

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Estudio de la forma espectral de registros sísmicos obtenidos en  
diferentes tipos de suelo.**

**Mikaela Elena Bardellini Mocha**

**Ingeniería Civil**

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

Quito, 21 de Julio de 2023

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

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

**Estudio de la forma espectral de registros sísmicos obtenidos en diferentes  
tipos de suelo**

**Mikaela Elena Bardellini Mocha**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Fabrizio Yépez, PhD**

Quito, 21 de Julio 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: Mikaela Elena Bardellini Mocha

Código: 205801

Cédula de identidad: 1723923429

Lugar y fecha: Quito, 21 de Julio 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## **UNPUBLISHED DOCUMENT**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

Se realiza una comparación entre los espectros de respuesta obtenidos de registros de todo el mundo y el espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones dado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Los registros han sido clasificados en base a diferentes criterios, como el tipo de falla entre ellos está strike-slip, normal/oblique y reverse/oblique, el tipo de suelo "B", "C", "D", "E" y su magnitud entre 4 a 6 y de 6 a 8. Lo que se busca es corroborar que el espectro de diseño dado por la NEC abarca la mayoría de los sismos que ocurren actualmente y para cuales se podrían analizar alternativas.

**Palabras clave:** acelerograma, PEER, espectro de respuesta, sismos, NEC, comparación

## ABSTRACT

A comparison is made between the response spectra obtained from records worldwide and the elastic horizontal design spectrum provided by the Ecuadorian Building Code (NEC). The records have been classified based on different criteria, such as the type of fault, including strike-slip, normal/oblique, and reverse/oblique, the soil type "B," "C," "D," "E," and their magnitude ranging from 4 to 6 and from 6 to 8. The aim is to corroborate that the design spectrum provided by the NEC encompasses the majority of currently occurring earthquakes and for which other measures should be taken.

**Key words:** Accelerogram, PEER, response spectrum, earthquake, NEC, comparison

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Introducción .....</b>	<b>8</b>
<b>Desarrollo del Tema.....</b>	<b>9</b>
<b>Acelerograma .....</b>	<b>9</b>
<b>Espectro de respuesta.....</b>	<b>9</b>
<b>Tipos de suelo .....</b>	<b>9</b>
<b>Peer Ground Motion Database .....</b>	<b>10</b>
<b>Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015).....</b>	<b>11</b>
Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.....	11
<b>Proceso .....</b>	<b>12</b>
<b>Resultados.....</b>	<b>14</b>
Falla: Strike-Slip, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: E.....	14
Falla: Stike-Slip, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: D .....	15
Falla: Stike-Slip, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: C.....	16
Falla: Stike-Slip, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: B.....	16
Falla: Stike-Slip, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: E.....	17
Falla: Stike-Slip, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: D .....	18
Falla: Stike-Slip, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: C.....	18
Falla: Stike-Slip, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: B.....	19
Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: E .....	20
Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: D .....	20
Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: C .....	21
Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: B .....	22
Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: E .....	22
Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: D .....	23
Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: C .....	24
Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: B .....	24
Falla: Reverse/Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: E .....	25
Falla: Reverse /Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: D.....	26
Falla: Reverse /Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: C .....	26
Falla: Reverse /Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: B .....	27
Falla: Reverse /Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: E .....	28
Falla: Reverse /Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: D.....	28
Falla: Reverse /Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: C .....	29
Falla: Reverse /Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: B .....	30
<b>Conclusiones .....</b>	<b>31</b>
<b>Reconocimiento .....</b>	<b>32</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 .Clasificación base de datos PEER Ground Motion Database. ....	11
Figura 2. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones .....	12
Figura 3. Recopilación de los registros transformados a sus espectros de respuesta. ....	13
Figura 4. Creación del espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones. ....	13
Figura 5.Comparación entre los espectros de los registros y el espectro de diseño. ....	14
Figura 6. Falla: Strike-Slip, magnitud:4-6, tipo de suelo: E .....	15
Figura 7. Falla: Strike-Slip, magnitud:4-6, tipo de suelo: D.....	15
Figura 8. Falla: Strike-Slip, magnitud:4-6, tipo de suelo: C.....	16
Figura 9. Falla: Strike-Slip, magnitud:4-6, tipo de suelo: B.....	17
Figura 10. Falla: Strike-Slip, magnitud:6-8, tipo de suelo: E .....	17
Figura 11. Falla: Strike-Slip, magnitud:6-8, tipo de suelo:D.....	18
Figura 12. Falla: Strike-Slip, magnitud: 6-8, tipo de suelo: C.....	19
Figura 13. Falla: Strike-Slip, magnitud:6-8, tipo de suelo: B.....	19
Figura 14. Falla: Normal/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: E .....	20
Figura 15. Falla: Normal/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: D.....	21
Figura 16. Falla: Normal/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: C .....	21
Figura 17. Falla: Normal/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: B .....	22
Figura 18. Falla: Normal/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: E .....	23
Figura 19. Falla: Normal/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: D.....	23
Figura 20. Falla: Normal/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: C .....	24
Figura 21. Falla: Normal/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: B .....	25
Figura 22. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: E.....	25
Figura 23. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: D .....	26
Figura 24. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: C .....	27
Figura 25. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: B .....	27
Figura 26. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: E.....	28
Figura 27. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: D .....	29
Figura 28. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: C .....	29
Figura 29. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: B .....	30

## INTRODUCCIÓN

Técnicamente, el diccionario define la palabra sismo como una sacudida en la corteza terrestre. En Ecuador, los sismos pueden dejar una pérdida económica importante y muchas muertes (Falconí, García, & Villamarín, 2010), es por eso, que se considera a los sismos las más grandes catástrofes naturales por su efecto principal y sus colaterales.

Hay diferentes causas que pueden provocar un terremoto como la actividad volcánica, las explosiones, colapsos en cavidades subterráneas, y, la que es importante en este tema, la tectónica; de esta última causa se producen los más fuertes y frecuentes terremotos, y se asocian con las deformaciones de capas rocosas a lo largo de una superficie de falla (Rosenblueth, 1978).

Los terremotos se clasifican en leves o severos según su magnitud, que se define como la medida de la liberación de energía (Peláez, 2011). La escala más utilizada en la actualidad es la magnitud momento, como se sabe, la escala de Richter, que es la más conocida, proporciona valores incorrectos para los sismos de gran magnitud, y por eso ya no se utiliza dicha escala (Peláez, 2011). Los altos valores de magnitud en un terremoto están relacionados con su potencial devastador, incluyendo la cantidad de muertes y la destrucción de viviendas, entre otros factores. La magnitud depende de la superficie de ruptura y existen diferentes tipos de fallas o rupturas.

El primer tipo de falla se denomina falla normal (normal fault) y ocurre cuando uno de los bloques se desplaza hacia abajo respecto a su bloque vecino (extensión); la falla inversa (reverse fault) se da cuando uno de los bloques asciende en relación con el otro bloque (compresión), por último, tenemos la falla lateral o de desgarre (Strike-slip) cuando un bloque se desliza lateralmente respecto al otro, es decir se da un movimiento de forma paralela a la superficie (Richter, 1958).



## DESARROLLO DEL TEMA

### *Acelerograma*

Un acelerograma es un registro de la aceleración que se obtiene por un movimiento de tierra en función del tiempo (Pinto & Fuentes, 2021). No importa el tipo de falla, la magnitud o el tipo de suelo, un sismo siempre va a generar lo que se denomina ondas sísmicas. Las ondas sísmicas son 1 de los 5 fenómenos que sucede cuando se disipa la energía de un terremoto. La primera es cuando los pedazos de corteza comienzan a moverse, la segunda es fracturación y trituración de estratos rocosos, la tercera es deformación de capas superficiales de la tierra, la cuarta es la irradiación de calor por fuerzas friccionantes y por último las ondas sísmicas. Estas ondas sísmicas se componen de 3 grupos principales: La onda P, La onda S y las ondas superficiales (Rosenblueth, 1978).

### *Espectro de respuesta*

El espectro de respuesta representa valores máximos absolutos del comportamiento de una estructura de 1 grado de libertad cuando entra en vibración (Bonett, 2002). La obtención de estos valores tiene varios métodos complejos. En este trabajo, los valores se han obtenido de una manera más sencilla utilizando un programa llamado SeismoSpect 2023, el cual solo requiere ingresar el registro del sismo del que se quiere su espectro de respuesta e informar el formato del archivo dado que es, en este caso, PEER Ground Motion Database,.

### *Tipos de suelo*

Existen diferentes tipos de suelo alrededor de todo el mundo y para clasificarlos es importante mencionar que la nomenclatura Vs30 hace referencia a la velocidad de propagación de ondas de corte promedio en los primeros 30 metros de profundidad de un

estrato de suelo. De acuerdo con la NEC 2015, la primera clasificación del suelo es un tipo de suelo “E”, que tiene un  $V_{s30}$  hasta de 180 m/s, y hace referencia a un suelo blando; la segunda clasificación es el tipo de suelo “D”, que tiene un  $V_{s30}$  desde 180 m/s hasta 360 m/s y se refiere a los suelos medianamente rígidos; la tercera clasificación es el suelo “C”, tiene un  $V_{s30}$  desde 360 m/s hasta 760 m/s y se componen de suelos muy densos o roca blanca; y por último el suelo “B”, con un  $V_{s30}$  desde 760 m/s hasta 1500 m/s y su perfil de suelo es de roca de rigidez media (MIDUVI, 2015).

### *Peer Ground Motion Database*

El PGMD es la base de datos que se utilizó en este trabajo para la recopilación de acelerogramas. La base de datos de movimiento del suelo que se uso fue la NGA-West2 pues esta no solo incluye registro de los Estados Unidos sino de todo el mundo. Esta página permite seleccionar el tipo de falla, el tipo de suelo, la distancia epicentral, profundidad y la magnitud. Con esto se realizó una propia base de datos separada en familias, la primera familia son los tipos de fallas: Strike-slip, normal/oblique y reverse/oblique, la segunda familia es la magnitud, sismos con magnitud entre 4 y 6, y sismos con magnitud entre 6-8, y por último, la tercera familia es la clasificación de suelos “B”, “C”, “D” y “E” (definidos anteriormente) (Ancheta, et al., 2014). En total se estudiarán 1787 registros de acelerogramas de 590 eventos con 3 componentes.

**New Search**

Load Sample Input Values | Clear Input Values

**Search**

These characteristics are defined in the NGA-West2 Flatfile. You need to re-run Search when any of these parameters are updated.

**Record Characteristics:**

RSN(s) :  RSN1...RSNn

Event Name :

Station Name :

**Search Parameters:**

Fault Type :

Magnitude :

min,max

R<sub>JB</sub>(km) :

min,max

R<sub>rup</sub>(km) :

min,max

V<sub>s30</sub>(m/s) :

min,max

D5-95(sec) :

min,max

Pulse :

**Additional Characteristics:**

Max No. Records :

(<=100)

**Suite**

Spectral Ordinate :

Damping Ratio :

Suite Average :

Figura 1 .Clasificación base de datos PEER Ground Motion Database.

## *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015)*

### *Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones*

La gráfica que presenta la NEC refleja las aceleraciones espectrales potenciales que el Ecuador posee, basándose en un promedio de los sismos que han ocurrido en el territorio. Esta gráfica varía dependiendo de numerosos parámetros, el primero es la zona sísmica; el Ecuador tiene 6 zonas sísmicas catalogadas del I al VI dependiendo del peligro sísmico, siendo I un peligro intermedio y VI, muy alto; en este trabajo se utilizará una zona sísmica de V, es decir, un peligro sísmico alto. El segundo parámetro es  $\eta$ , es la relación de amplificación espectral, este valor varía dependiendo de la región del Ecuador y, por último, los parámetros  $F_a$ ,  $F_d$  y  $F_s$  son los coeficientes de amplificación de suelo que se obtienen dependiendo del tipo del suelo y la zona sísmica (MIDUVI, 2015).

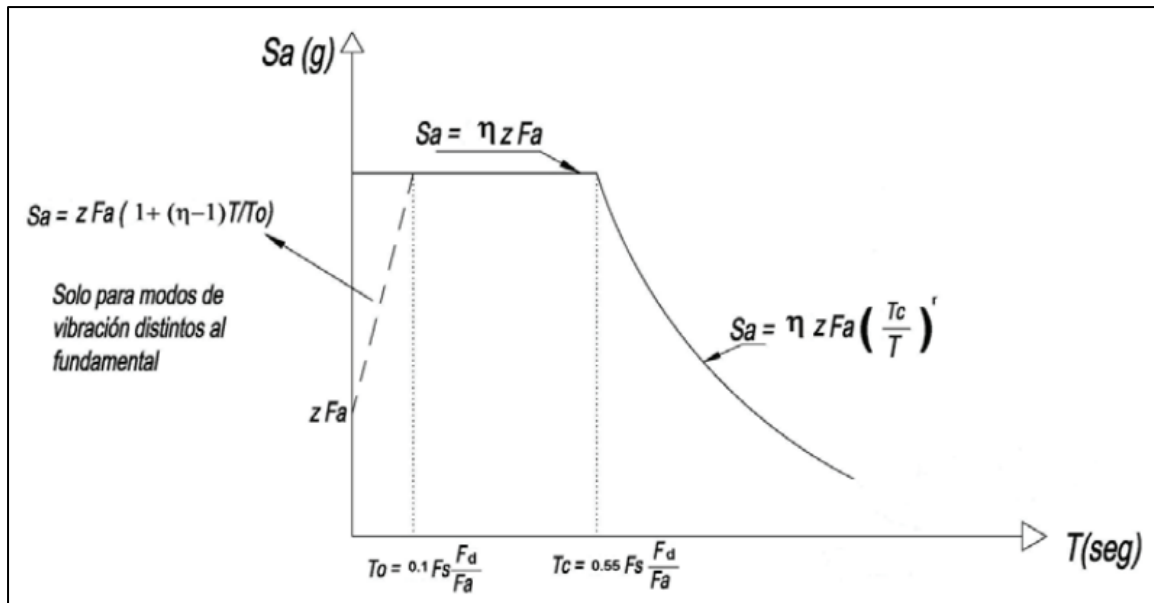


Figura 2. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones. Obtenido de la NEC 2015 (MIDUVI, 2015)

### Proceso

Para comenzar, se realizó una pequeña base de datos propia con los registros obtenidos del PEER, clasificando en las diferentes familias que se mencionó anteriormente. Posteriormente se usó el programa SeismoSpect 2023 para poder recopilar todos los registros descargados; usando el espectro de respuesta de cada registro y colocando la curva del espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones dado por la NEC se pudo comparar los registros y como el espectro de diseño cumple o no cumple, general, para los sismos que han ocurrido, dependiendo del tipo de suelo considerado.

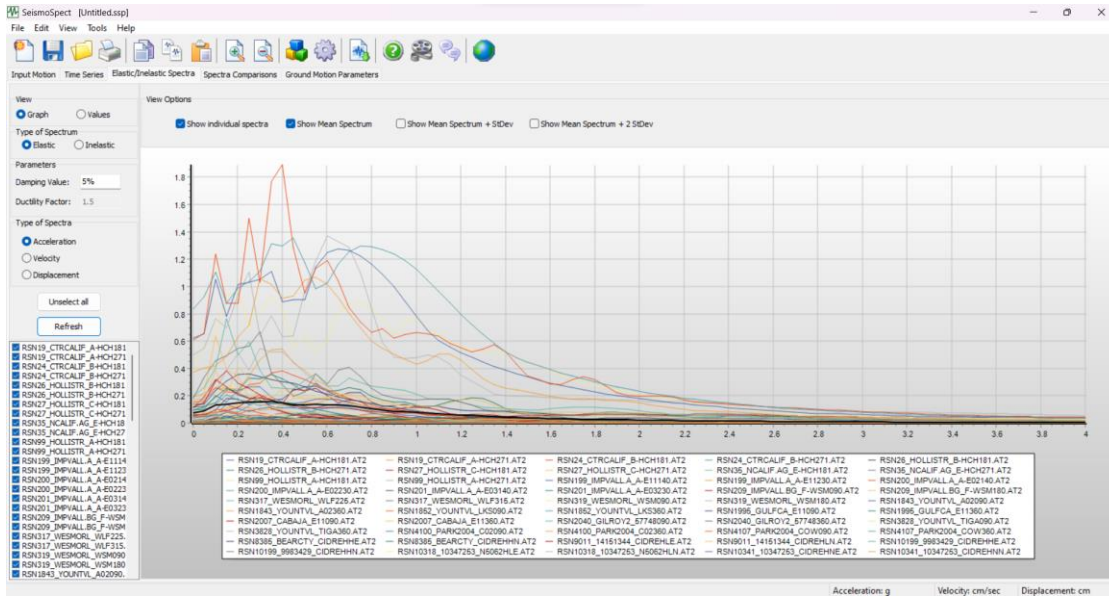


Figura 3. Recopilación de los registros transformados a sus espectros de respuesta

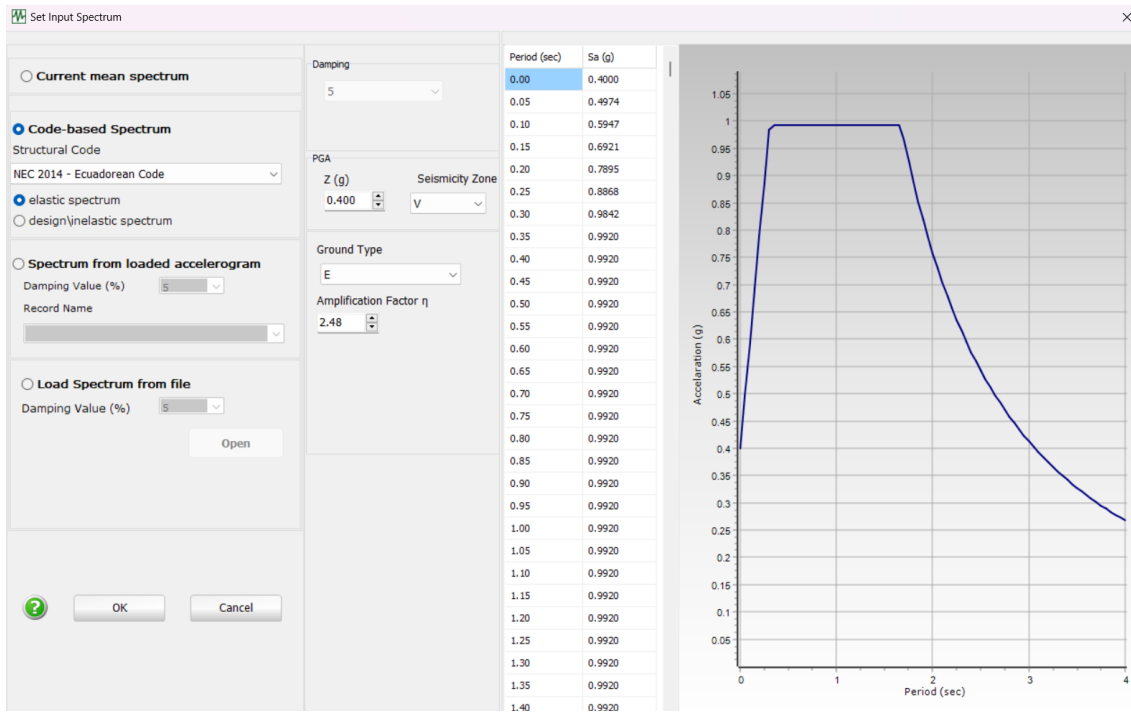


Figura 4. Creación del espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones, según la NEC 2015 (MIDUVI, 2015)

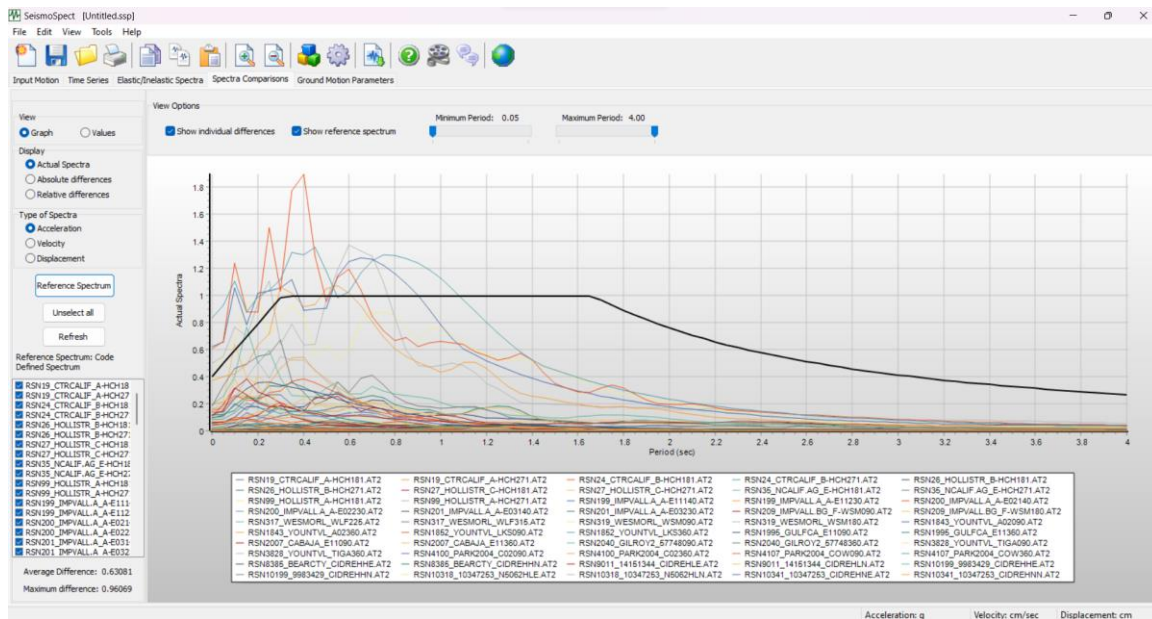


Figura 5. Comparación entre los espectros de los registros y el espectro de diseño. (MIDUVI, 2015)

## Resultados

### Falla: Strike-Slip, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: E

En la figura 6, se puede ver como el espectro de diseño engloba la mayoría de los registros. Existen algunos registros que superan al de diseño en diferentes rangos de período. Esto podría ocurrir al existir un error en el tipo de suelo o falla que generó el sismo, por lo que son pocos los registros que no se cubren; se puede asumir que el espectro de diseño es correcto, quizá un poco sobredimensionado porque su tercera rampa podría empezar a descender en 1.2 segundos.

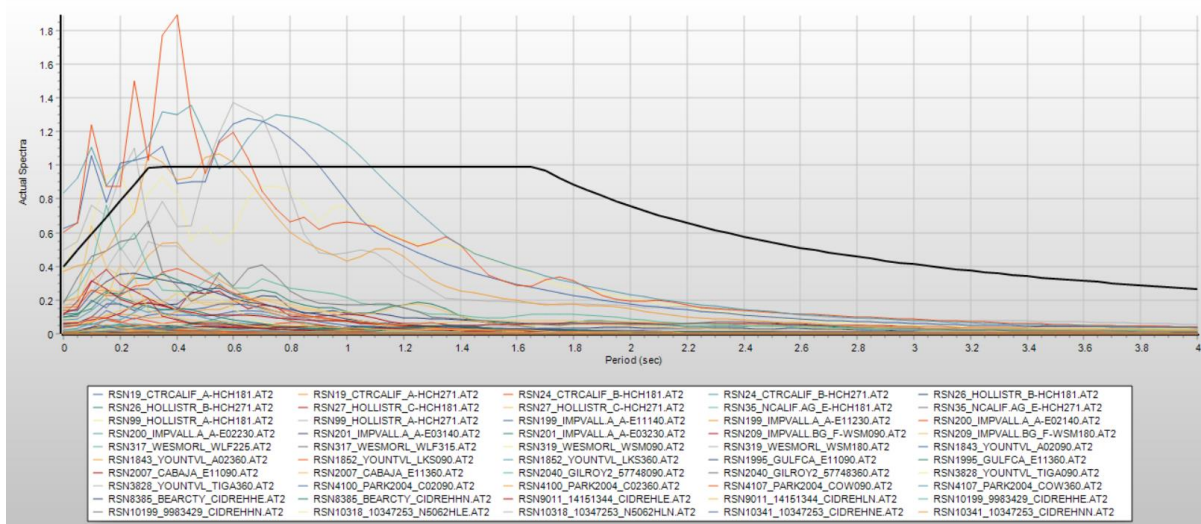


Figura 6. Falla: Strike-Slip, magnitud:4-6, tipo de suelo: E

### Falla: Strike-Slip, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: D

En la figura 7 se puede ver como el espectro de diseño engloba la mayoría de los registros, existen pocos registros que superan al de diseño, por tanto, se puede asumir que la forma espectral de diseño es correcta, quizá un poco sobredimensionado porque su tercera rampa podría comenzar a descender en 0.5 segundos.

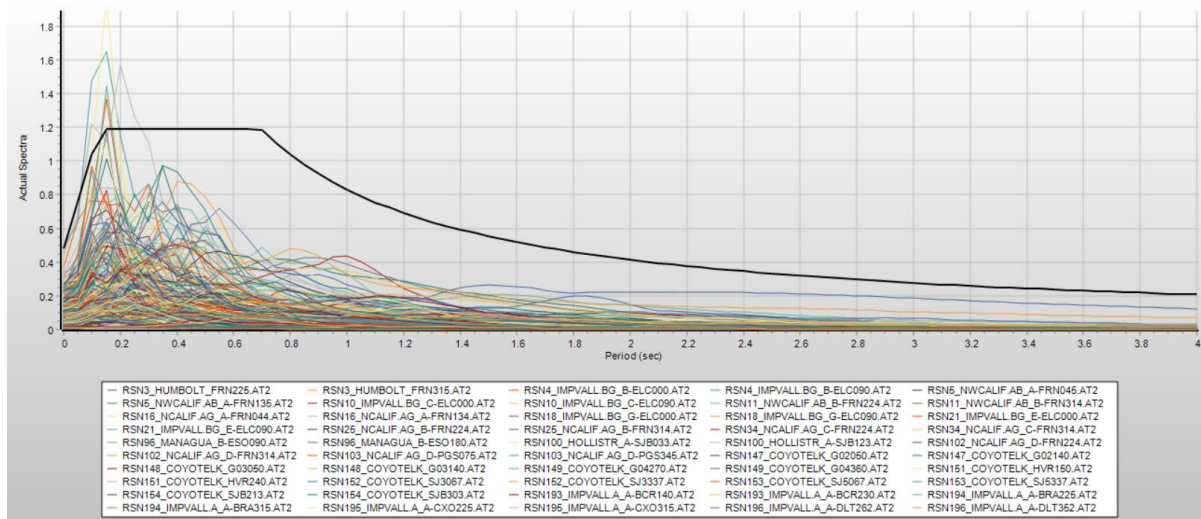


Figura 7. Falla: Strike-Slip, magnitud:4-6, tipo de suelo: D

**Falla: Strike-Slip, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: C**

En la figura 8 se puede ver como el espectro de diseño, aunque engloba la mayoría de los registros, hay varios que sobre pasan éste. Quizás la plataforma recta del espectro para este tipo de suelo pueda extenderse en períodos para poder englobar la mayoría y tener una certeza de que funcionará para diferentes sismos.

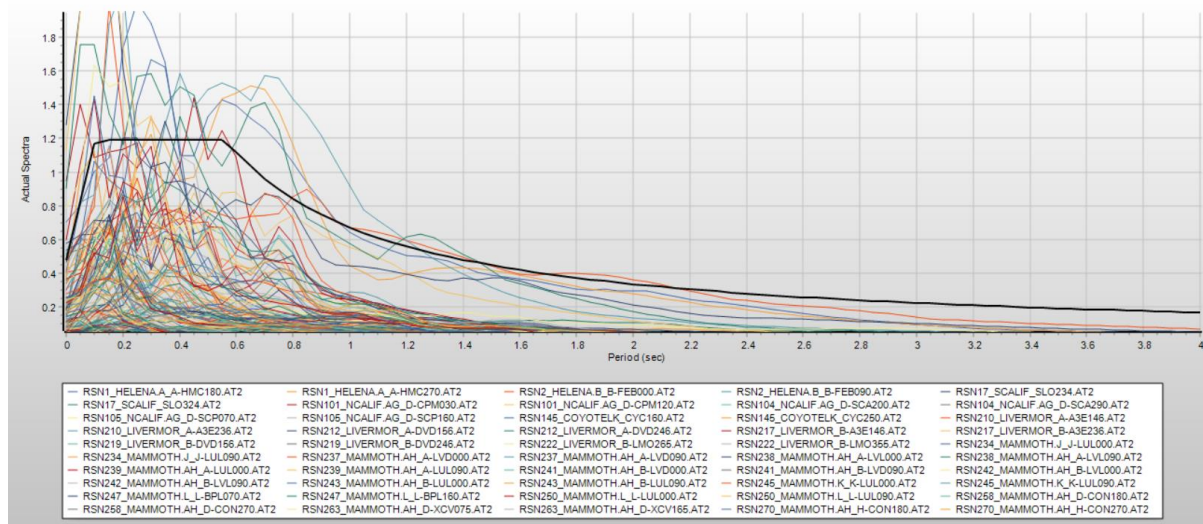


Figura 8. Falla: Strike-Slip, magnitud:4-6, tipo de suelo: C

**Falla: Strike-Slip, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: B**

En la figura 9 se puede ver como el espectro de diseño engloba la mayoría de los registros, existen pocos registros que superan al de diseño, se puede asumir que el espectro de diseño es correcto.



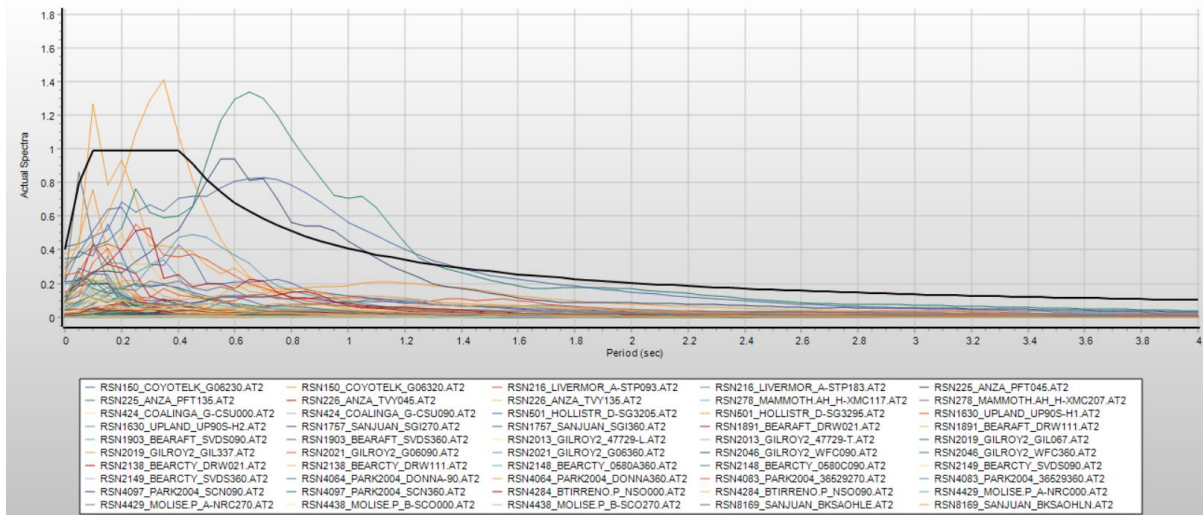


Figura 9. Falla: Strike-Slip, magnitud:4-6, tipo de suelo: B

**Falla: Stike-Slip, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: E**

En la figura 10 se puede ver como el espectro de diseño, aunque engloba la mayoría de los registros, hay algunos que sobre pasan este. Su cobertura se observa adecuada.

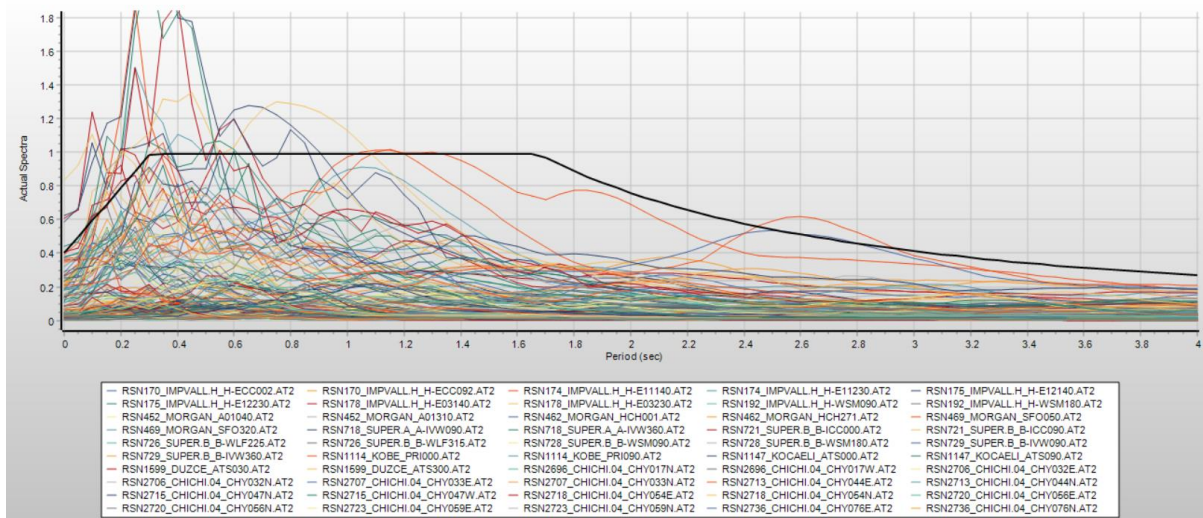


Figura 10. Falla: Strike-Slip, magnitud:6-8, tipo de suelo: E

**Falla: Stike-Slip, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: D**

En la figura 11 se puede ver como el espectro de diseño, aunque engloba la mayoría de los registros, hay algunos que sobre pasan éste, pero su forma espectral se observa adecuada.

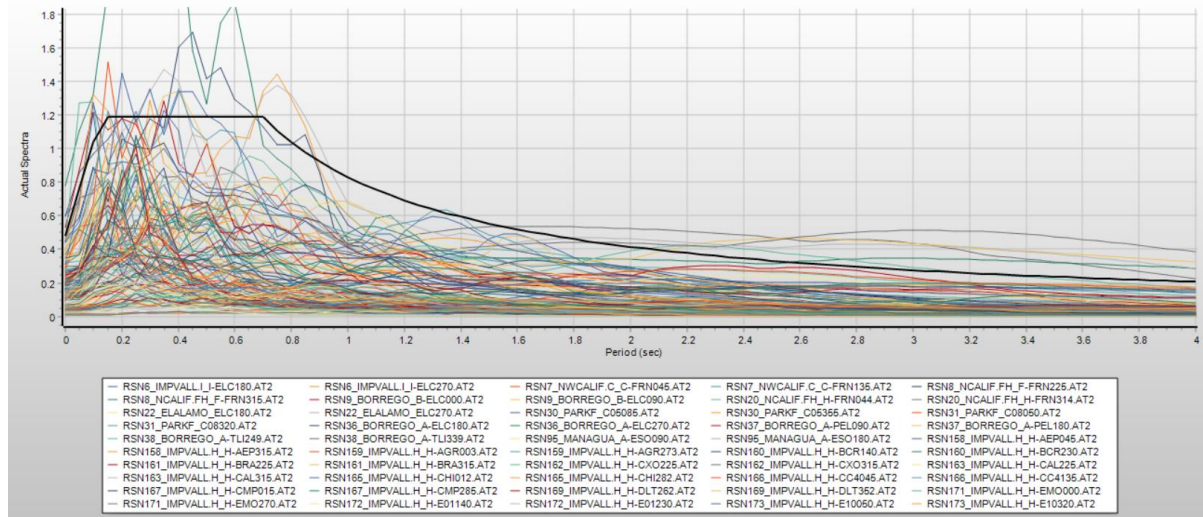


Figura 11. Falla: Strike-Slip, magnitud:6-8, tipo de suelo:D

**Falla: Stike-Slip, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: C**

En la figura 12 se puede ver como el espectro de diseño, aunque engloba buena parte de los registros, hay muchos que sobre pasan éste, pero su cobertura en período se observa adecuada.

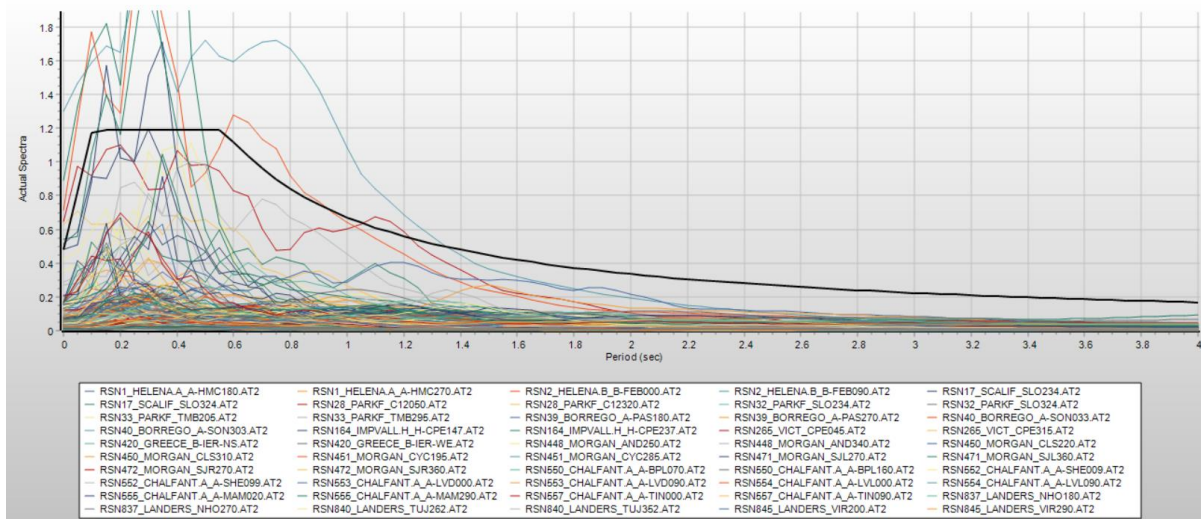


Figura 12. Falla: Strike-Slip, magnitud: 6-8, tipo de suelo: C

### Falla: Strike-Slip, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: B

En la figura 12 se puede ver como el espectro de diseño, aunque engloba la mayoría de los registros, hay varios que sobre pasan éste. La plataforma podría extenderse quizás hasta los 0.8 segundos.

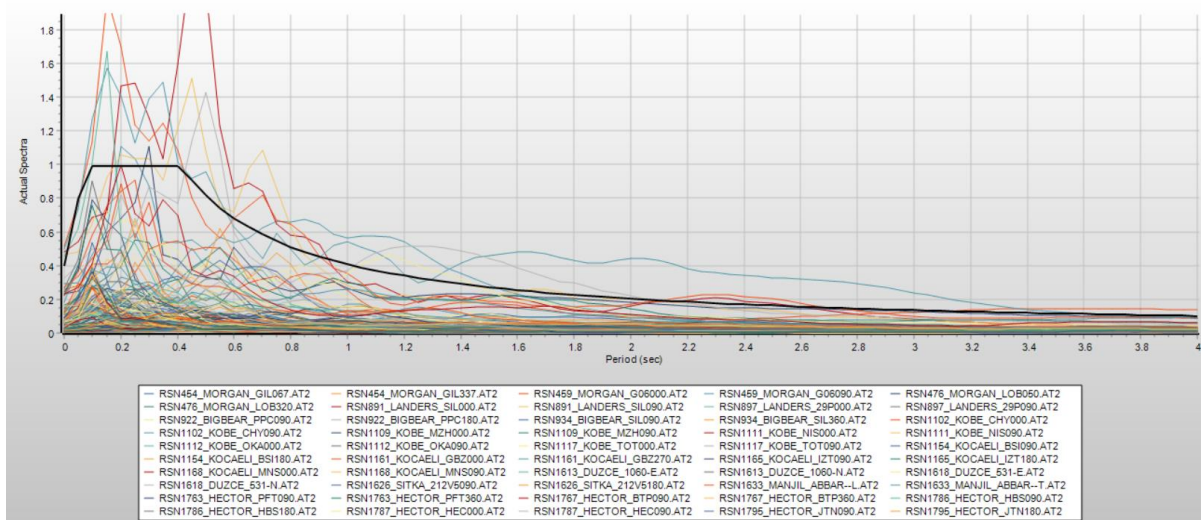


Figura 13. Falla: Strike-Slip, magnitud:6-8, tipo de suelo: B

**Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: E**

En la imagen se puede ver como el espectro de diseño engloba todos los registros, se puede asumir que el espectro de diseño es correcto, quizás esta muy sobredimensionado, bastaría con que la plataforma recta llegara hasta 0.2.

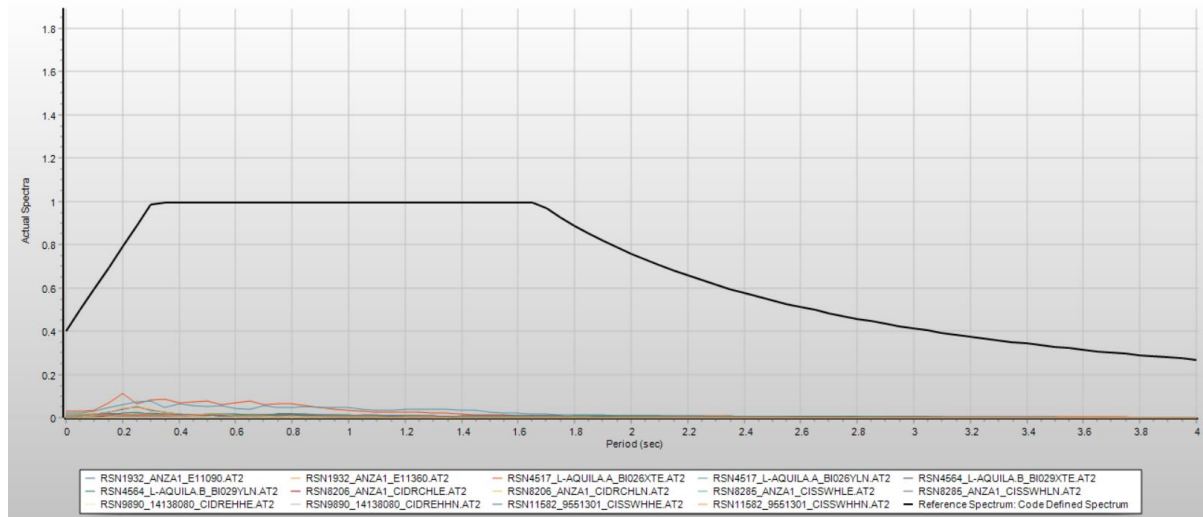


Figura 14. Falla: Normal/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: E

**Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: D**

En la imagen se puede ver como el espectro de diseño engloba todos los registros, se puede asumir que el espectro de diseño es correcto, quizás esta muy sobredimensionado, bastaría con llegar hasta 1 y comenzar a descender en 0.5.

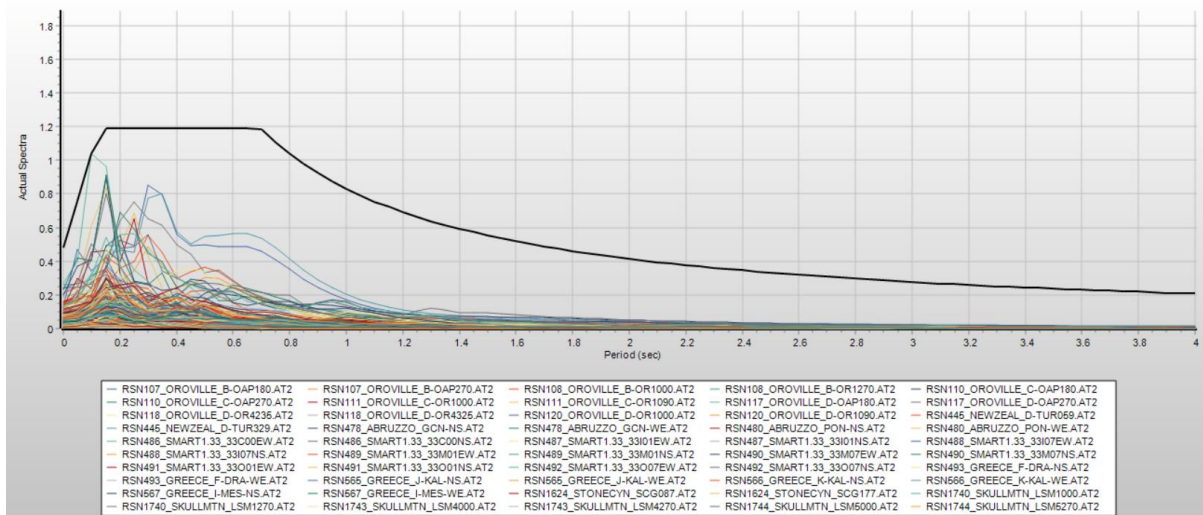


Figura 15. Falla: Normal/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: D

**Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: C**

En la figura 16, se puede ver como el espectro de diseño engloba la mayoría de los registros. Existen algunos registros que superan al de diseño en diferentes rangos de período. Esto podría ocurrir al existir un error en el tipo de suelo o falla que generó el sismo, por lo que son pocos los registros que no se cubren; se puede asumir que el espectro de diseño es correcto, quizá un poco sobredimensionado porque su tercera ramba podría empezar a descender en 0.4 segundos.

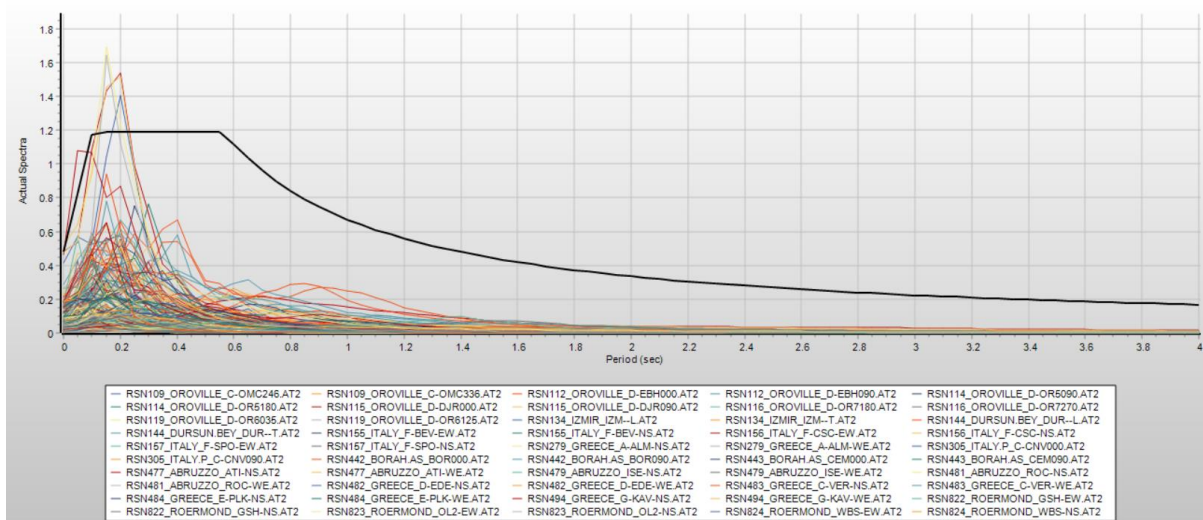


Figura 16. Falla: Normal/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: C

**Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: B**

En la figura 17 se puede ver como el espectro de diseño engloba la mayoría de los registros. Existen un registro que superan al de diseño en diferentes rangos de período. Esto podría ocurrir al existir un error en el tipo de suelo o falla que generó el sismo, se puede asumir que el espectro de diseño es correcto, quizá un poco sobredimensionado porque su plataforma recta podría llegar hasta 0.6.

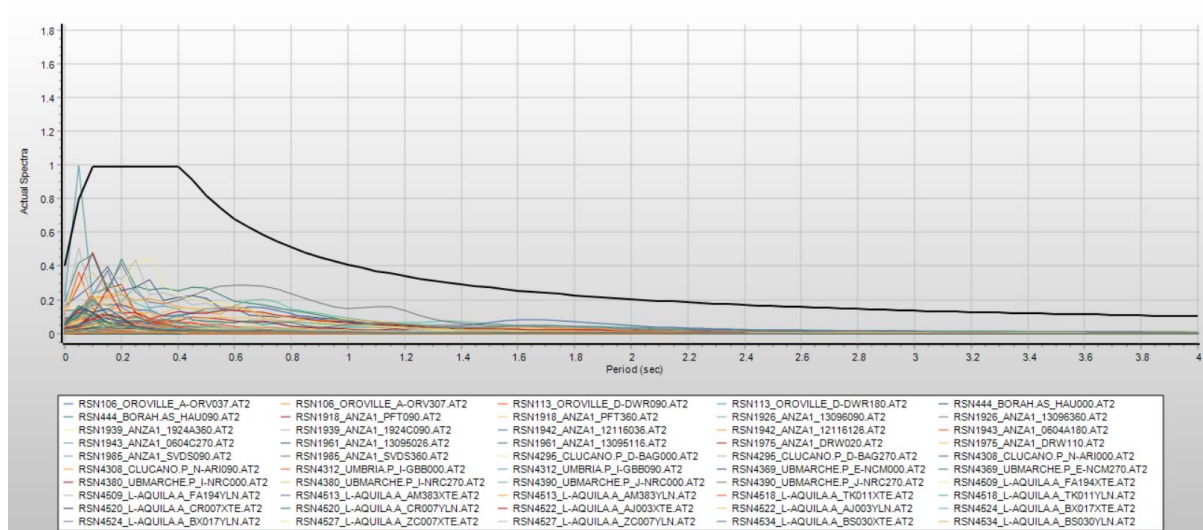


Figura 17. Falla: Normal/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: B

**Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: E**

En la figura 18 se puede ver como el espectro de diseño engloba todos los registros, se puede asumir que el espectro de diseño es correcto, quizás esta muy sobredimensionado, bastaría con que su plataforma recta llegara hasta 0.4.

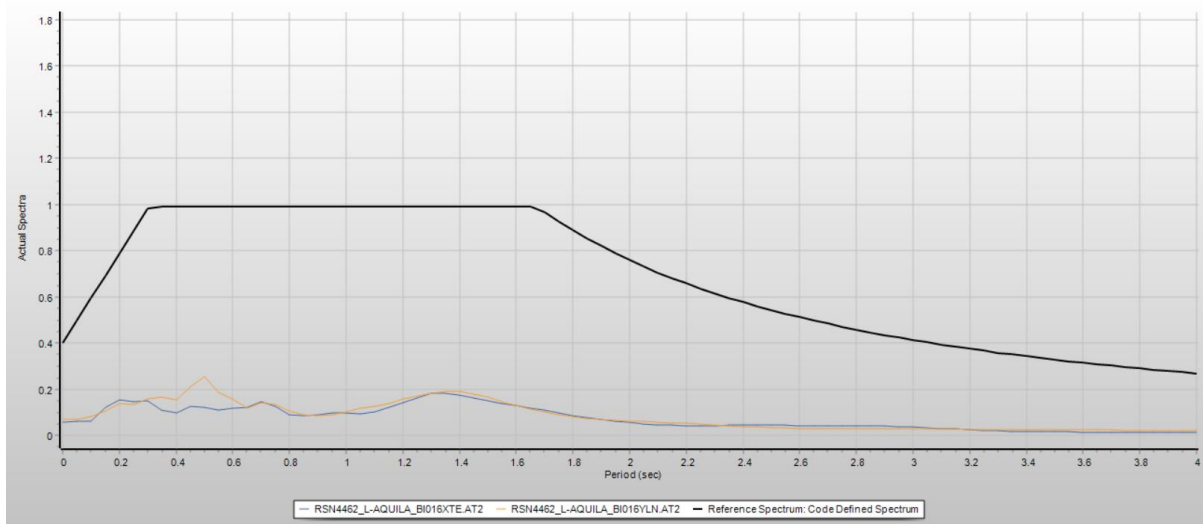


Figura 18. Falla: Normal/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: E

**Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: D**

En la figura 19 se puede ver como el espectro de diseño engloba la mayoría de los registros. Existen algunos registros que superan al de diseño en diferentes rangos de período. Esto podría ocurrir al existir un error en el tipo de suelo o falla que generó el sismo, por lo que son pocos los registros que no se cubren; se puede asumir que el espectro de diseño es correcto

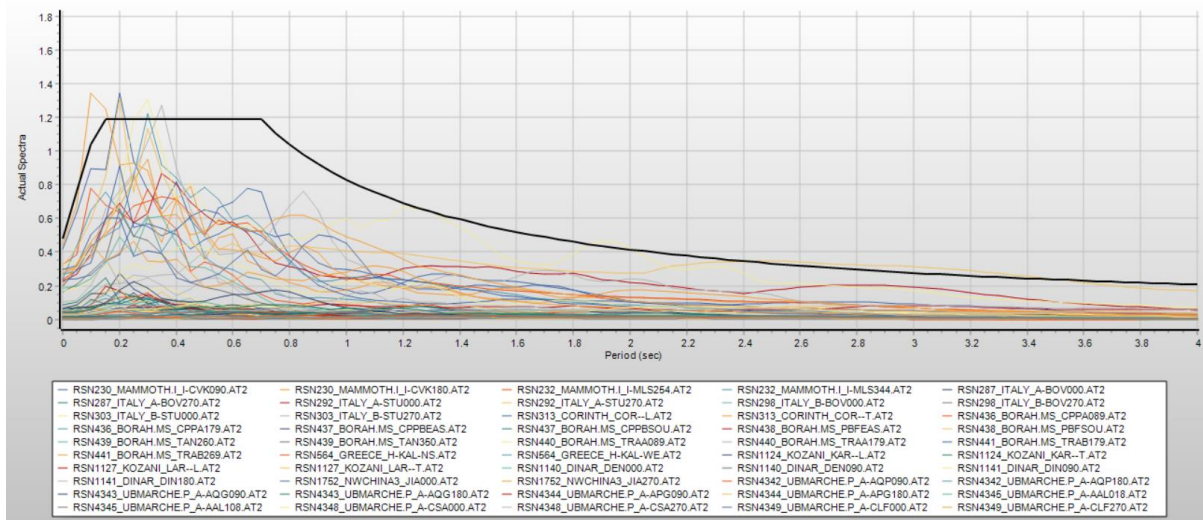


Figura 19. Falla: Normal/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: D

**Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: C**

En la figura 20 se puede ver como el espectro de diseño engloba la mayoría de los registros. Existen algunos registros que superan al de diseño en diferentes rangos de período. Esto podría ocurrir al existir un error en el tipo de suelo o falla que generó el sismo, por lo que son pocos los registros que no se cubren; se puede asumir que el espectro de diseño es correcto

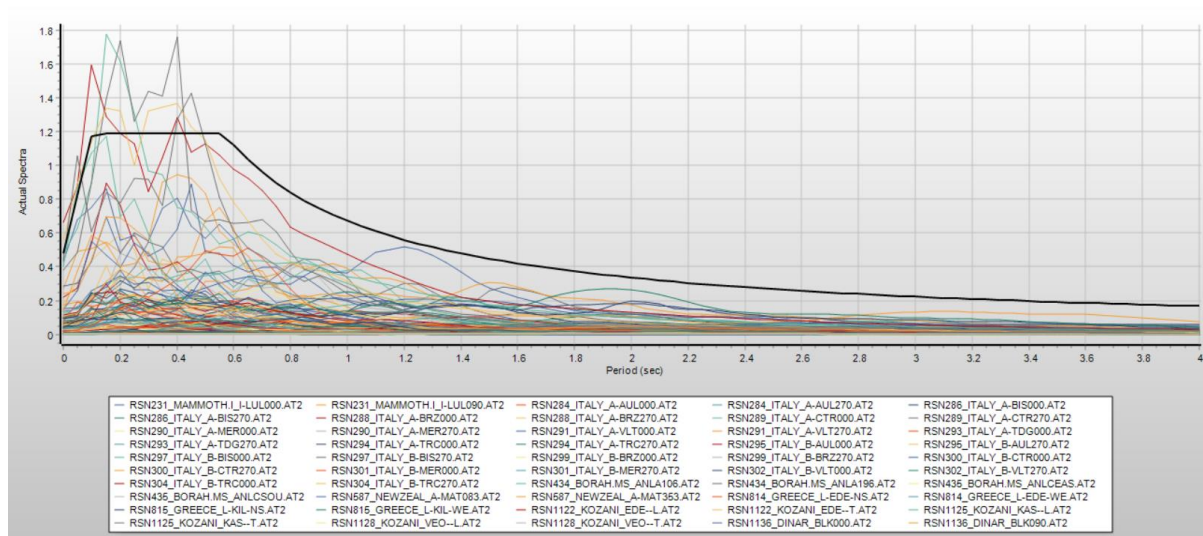


Figura 20. Falla: Normal/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: C

**Falla: Normal/Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: B**

En la figura 21 se puede ver como el espectro de diseño engloba la mayoría de los registros. Existen algunos registros que superan al de diseño en diferentes rangos de período. Esto podría ocurrir al existir un error en el tipo de suelo o falla que generó el sismo, por lo que son pocos los registros que no se cubren; se puede asumir que el espectro de diseño es correcto



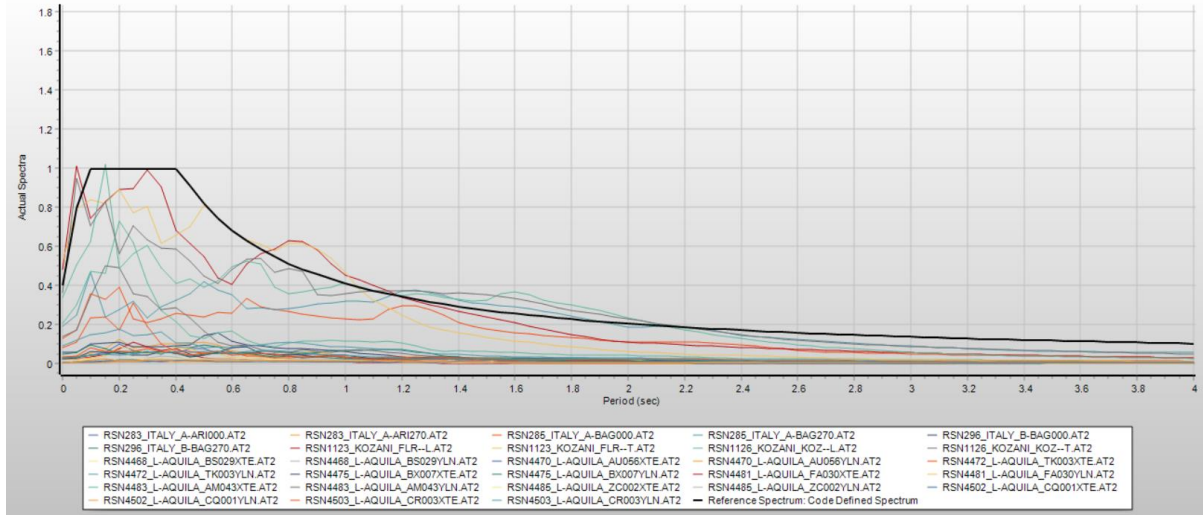


Figura 21. Falla: Normal/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: B

**Falla: Reverse/Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: E**

En la figura 22 se puede ver como el espectro de diseño engloba todos los registros, se puede asumir que el espectro de diseño es correcto, quizás esta muy sobredimensionado, bastaría con que su plataforma recta llegara hasta 0.4.

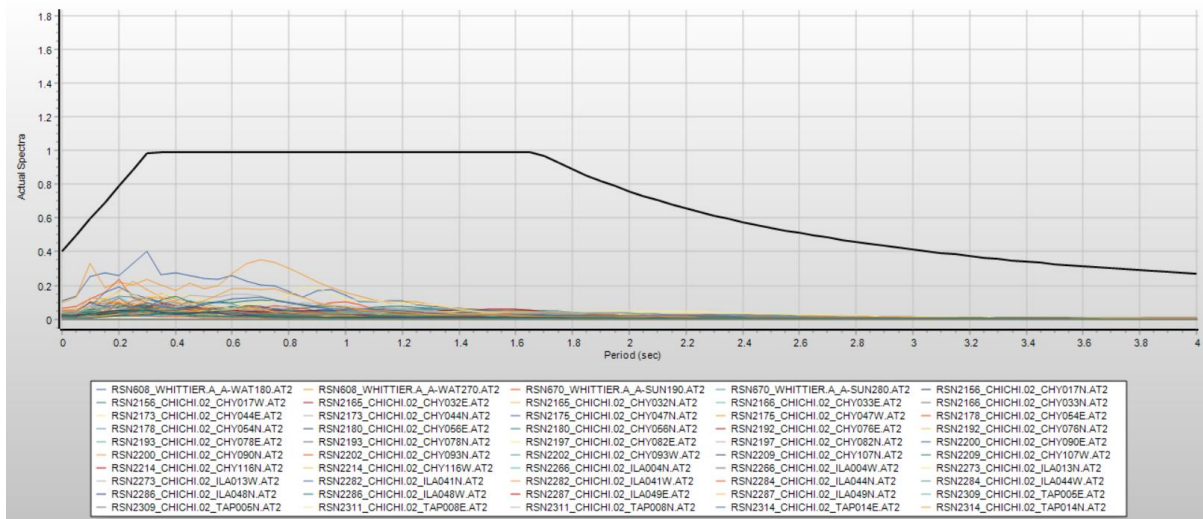


Figura 22. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: E

**Falla: Reverse /Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: D**

En la figura 23 se puede ver como el espectro de diseño, aunque engloba la mayoría de los registros, hay varios que sobre pasan éste. Quizás la plataforma recta del espectro para este tipo de suelo pueda extenderse en períodos para poder englobar la mayoría y tener una certeza de que funcionará para diferentes sismos.

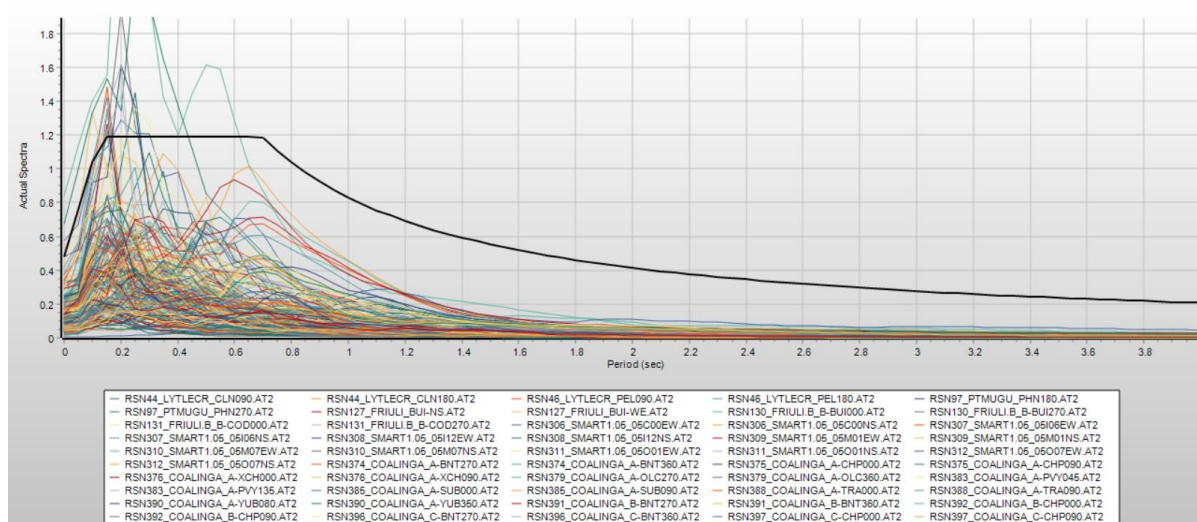


Figura 23. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: D

**Falla: Reverse /Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: C**

En la figura 24 se puede ver como el espectro de diseño, aunque engloba la mayoría de los registros, hay varios que sobre pasan éste. Quizás la plataforma recta del espectro para este tipo de suelo pueda extenderse en períodos para poder englobar la mayoría y tener una certeza de que funcionará para diferentes sismos.

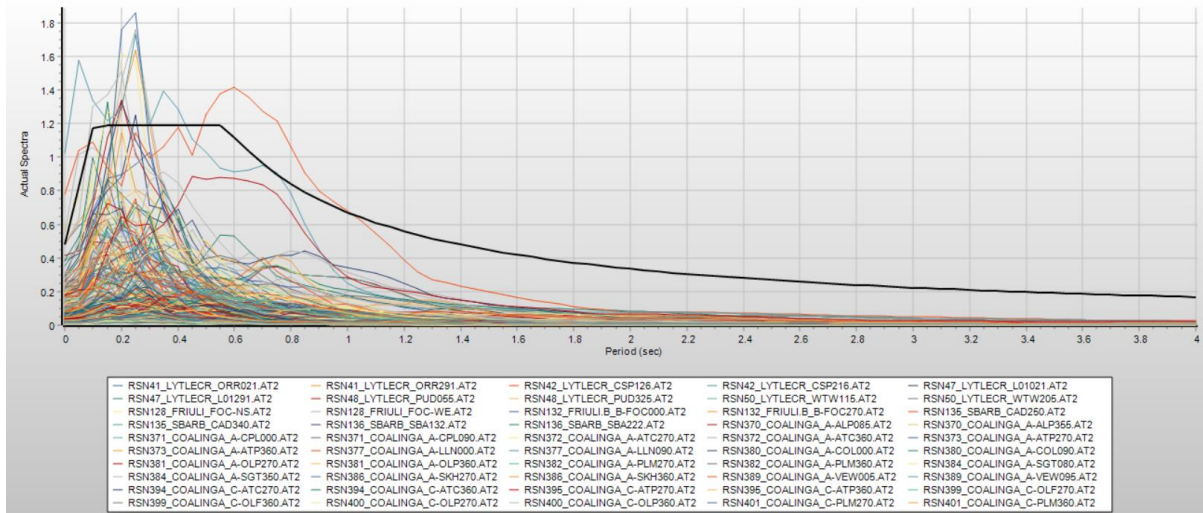


Figura 24. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: C

**Falla: Reverse /Oblique, Magnitud: 4-6, Tipo de suelo: B**

En la figura 25 se puede ver como el espectro de diseño engloba todos los registros, se puede asumir que el espectro de diseño es correcto.

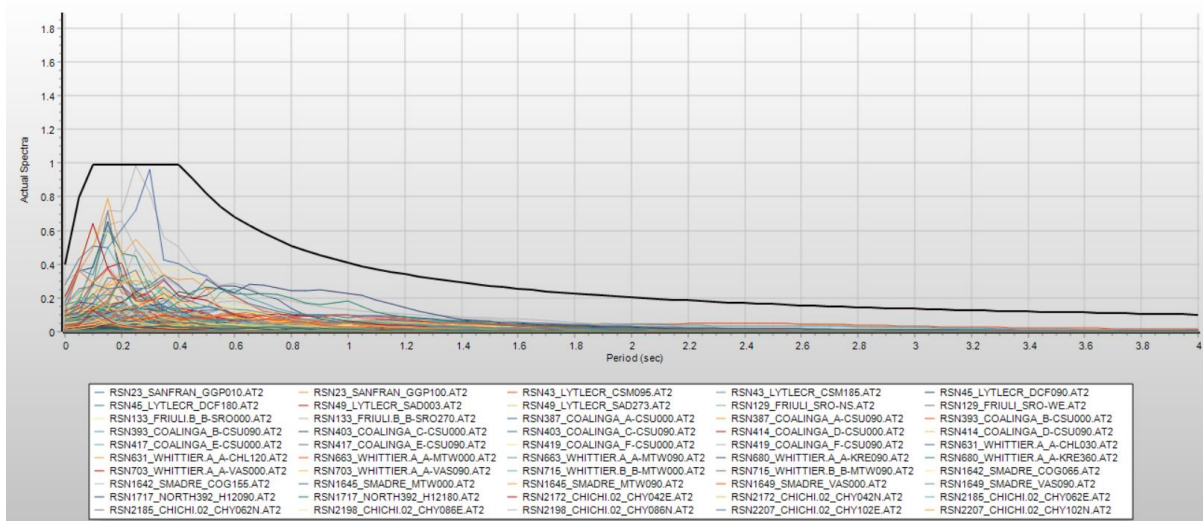


Figura 25. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:4-6, tipo de suelo: B

**Falla: Reverse /Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: E**

En la figura 26 se puede ver como el espectro de diseño engloba la mayoría de los registros. Existen algunos registros que superan al de diseño en diferentes rangos de período. Esto podría ocurrir al existir un error en el tipo de suelo o falla que generó el sismo, se puede asumir que el espectro de diseño es correcto, quizá un poco sobredimensionado porque su tercera rama podría comenzar a descender en 1.2

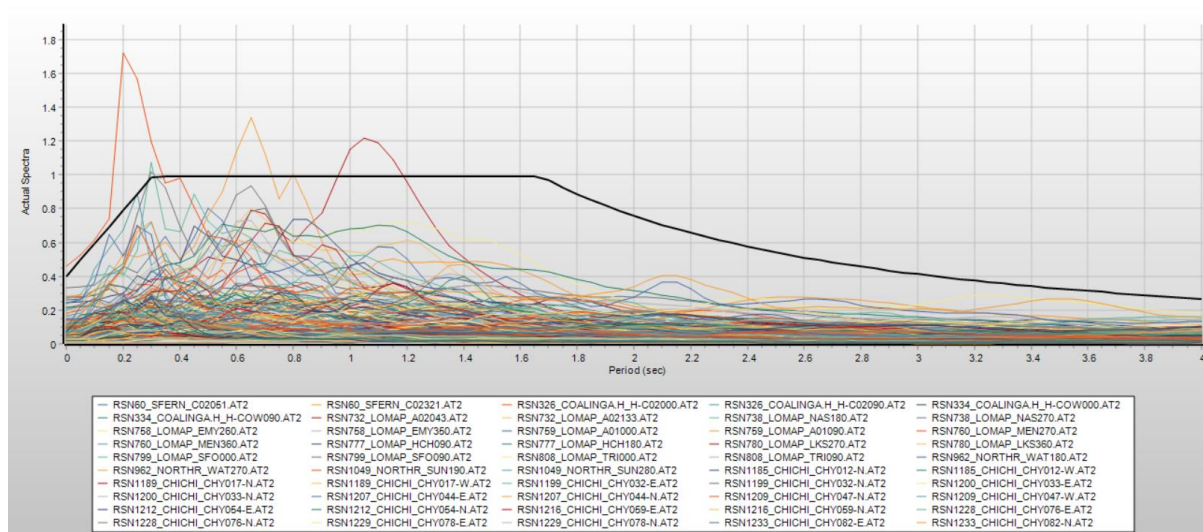


Figura 26. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: E

**Falla: Reverse /Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: D**

En la figura 27 se puede ver como el espectro de diseño, aunque engloba la mayoría de los registros, hay varios que sobre pasan éste. Quizás la plataforma recta del espectro para este tipo de suelo pueda extenderse en períodos para poder englobar la mayoría y tener una certeza de que funcionará para diferentes sismos.

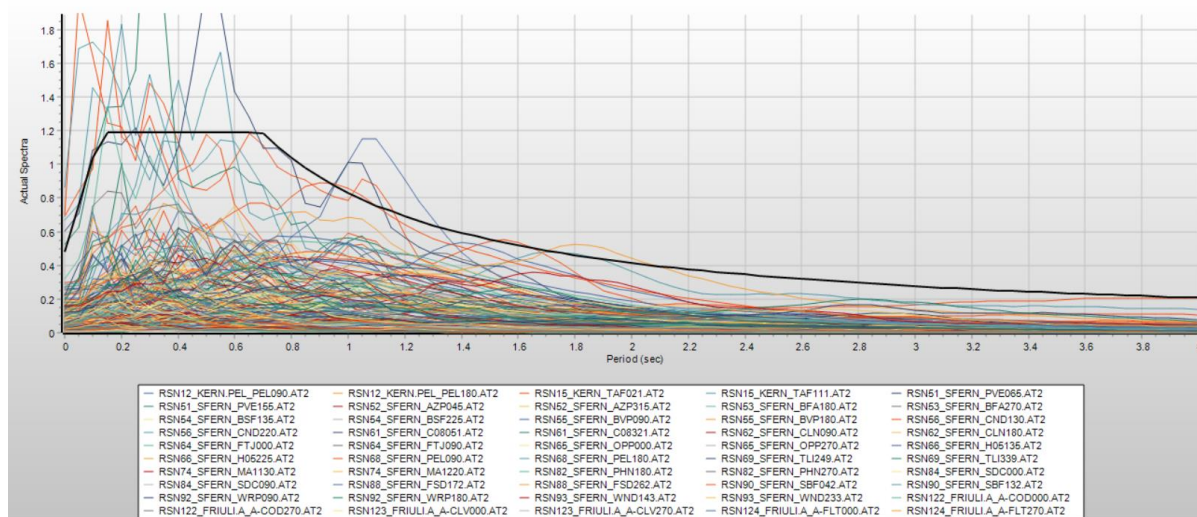


Figura 27. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: D

### Falla: Reverse /Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: C

En la figura 28 se puede ver como el espectro de diseño, aunque engloba la mayoría de los registros, hay varios que sobre pasan éste. Quizás la plataforma recta del espectro para este tipo de suelo pueda extenderse en períodos para poder englobar la mayoría y tener una certeza de que funcionará para diferentes sismos.

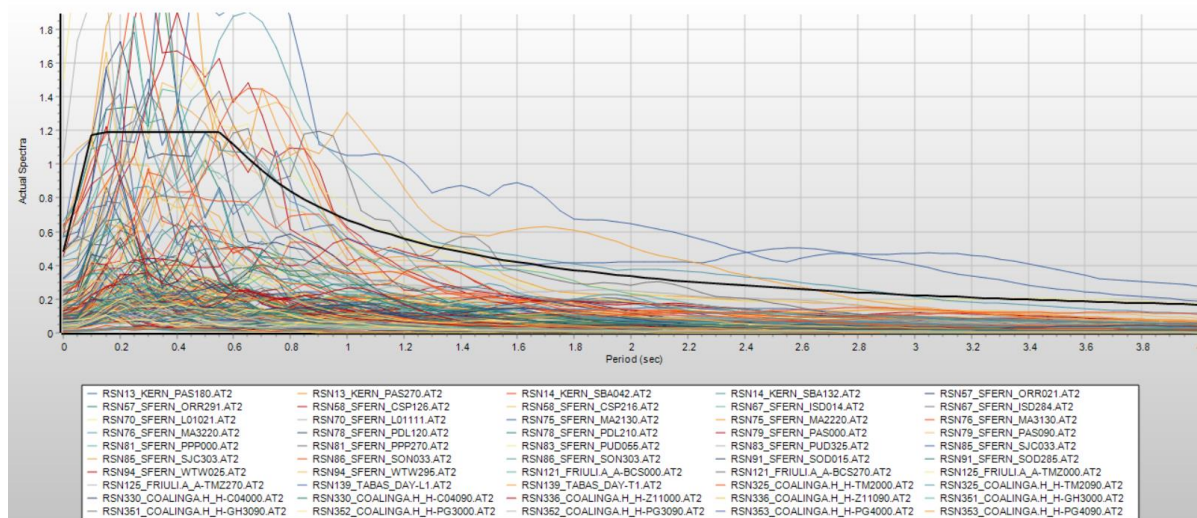


Figura 28. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: C

**Falla: Reverse /Oblique, Magnitud: 6-8, Tipo de suelo: B**

En la figura 29 se puede ver como el espectro de diseño, aunque engloba la mayoría de los registros, hay varios que sobre pasan éste. Quizás la plataforma recta del espectro para este tipo de suelo pueda extenderse en períodos para poder englobar la mayoría y tener una certeza de que funcionará para diferentes sismos.

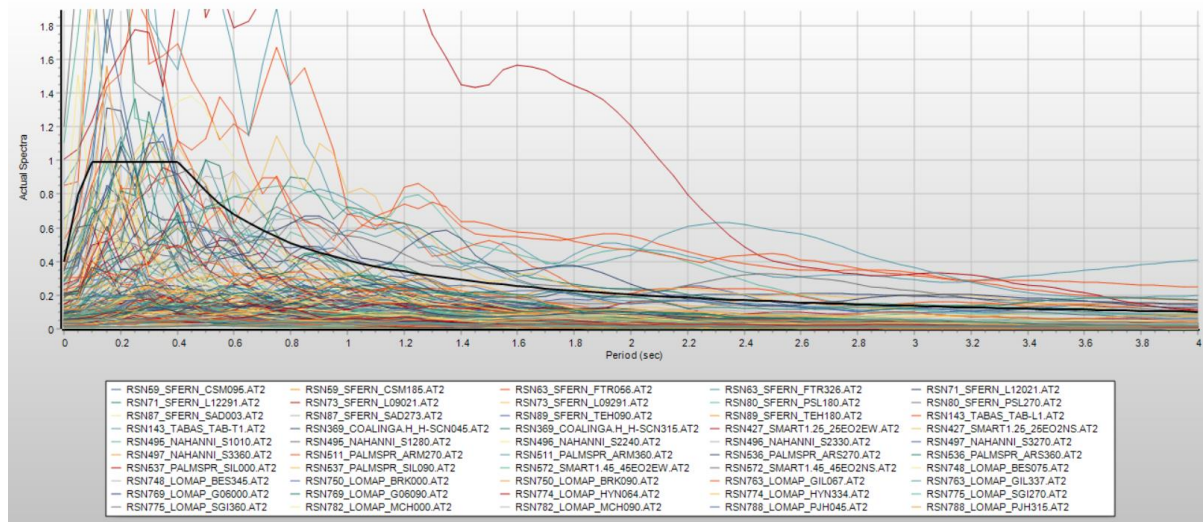


Figura 29. Falla: Reverse/Oblique, magnitud:6-8, tipo de suelo: B

## CONCLUSIONES

De forma general se puede concluir que el espectro de diseño funciona muy bien, a pesar de que hay varios sismos que lo sobre pasan siempre engloba una gran mayoría. Hay una gran observación en esa comparación y es que en todos los tipos de suelos en magnitud de 6 a 8 en las fallas strike-slip y reverse/oblique existe un sin número de sismos que sobre pasa el espectro de diseño por lo que yo creería si debería haber un ajuste considerable en este caso, hacerlo un poco más grande siempre dará más seguridad, esto ajustaría los parámetros que se tiene en la NEC para diseñar edificios, casas y otras cosas, lo que haría que se reforzara la estructura de alguna manera y tendría un costo mayor. Lo importante es que la NEC sea un estándar de seguridad que cubra la gran mayoría de sismos que ocurren para prevenir desastres mayores.

Nunca esta demás tener en cuenta que cualquier tipo de error que haya llevado a los registros a superar el espectro de diseño, se pudo dar por que se colocaron algunos registros en una categoría que no entraban, por ejemplo, se colocó un tipo de suelo equivocado, la falla estaba mal, y hasta la magnitud puede tener un error que se estaban transcribiendo los datos.

## RECONOCIMIENTO

Agradecemos al PEER por el acceso a su base de datos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ancheta, T. D., Darragh, R. B., Stewart, J. P., Seyhan, E., Silva, W. J., Chiou, B. S., . . . Donahue, J. L. (2014). *PEER NGA-West2 Database*. University of California, Berkeley. CA: Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- Bonett, R. P. (2002). *Generación de acelerogramas artificiales compatibles con un espectro de respuesta. Aplicación a eventos recientes en Colombia y España*. Revista Internacional de Métodos Numéricos.
- Falconí, R. A., García, E., & Villamarín, J. (2010). *Leyes de atenuación para sismos corticales y de subducción para el Ecuador*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Aguilar/publication/266877479\\_LEYES\\_DE\\_ATENUACION\\_PARA\\_SISMOS\\_CORTICALES\\_Y\\_DE\\_SUBDUCCION\\_PARA\\_EL\\_ECUADOR/links/551b14170cf251c35b50553e/LEYES-DE-ATENUACION-PARA-SISMOS-CORTICALES-Y-DE-SUBDUCCION-PARA-EL-ECUADOR.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Aguilar/publication/266877479_LEYES_DE_ATENUACION_PARA_SISMOS_CORTICALES_Y_DE_SUBDUCCION_PARA_EL_ECUADOR/links/551b14170cf251c35b50553e/LEYES-DE-ATENUACION-PARA-SISMOS-CORTICALES-Y-DE-SUBDUCCION-PARA-EL-ECUADOR.pdf)
- MIDUVI. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente*. Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Peláez, J. A. (2011). Sobre las escalas de magnitud. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (19.3), 267-275.
- Pinto, L. H., & Fuentes, M. C. (2021). Acelerogramas y espectros de respuesta en medios: suelo y roca, Boyacá, Colombia. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, vol. 21 (1), pp. 47-58.
- Richter, C. F. (1958). *Elementary Seismology*. California: Eurasia Publishing Home.
- Rosenblueth, E. &. (1978). *Fundamentos de Ingeniería Sísmica*. México: Editorial Diana.