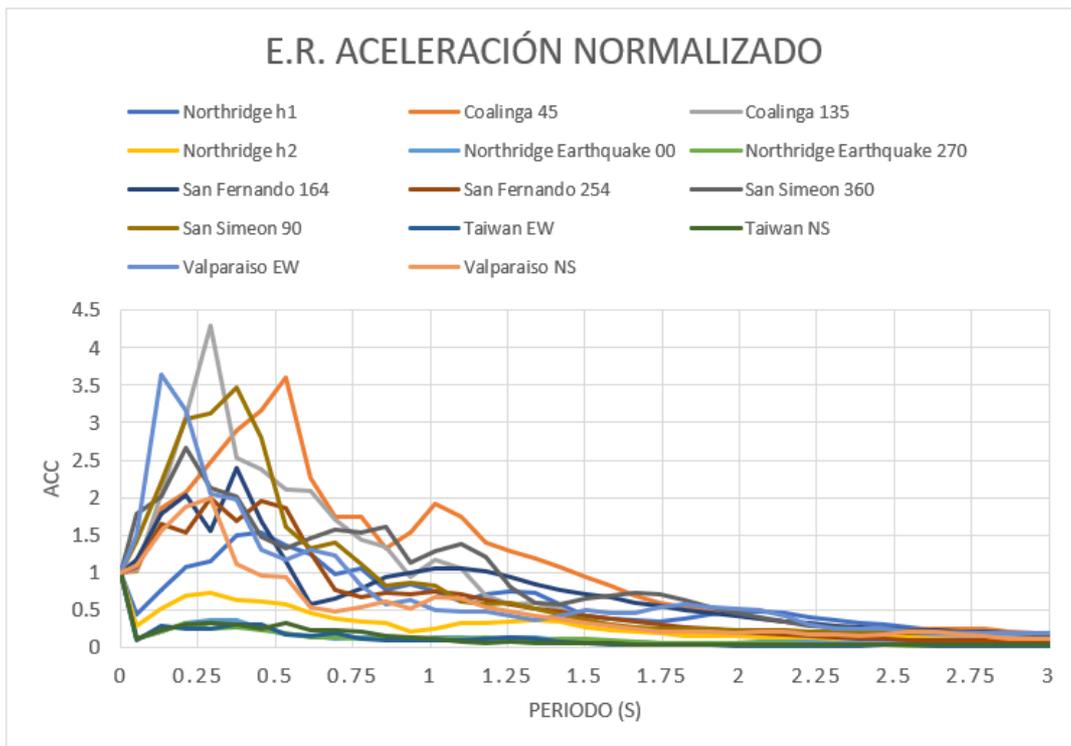
**Figura 11. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Inversa, Magnitud 4-6 y Vs30 200-400**



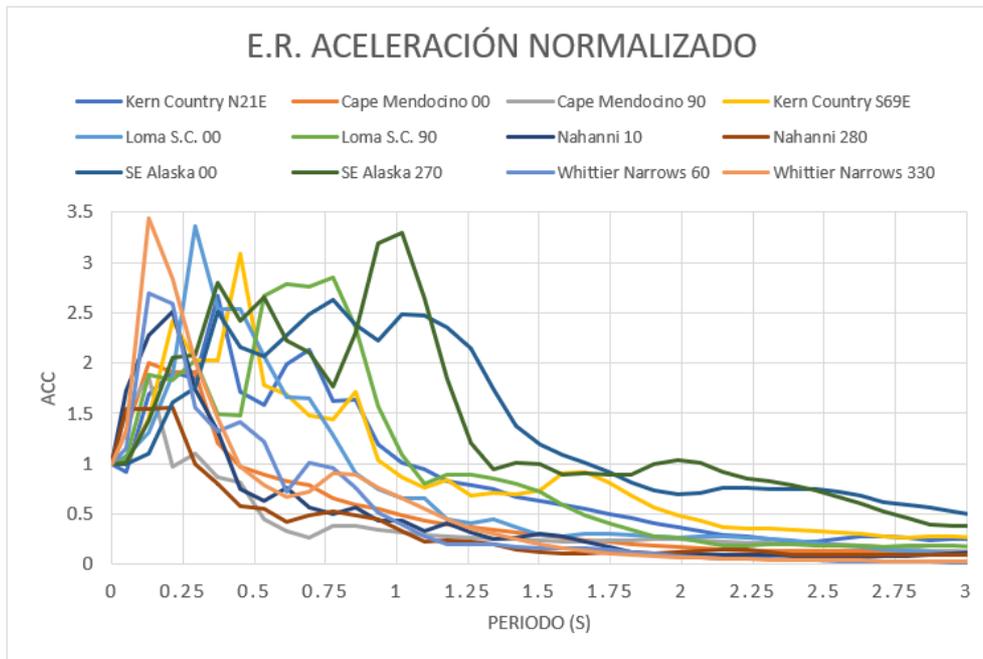
**Figura 12. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Inversa, Magnitud 4-6 y Vs30 400-600**



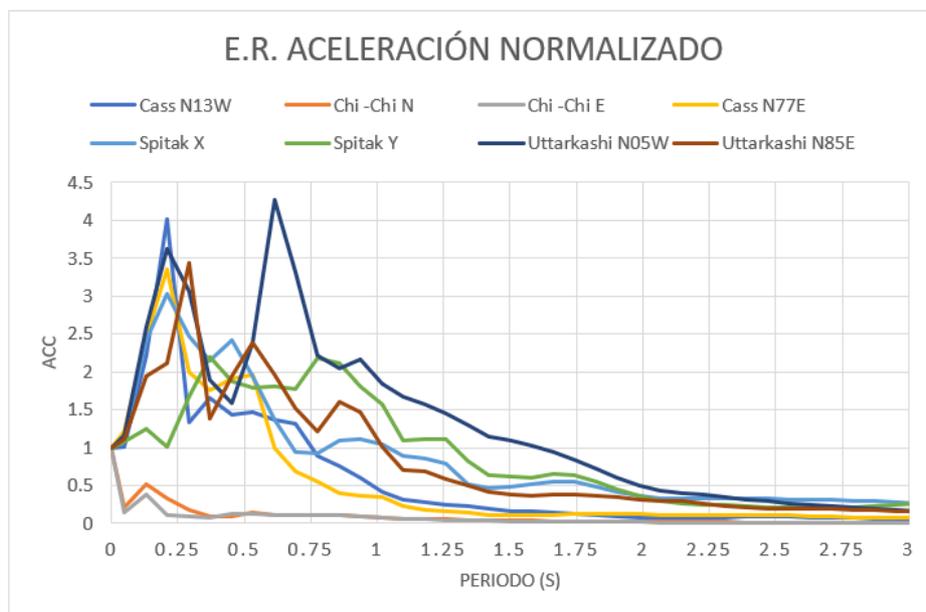
**Figura 13. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Inversa, Magnitud 4-6 y  $V_{s30} > 600$**



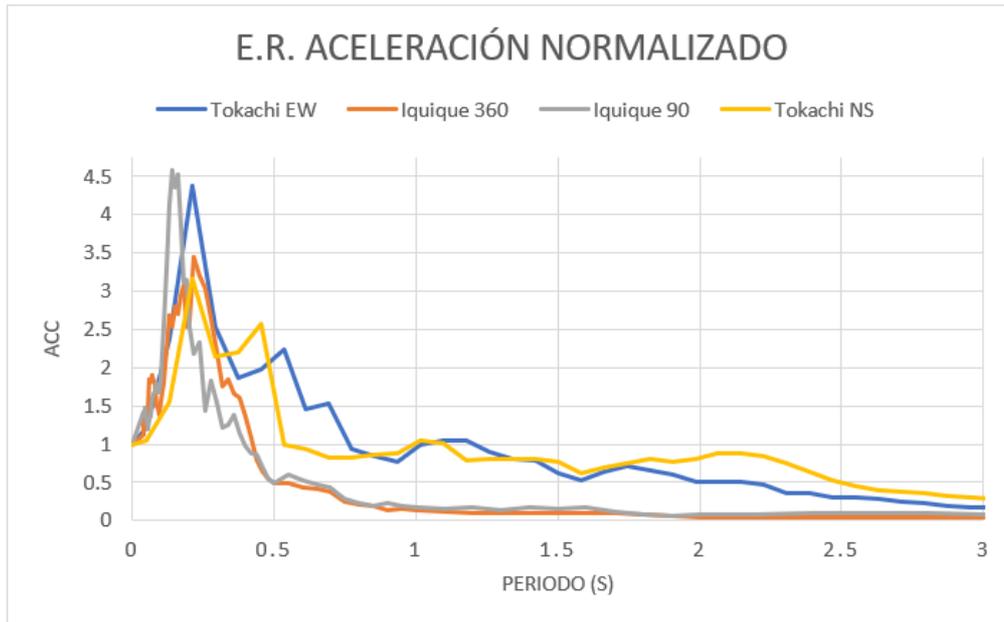
**Figura 14. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Inversa, Magnitud 6-8 y  $V_{s30} 200-400$**



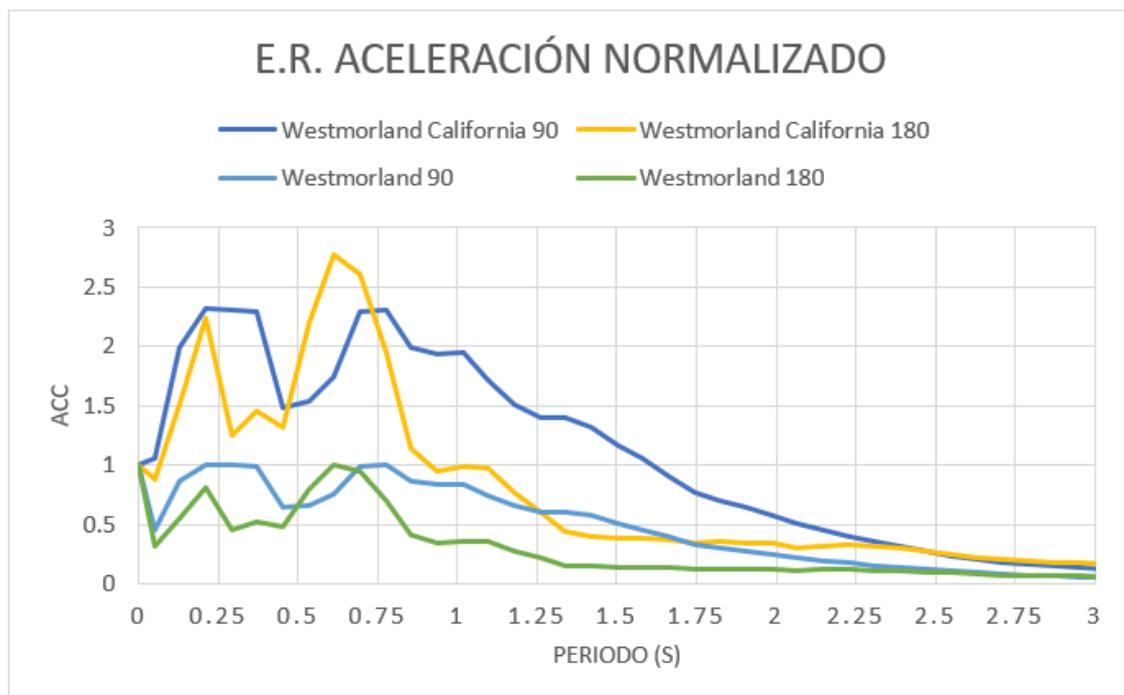
**Figura 15. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Inversa, Magnitud 6-8 y Vs30 400-600**



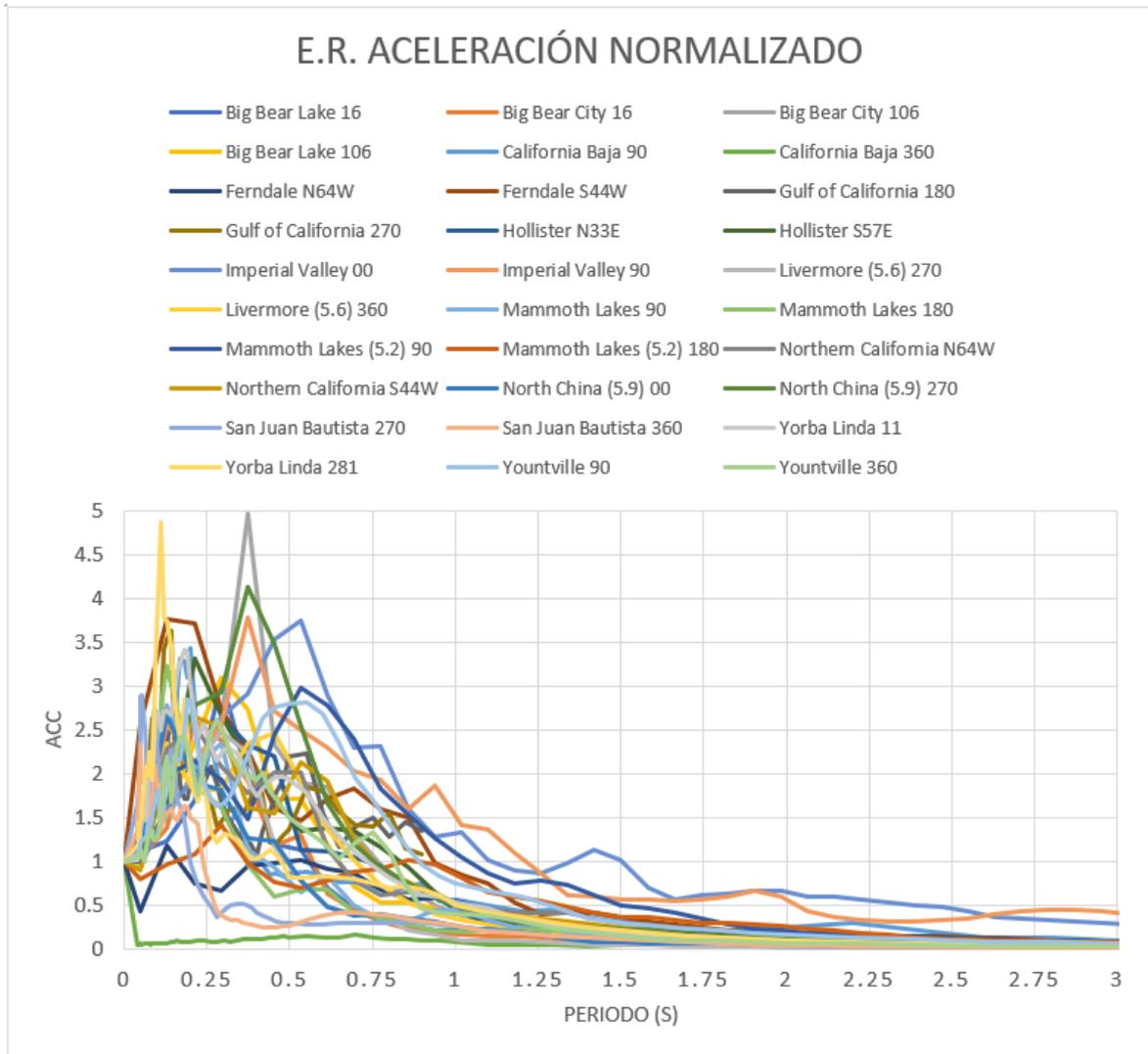
**Figura 16. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Inversa, Magnitud 6-8 y Vs30 >600**



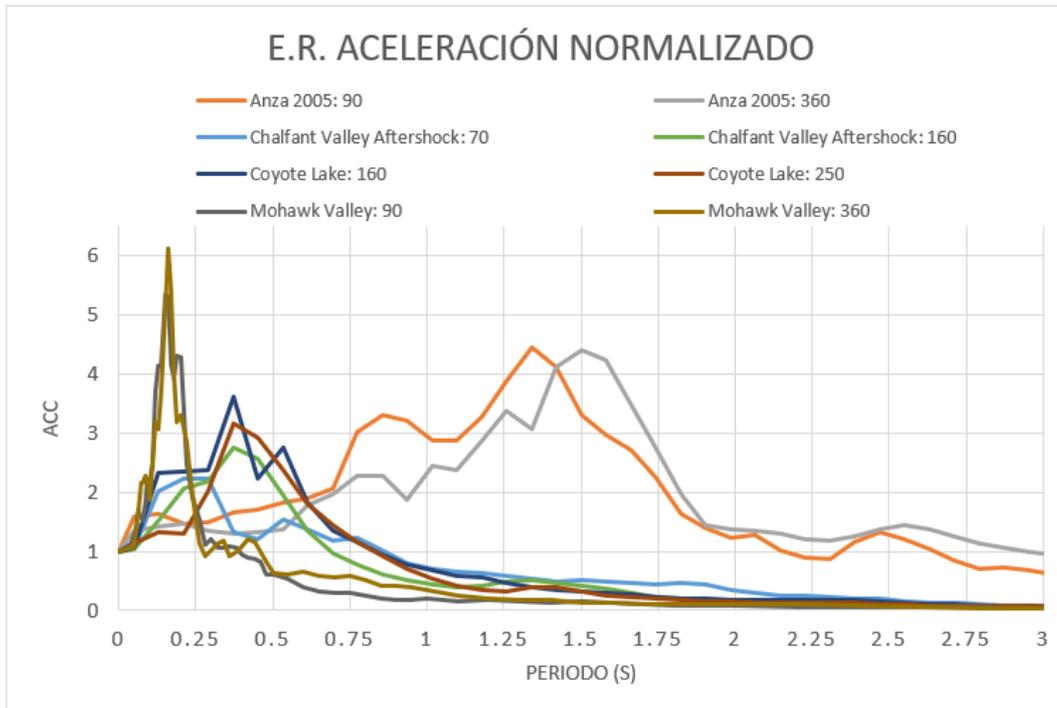
**Figura 17. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Inversa, Magnitud >8 y Vs30 200-400**



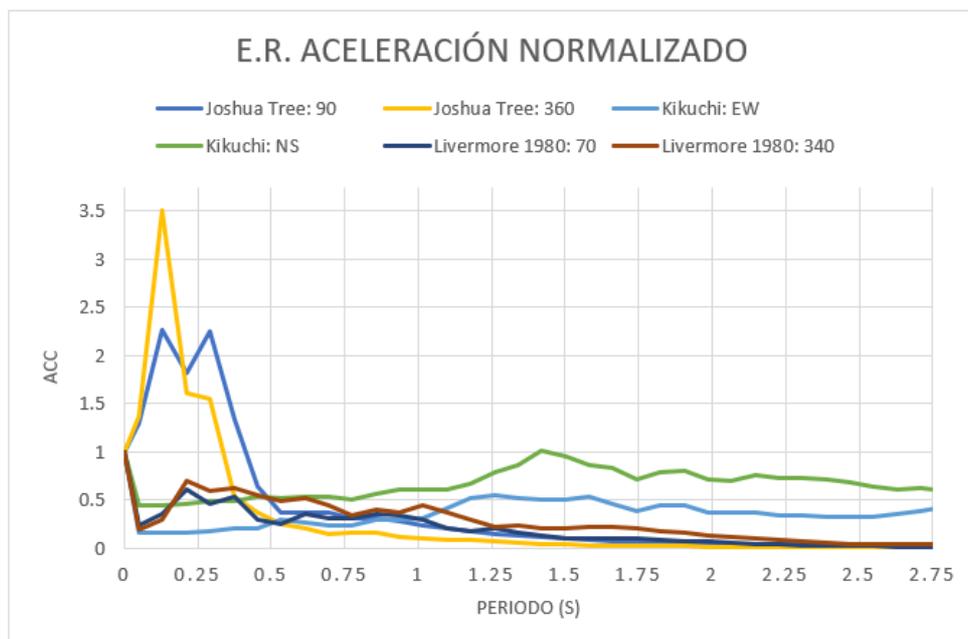
**Figura 18. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 4-6 y Vs30 0-200**



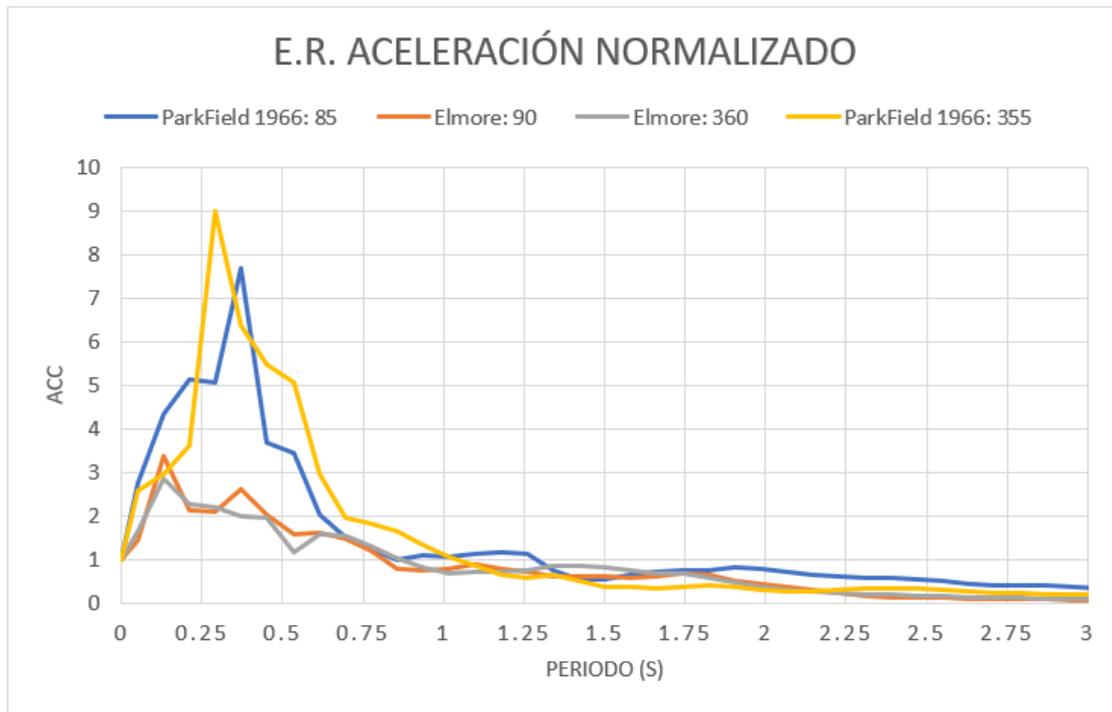
**Figura 19. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 4-6 y Vs30 200-400**



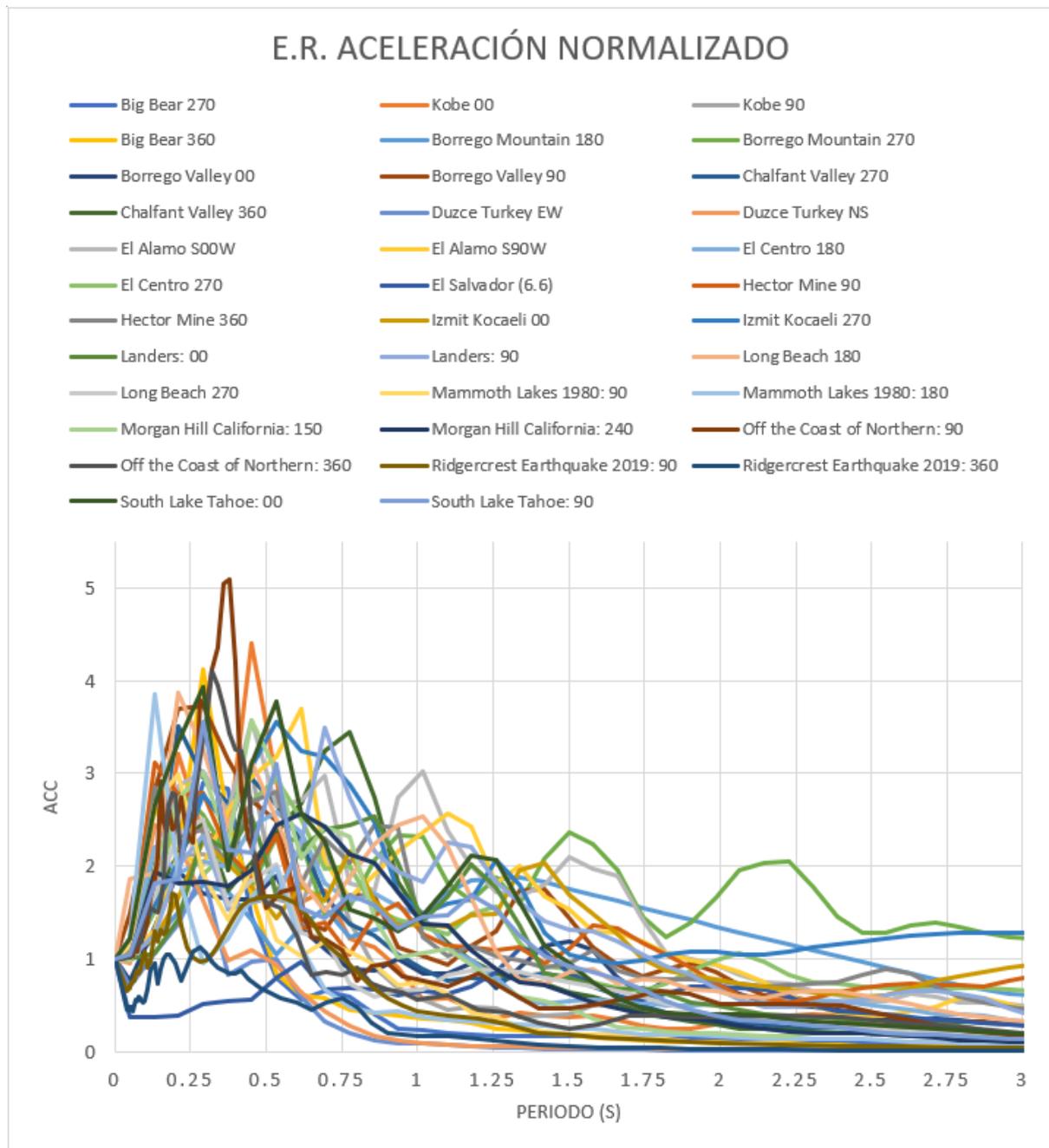
**Figura 20. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 4-6 y Vs30 400-600**



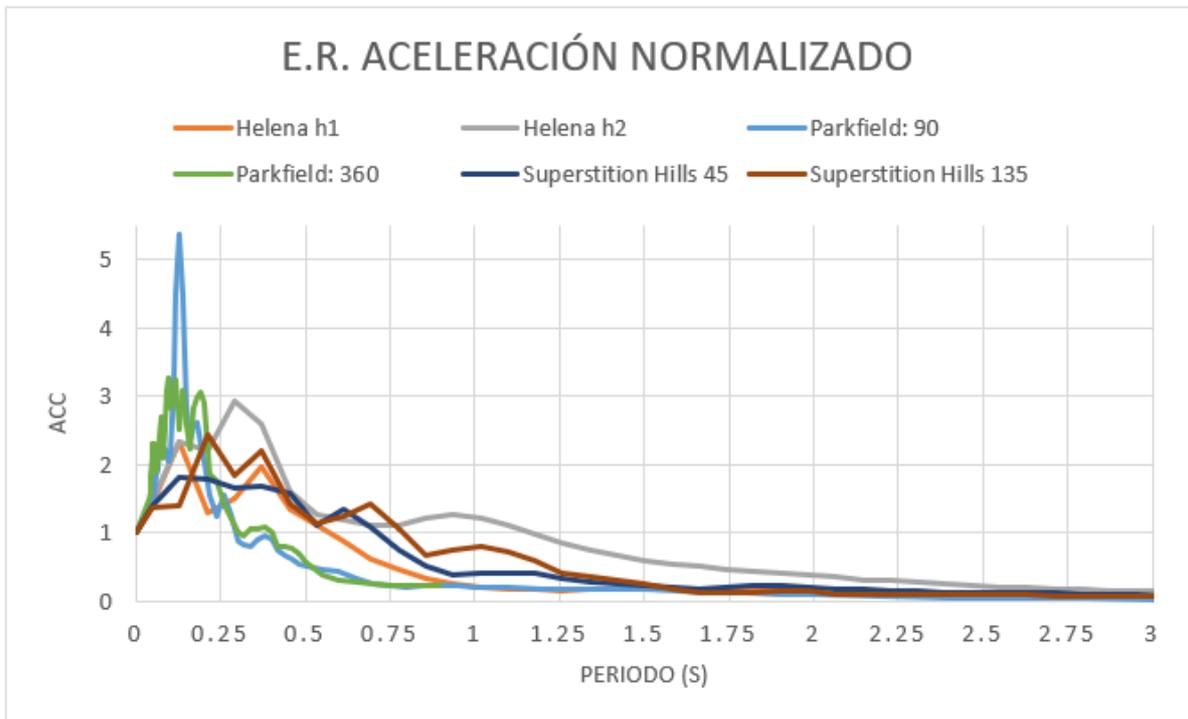
**Figura 21. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 4-6 y Vs30 >600**



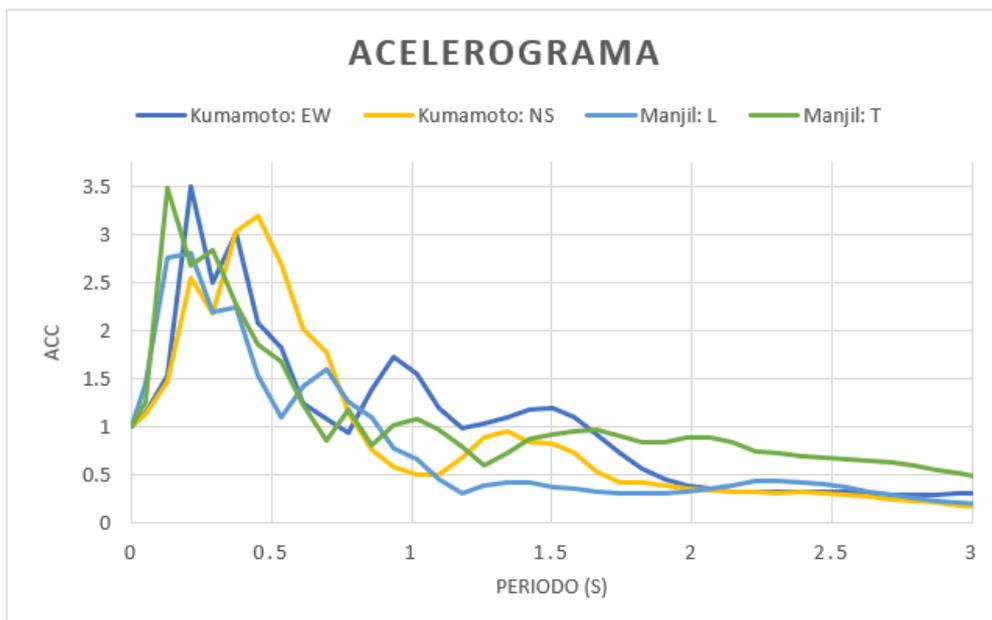
**Figura 22. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 6-8 y Vs30 0-200**



**Figura 23. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 6-8 y Vs30 200-400**



**Figura 24. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 6-8 y Vs30 400-600**



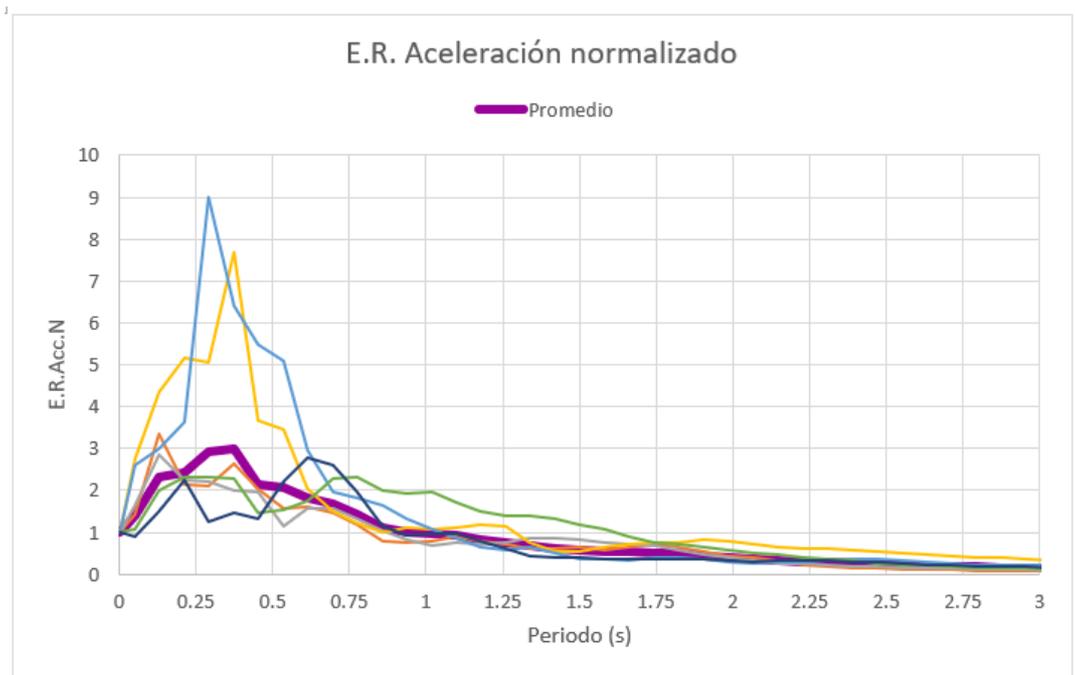
**Figura 25. Espectro respuesta de aceleración normalizado: Falla Strike Slip, Magnitud 6-8 y Vs30 >600**

Se descartó el sismo Edgcumbe, perteneciente a falla normal, magnitud 6-8 y Vs30 mayor a 600 ya que la estación no se encontraba en el suelo, se encontraba sobre una estructura.

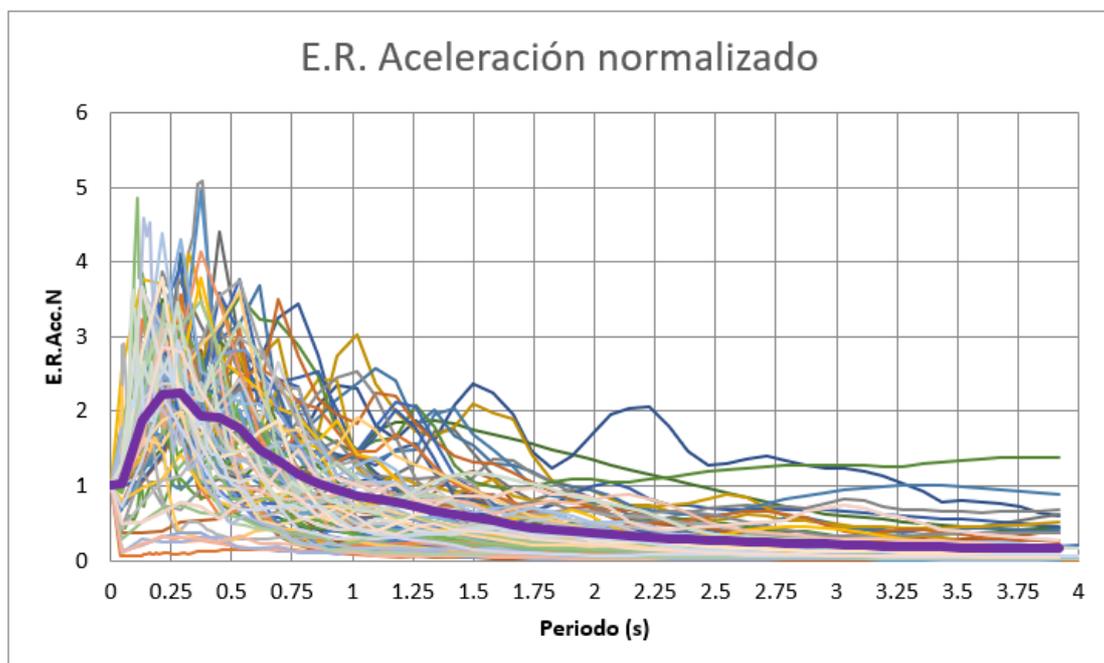
Se descartaron datos debido a una mala medición de los datos y no se logró procesar en Degtra, los sismos eliminados son:

1. Coalinga Aftershock, Falla Inversa, magnitud 4-6, Vs30 200-400
2. Point Mugu, Falla Inversa, magnitud 4-6, Vs30 200-400
3. Santa Bárbara, Falla Inversa, magnitud 4-6, Vs30 400-600
4. North Palm Springs, Falla Inversa, magnitud 6-8, Vs30 400-600
5. Imperial Valley Aftershock, Falla Strike Slip, magnitud mayor a 8, Vs30 0-200
6. Redlands California, Falla Strike Slip, magnitud 4-6, Vs30 200-400
7. Anza 1982, Falla Strike Slip, magnitud 4-6, Vs30 400-600
8. Anza 1980, Falla Strike Slip, magnitud 4-6, Vs30 >600
9. Lyttle Creek, Falla Strike Slip, magnitud 4-6, Vs30 >600
10. Upland, Falla Strike Slip, magnitud 4-6, Vs30 >600
11. Calexico, Falla Strike Slip, magnitud 6-8, Vs30 200-400
12. Imperial Valley 1979, Falla Strike Slip, magnitud 6-8, Vs30 200-400
13. Victoria, Falla Strike Slip, magnitud 6-8, Vs30 200-400
14. Nenana Mountain, Falla Strike Slip, magnitud 6-8, Vs30 400-600
15. Denali, Falla Strike Slip, magnitud 6-8, Vs30 >600

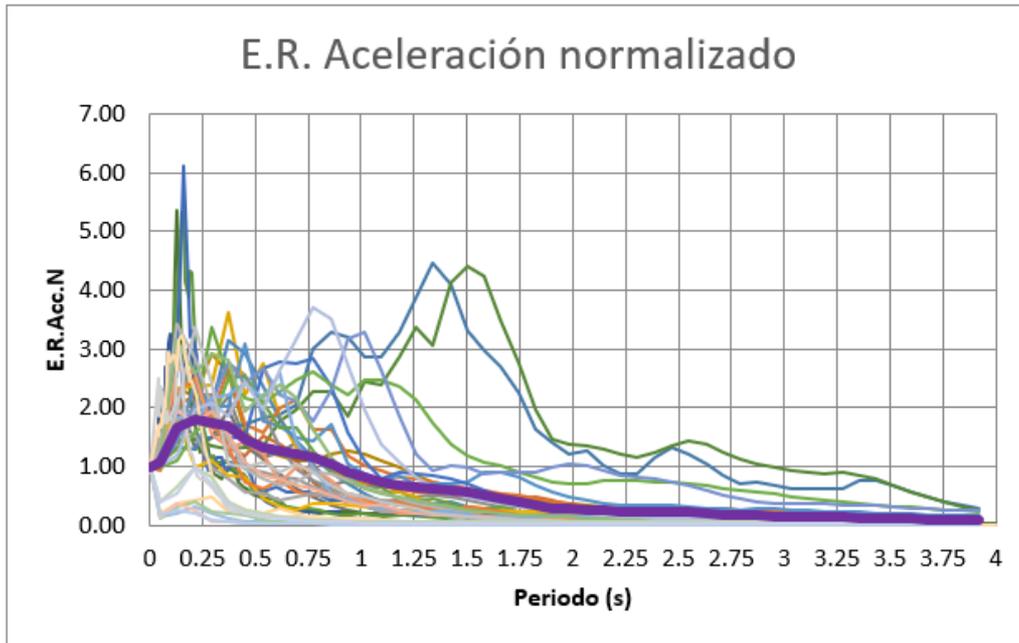
Para los resultados de la investigación se clasificó en cuatro gráficas para su análisis de acuerdo al tipo de suelo, para cada gráfica se realizó el promedio de todos los tipos de suelo correspondientes a la categoría. Las gráficas obtenidas se muestran a continuación.



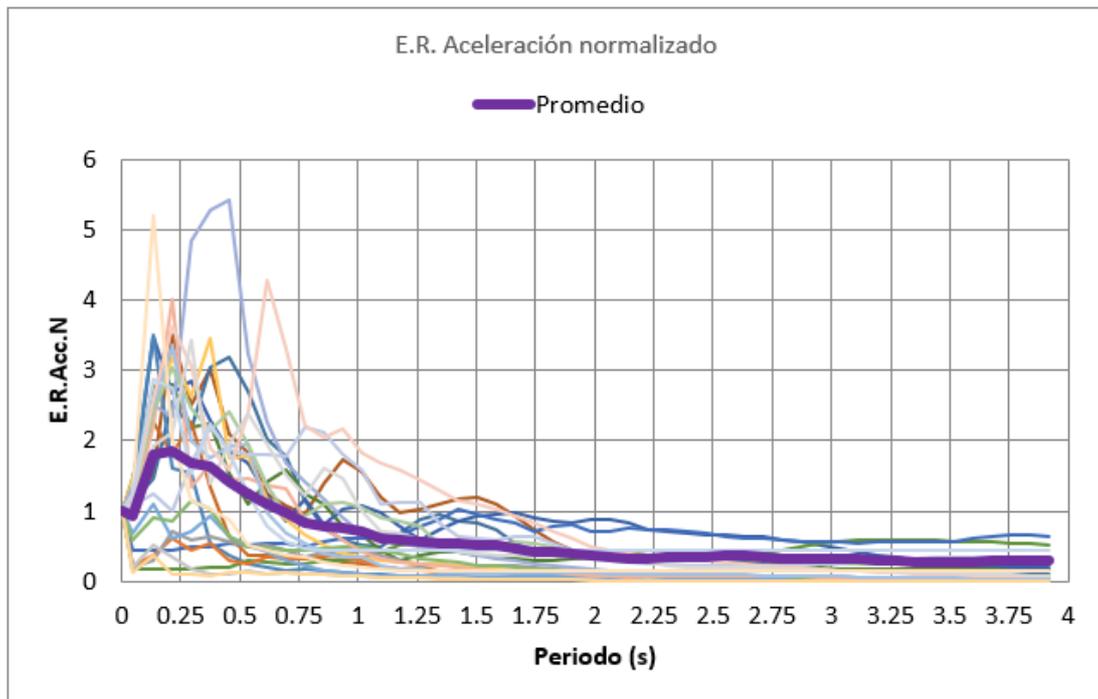
**Figura 26.** Espectro respuesta de aceleración normalizado de suelo con  $V_{s30}$  0-200 y su curva promedio.



**Figura 27.** Espectro respuesta de aceleración normalizado de suelo con  $V_{s30}$  200-400 y su curva promedio.

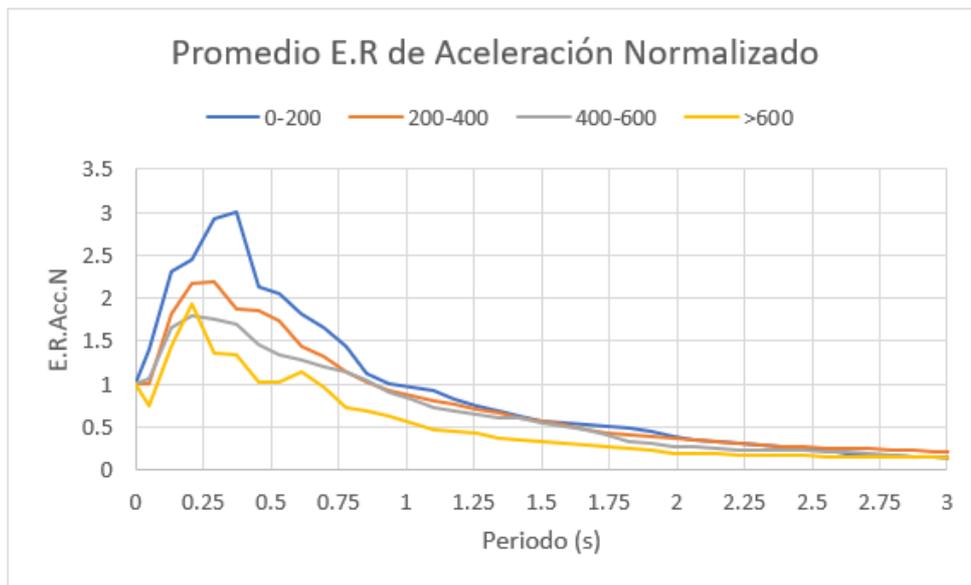


**Figura 28.** Espectro respuesta de aceleración normalizado de suelo con  $V_{s30}$  400-600 y su curva promedio.



**Figura 29.** Espectro respuesta de aceleración normalizado de suelo con  $V_{s30} > 600$  y su curva promedio.

En la gráfica a continuación se colocaron los promedios de los cuatro tipos de suelo correspondientes para su análisis.



**Figura 30. Espectro de respuesta de aceleración promedio de Vs30 0-200, 200-400, 400-600 y mayor a 600**

### Análisis

La Figura 26 muestra el espectro de respuesta normalizado para un suelo con una velocidad de propagación de ondas sísmicas (Vs30) en el rango de 0-200 m/s. La curva promedio representada en dicha figura alcanza su máxima aceleración normalizada de 2.99 en un periodo de 0.37 segundos. Para obtener la curva promedio, se analizaron seis conjuntos de datos correspondientes a la falla de desgarre, dado que todos los datos pertenecen al mismo tipo de falla, se observa cierto sesgo en la muestra lo que podría limitar la generalización de los resultados y, por ende, no proporcionar una estimación precisa del comportamiento del suelo en el rango de Vs30 de 0-200. Este sesgo debe considerarse al interpretar los hallazgos y puede influir en la aplicabilidad de los resultados a condiciones más amplias del suelo.

La Figura 27 muestra el espectro de respuesta normalizado para un suelo  $V_{s30}$  en el rango de 200-400 m/s. La curva promedio representada en dicha figura alcanza su máxima aceleración normalizada de 2.25 en un periodo de 0.29 segundos. En esta serie de datos se despreciaron 6 datos debido a problemas de lectura en Degtra, a pesar de descartar 6 sismos se encontraban datos muy variados de los tres tipos de fallas en distintas magnitudes por lo cual los datos presentaban más certeza de un comportamiento de suelo  $V_{s30}$  200-400. A pesar de esto, existen datos que presentan ruido en las gráficas debido a la contaminación proveniente de los acelerogramas de Strong-Motion.

La Figura 28 muestra el espectro de respuesta normalizado para un suelo  $V_{s30}$  en el rango de 400-600 m/s. La curva promedio representada en dicha figura alcanza su máxima aceleración normalizada de 1.79 en un periodo de 0.21 segundos. Durante el análisis de esta serie de datos, se excluyeron cuatro sismos debido a problemas de lectura en Degtra. A pesar de esta exclusión, se observó una variabilidad significativa en los datos restantes, que abarcaban tres tipos distintos de fallas y diferentes magnitudes sísmicas. Esta diversidad en los datos aumenta la confianza en la representación del comportamiento del suelo con  $V_{s30}$  en el rango de 400-600. A pesar de los esfuerzos de filtrado, algunos datos aún exhiben ruido en las gráficas debido a la contaminación originada por los acelerogramas de Strong-Motion. Estos elementos de perturbación deben ser considerados al interpretar los resultados y pueden influir en la precisión de las conclusiones derivadas de la serie de datos analizada.

La Figura 29 muestra el espectro de respuesta normalizado para un suelo con una velocidad de propagación de ondas sísmicas ( $V_{s30}$ ) en el rango mayor a 600 m/s. La curva promedio representada en dicha figura alcanza su máxima aceleración normalizada de 1.86 en un periodo de 0.21 segundos. Durante el análisis de esta serie de datos, se excluyeron cuatro sismos debido a problemas de lectura en Degtra. Dentro de los datos analizados se encuentran los tres tipos

de falla, pero no presenta gran variabilidad en cuanto a la magnitud de los sismos, adicional se observa cierto sesgo en la muestra lo que podría limitar la generalización de los resultados y, por ende, no proporcionar una estimación precisa del comportamiento del suelo en el rango de  $V_{s30}$  de mayor a 600. Este sesgo debe considerarse al interpretar los hallazgos y puede influir en la aplicabilidad de los resultados a condiciones más amplias del suelo. Adicional existe ruido en algunos sismos ya que presentan gráficas que no son características de los espectros de respuesta.

Tras analizar los resultados promedio de cada curva por cada tipo de suelo se puede evidenciar que la curva con mayor periodo de vibración es correspondiente al tipo de suelo  $V_{s30}$  0-200, seguida de la curva correspondiente a  $V_{s30}$  200-400 y finalmente las curvas de  $V_{s30}$  400-600 y  $V_{s30}$  mayor a 600 alcanzan su punto máximo en el mismo periodo. Por otro lado, el suelo  $V_{s30}$  0-200 presenta un pico mayor en su espectro respuesta de aceleración seguido de  $V_{s30}$  200-400. En el caso de los suelos con  $V_{s30}$  mayor a 600 presentan mayores valores a comparación con  $V_{s30}$  400-600, por lo cual surge una inconsistencia notable en los suelos con  $V_{s30}$  mayor a 600, ya que presentan valores más elevados en comparación con  $V_{s30}$  400-600, contradiciendo la teoría establecida. Una de las posibles causas de esta anomalía es el ruido presente en las gráficas, lo que sugiere la necesidad de una evaluación más detallada para comprender la fuente de estas discrepancias.

En consecuencia, no es posible llegar a una conclusión que respalde la hipótesis formulada en esta investigación. Se observa la necesidad de incrementar el número de registros y analizarlos por bordes de magnitud y de tipos de falla. Un promedio completo como se realizó en este trabajo no permite sostener resultados adecuados. No obstante, la base de datos ya está construida, lo que permite el desarrollo de este tema en futuros trabajos.

## CONCLUSIONES

En resumen, la presente investigación se enfocó en analizar los espectros de respuesta normalizados para distintos tipos de suelos, categorizados según sus velocidades de propagación de ondas sísmicas ( $V_{s30}$ ). Los resultados proporcionaron patrones no esperados en cuanto a las curvas promedio y sus características asociadas. Definitivamente se debe realizar un análisis discretizando rangos de magnitudes y tipos de fallas.

En el rango de  $V_{s30}$  de 0-200 m/s, se observó que la curva promedio exhibe el periodo de vibración más extenso, alcanzando su máxima aceleración normalizada en 0.37 segundos. Sin embargo, podría existir una limitación de los resultados debido a una reducida muestra. Para  $V_{s30}$  en el rango de 200-400 m/s, se encontró una mayor certeza en el comportamiento del suelo. No obstante, la presencia de ruido en las gráficas debido a la contaminación produce errores en el espectro de respuesta. En el caso de  $V_{s30}$  entre 400-600 m/s, persiste el desafío del ruido en las gráficas a pesar de tener una amplia muestra de sismos. Para  $V_{s30}$  mayor a 600 m/s, se observa un comportamiento menos claro. Aunque se excluyeron algunos datos problemáticos, la falta de variabilidad en las magnitudes de los sismos y cierto sesgo en la muestra pueden limitar la aplicabilidad de los resultados.

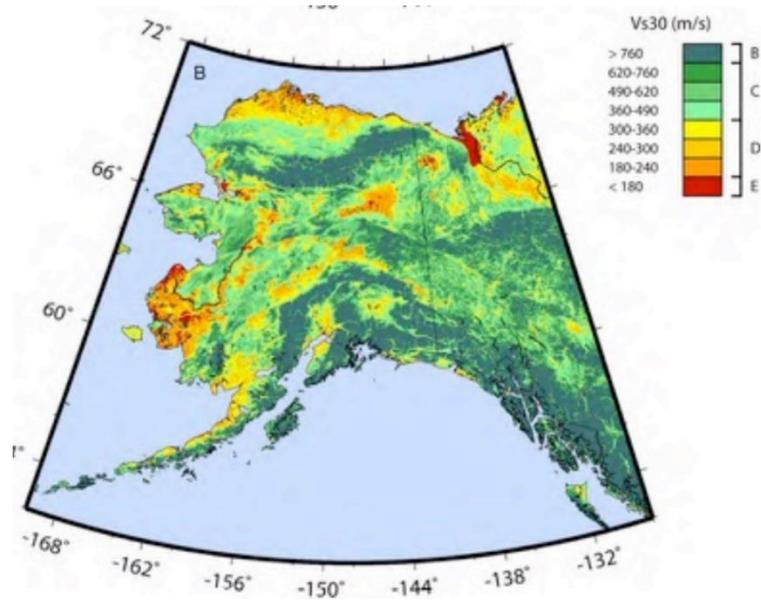
En el análisis comparativo de los resultados promedio de cada tipo de suelo, se evidenció una inconsistencia notable en los suelos con  $V_{s30}$  mayor a 600, donde presentan valores más elevados en su espectro de respuesta de aceleración normalizado en comparación con  $V_{s30}$  400-600, contradiciendo la teoría establecida. El ruido presente en las gráficas podría ser una de las posibles causas de esta anomalía, subrayando la necesidad de una evaluación más detallada para comprender la fuente de estas discrepancias. Por otro lado, la gráfica no presenta una diferencia notoria en los periodos de vibración para las cuatro curvas promedio, siendo poco significativo y casi inexistente esta diferencia entre las curvas.

Dada la complejidad y la presencia de factores que afectan la interpretación de los resultados, no es posible llegar a una conclusión que respalde la hipótesis formulada en esta investigación. Estos hallazgos sugieren áreas de mejora en cuanto a la minuciosa recopilación de los datos y destacan la importancia de considerar cuidadosamente la calidad y la diversidad de los datos al realizar estudios similares en el futuro.

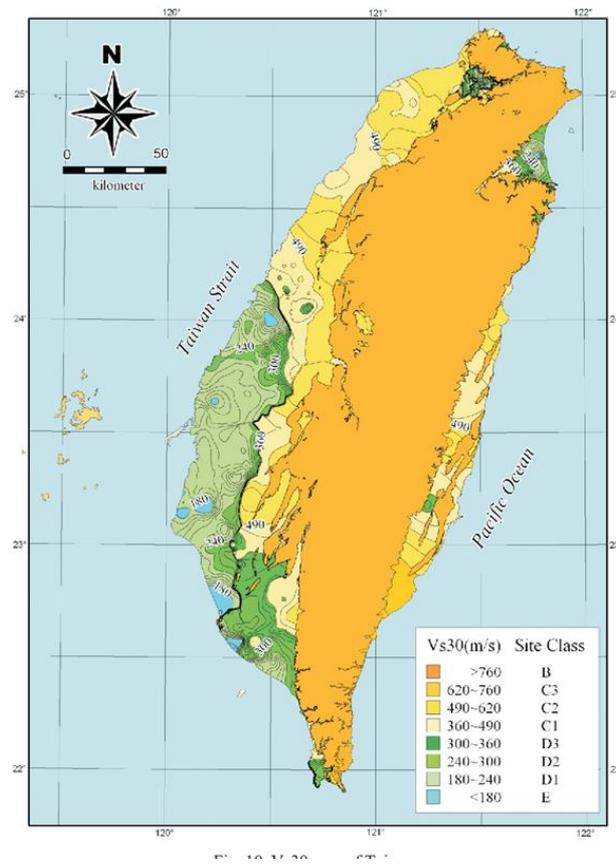
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Tavera, H. (2008). *La sismicidad en el mundo*. Obtenido el 20 de noviembre 2023 de [https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/896/sismicidad\\_mundo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/896/sismicidad_mundo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Celigüeta, J. (2022). *Análisis sísmico de estructuras*. Obtenido el 4 de diciembre de 2023 de <https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/63781/1/Analisis%20%20sismico.pdf>
- Miragall, C. & Samartin, A. *Respuesta sísmica de suelos estratificados en régimen no lineal*. Obtenido el 4 de diciembre de 2023 de [https://oa.upm.es/32546/1/SAMARTIN\\_067.pdf](https://oa.upm.es/32546/1/SAMARTIN_067.pdf)
- Rochel, R. (20102). *Análisis y diseño sísmico de edificios (2nda edición)*. Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Ordaz, M., Castellanes, F. & Zapata, A. *Manual del Degtra*. Instituto de Ingeniería UNAM.
- Instituto de Ingeniería UNAM. 2005. Degtra (Versión 5.4.0).

**ANEXO A: VS30 DE ALASKA**



**ANEXO B: VS30 DE TAIWAN**



### ANEXO C: VS30 EL SALVADOR



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Generación de mapa de velocidades promedio a 30 metros de profundidad (Vs30) de El Salvador\*

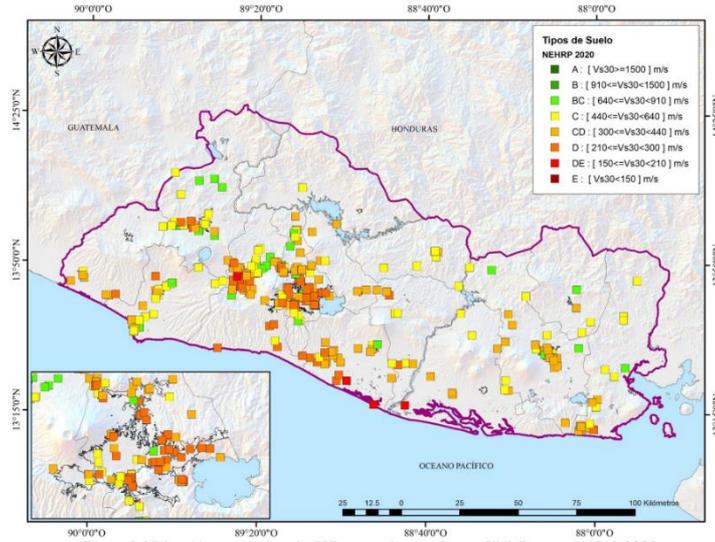


Figura 2. Ubicación geográfica de 353 pozos de plataforma SIHI. Fuente: MARN, 2020

### ANEXO D: VS30 CHINA

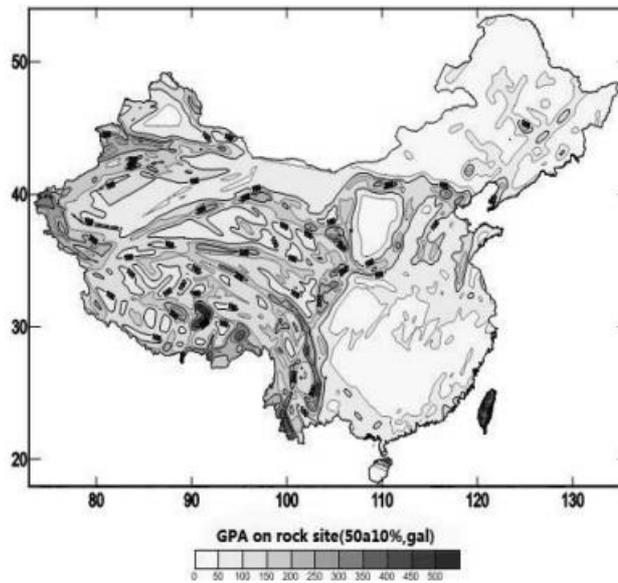
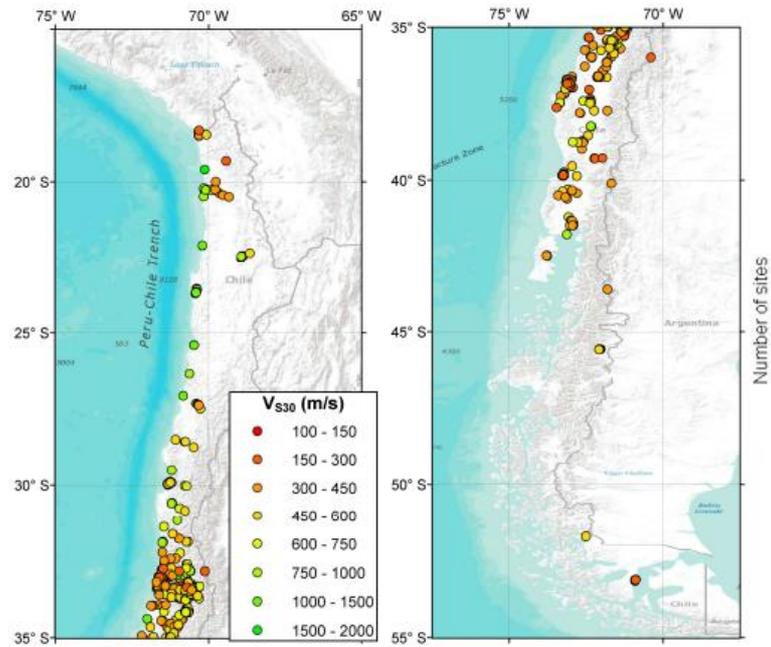
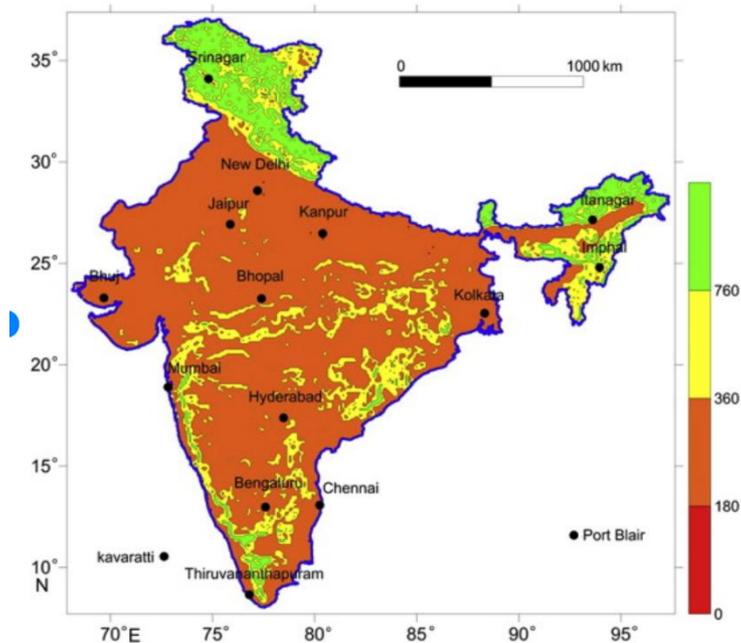


Figure 1. Rock-site GPA map for China(50a10%)

### ANEXO E: VS30 CHILE



### ANEXO F: VS30 INDIA



VS30 (km/s) contour map derived from the slope values.

## ANEXO G: VS30 TURQUÍA

