

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

Tema: Determinación de acelerogramas reales para su empleo en los análisis dinámicos de las estructuras de edificaciones en la ciudad de Puyo

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de cuarto nivel de Magister en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas

Modalidad del trabajo: Propuestas Metodológicas y Tecnológicas Avanzadas

Autor: Ing. Pablo Fidel Gamboa Armijo

Director: Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.

Ambato - Ecuador

2023

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por el Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., e integrado por los señores: Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg. e Ing. María Fernanda Pico Núñez, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “DETERMINACIÓN DE ACELEROGRAMAS REALES PARA SU EMPLEO EN LOS ANÁLISIS DINÁMICOS DE LAS ESTRUCTURAS DE EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE PUYO”, elaborado y presentado por el Ing. Pablo Fidel Gamboa Armijo, para optar por el Grado Académico de Magíster en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.
Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa



Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg.
Miembro del Tribunal de Defensa



Ing. María Fernanda Pico Núñez, Mg.
Miembro del Tribunal de Defensa

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentada con el tema: “DETERMINACIÓN DE ACELEROGRAMAS REALES PARA SU EMPLEO EN LOS ANÁLISIS DINÁMICOS DE LAS ESTRUCTURAS DE EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE PUYO”, le corresponde exclusivamente al: Ing. Pablo Fidel Gamboa Armijo, Autor, bajo la Dirección del Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera. MSc. Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Pablo Fidel Gamboa Armijo

c.c: 1804525119

AUTOR



Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera. Mg.

c.c: 1715190938

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Pablo Fidel Gamboa Armijo

c.c: 180452511

ÍNDICE GENERAL

Pág

PORTADA.....	i
A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
AGRADECIMIENTO.....	xi
DEDICATORIA.....	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
EXECUTIVE SUMMARY	xiv
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	3
1.1.1. General	3
1.1.2. Específicos	3
CAPITULO II	4
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	4
CAPITULO III	6
MARCO METODOLÓGICO	6
3.1. Ubicación.....	6
3.2. Equipos y materiales	6
3.3. Tipo de investigación.....	6
3.4. Población o muestra.....	6
3.5. Recolección de información	6
3.6. Procesamiento de la información y análisis estadístico	7
3.7. Variables respuesta o resultados alcanzados.....	8
CAPITULO IV.....	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
CAPÍTULO V	39

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS.....	39
5.1. Conclusiones.....	39
5.2. Recomendaciones	39
5.3. BIBLIOGRAFÍA.....	40
5.4. ANEXOS	44

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Eventos sísmicos seleccionados.....	9
--	---

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Componente norte-sur (NS) del evento sísmico Chichi 05.	10
Figura 2. Componente este-oeste (EW) del evento sísmico Chichi 05.....	10
Figura 3. Componente norte-sur (NS) del evento sísmico Chichi 06.	11
Figura 4. Componente este-oeste (EW) del evento sísmico Chichi 06.....	11
Figura 5. Componente norte-sur (NS) del evento sísmico Chuetsu.....	12
Figura 6. Componente este-oeste (EW) del evento sísmico Chuetsu.	12
Figura 7. Componente norte-sur (NS) del evento sísmico Iwate.....	13
Figura 8. Componente este-oeste (EW) del evento sísmico Iwate.....	13
Figura 9. Componente norte-sur (NS) del evento sísmico Niigata.	14
Figura 10. Componente este-oeste (EW) del evento sísmico Niigata.....	14
Figura 11. Componente norte-sur (NS) espectral del evento sísmico Chichi 05.	15
Figura 12. Componente este-oeste (EW) espectral del evento sísmico Chichi 05.....	15
Figura 13. Componente norte-sur (NS) espectral del evento sísmico Chichi 06.	16
Figura 14. Componente este-oeste (EW) espectral del evento sísmico Chichi 06.....	16
Figura 15. Componente norte-sur (NS) espectral del evento sísmico Chuetsu.....	17
Figura 16. Componente este-oeste (EW) espectral del evento sísmico Chuetsu.	17
Figura 17. Componente norte-sur (NS) espectral del evento sísmico Iwate.....	18
Figura 18. Componente este-oeste (EW) espectral del evento sísmico Iwate.	18
Figura 19. Componente norte-sur (NS) espectral del evento sísmico Niigata.	19
Figura 20. Componente este-oeste (EW) espectral del evento sísmico Niigata.	19
Figura 21. Componente SRSS del espectro de aceleración del evento sísmico Chichi 05.....	20
Figura 22. Componente SRSS del espectro de aceleración del evento sísmico Chichi 05.....	20
Figura 23. Componente SRSS del espectro de aceleración del evento sísmico Chuetsu.	21
Figura 24. Componente SRSS del espectro de aceleración del evento sísmico Iwate.	21
Figura 25. Componente SRSS del espectro de aceleración del evento sísmico Niigata.	22
Figura 26. Espectro elástico de diseño para retorno de 475 años.	22

Figura 27. Espectro elástico de diseño para retorno de 2500 años.	23
Figura 28. Espectros Seleccionados para retorno sísmico de 475 años.....	23
Figura 29. Espectros para un Periodo Estructural de 0.15s.....	24
Figura 30. Espectros para un Periodo Estructural de 0.20s.....	24
Figura 31. Espectros para un Periodo Estructural de 0.25s.....	25
Figura 32. Espectros para un Periodo Estructural de 0.30s.....	25
Figura 33. Espectros para un Periodo Estructural de 0.35s.....	26
Figura 34. Espectros para un Periodo Estructural de 0.40s.....	26
Figura 35. Espectros para un Periodo Estructural de 0.45s.....	27
Figura 36. Espectros para un Periodo Estructural de 0.50s.....	27
Figura 37. Espectros para un Periodo Estructural de 0.55s.....	28
Figura 38. Espectros para un Periodo Estructural de 0.60s.....	28
Figura 39. Espectros para un Periodo Estructural de 0.65s.....	29
Figura 40. Espectros para un Periodo Estructural de 0.70s.....	29
Figura 41. Espectros para un Periodo Estructural de 0.75s.....	30
Figura 42. Espectros Seleccionados para retorno sísmico de 2500 años.....	30
Figura 43. Espectros para un Periodo Estructural de 0.15s.....	31
Figura 44. Espectros para un Periodo Estructural de 0.20s.....	31
Figura 45. Espectros para un Periodo Estructural de 0.25s.....	32
Figura 46. Espectros para un Periodo Estructural de 0.30s.....	32
Figura 47. Espectros para un Periodo Estructural de 0.35s.....	33
Figura 48. Espectros para un Periodo Estructural de 0.40s.....	33
Figura 49. Espectros para un Periodo Estructural de 0.45s.....	34
Figura 50. Espectros para un Periodo Estructural de 0.50s.....	34
Figura 51. Espectros para un Periodo Estructural de 0.55s.....	35
Figura 52. Espectros para un Periodo Estructural de 0.60s.....	35
Figura 53. Espectros para un Periodo Estructural de 0.65s.....	36
Figura 54. Espectros para un Periodo Estructural de 0.70s.....	36
Figura 55. Espectros para un Periodo Estructural de 0.75s.....	37

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Función para Cargar de Datos.	44
Anexo 2. Rutina de Filtrado de acelerogramas.	44
Anexo 3. Función de Interpolación.	46
Anexo 4. Rutina de generación de espectros de los acelerogramas.	46
Anexo 5. Rutina de generación de espectro elástico de diseño para 475 años.	48
Anexo 6. Rutina de generación de espectro elástico de diseño para 2500 años.	50
Anexo 7. Rutina para comparar los espectros.	52

AGRADECIMIENTO

A mi Tutor, Ing. Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera. MSc., por ser un guía y la dedicación en este proyecto, por sus conocimientos,

A Ing. Sonia Sislema, por su virtud de paciencia y ejemplo a seguir, en sus conocimientos que me guiaron, para culminar mi meta y mi proyecto.

A la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por permitirme desarrollarme como profesional.

DEDICATORIA

Con mucho amor dedico este trabajo a mi madre Ana y padre Fidel quienes siempre estuvieron y me ha guiado en mi caminar de la vida, quienes son mi ejemplo a seguir.

A Sonia mayor amor de mi vida, quien con su gran amor me da fuerzas para seguir adelante en mis objetivos a cumplir.

A mi Amigo Edwin, quien considero como un hermano.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS
METÁLICAS

TEMA: “DETERMINACIÓN DE ACELEROGRAMAS REALES PARA SU EMPLEO EN LOS ANÁLISIS DINÁMICOS DE LAS ESTRUCTURAS DE EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE PUYO”.

AUTOR: Ing. Pablo Fidel Gamboa Armijo

DIRECTOR: Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Ingeniería, sísmica y computacional.

FECHA: 13 febrero 2023

RESUMEN EJECUTIVO

En la ciudad del Puyo cuenta con una población de 36,659 habitantes en una superficie de 87.67 km², constituido con el 82 por ciento de suelo arcilloso y considerando que el Ecuador es un país de alto movimiento sísmico por encontrarse entre dos placas tectónicas la de Nascar y la de Sudamericana por lo cual el presente estudio se centró en la búsqueda de acelerogramas reales pertenecientes a eventos sísmicos cuyas características cumplen con las condiciones de magnitud, tipo de falla, la distancia al punto de falla y los efectos de suelo de la localidad de estudio, en concordancia con su sismicidad y espectralidad que se especifica en la Normativa Ecuatoriana de Construcción (NEC), además, se generaron 7 rutinas computacionales que permitieron el tratamiento, procesamiento y análisis de los mismos, a su vez los espectros escogidos se compararon con dos tipos diferentes: elásticos de diseño para un retorno sísmico de 475 y 2500 años para las edificaciones de entre 1 a 6 pisos de elevación estructural entre sus periodos fundamentales de la edificación de 0.2T y 1.5T con los cuales se obtuvieron los espectros de acelerogramas escalados que cumplieron con la normativa ecuatoriana y que a futuro estos podrán ser empleados en estudios de diseño dinámico para las estructuras de acero de varios niveles que se proyecten en la ciudad del Puyo.

Descriptor: ACELEROGRAMAS, ESPECTROS, PERIODO ESTRUCTURAL, PROCESAMIENTO, RUTINA COMPUTACIONAL.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS
METÁLICAS

THEME: “DETERMINATION OF REAL ACCELEROGRAMS FOR USE IN THE DYNAMIC ANALYSIS OF THE STRUCTURES OF BUILDINGS IN THE CITY OF PUYO”.

AUTHOR: Ing. Pablo Fidel Gamboa Armijo

DIRECTED BY: Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.

LINE OF RESEARCH: Engineering, seismic and computational.

DATE: 13 February 2023

EXECUTIVE SUMMARY

The city of Puyo has a population of 36,659 inhabitants in an area of 87.67 km², constituted with 82 percent of clay soil and considering that Ecuador is a country of high seismic movement for being between two tectonic plates, the Nascar and the South American plate, the present study was focused on the search of real accelerograms belonging to seismic events whose characteristics comply with the conditions of magnitude, type of fault, distance to the fault point and soil effects of the study locality, according to its seismicity and seismicity, the distance to the point of failure and the soil effects of the study locality, in accordance with its seismicity and spectrality specified in the Ecuadorian Construction Norm (NEC), in addition, 7 computational routines were generated that allowed the treatment, processing and analysis of the same, in turn the chosen spectra were compared with two different types: design elastics for a seismic return of 475 and 2500 years for buildings of between 1 to 6 stories of structural elevation between their fundamental periods of the building of 0.2T and 1.5T with which scaled accelerogram spectra were obtained that complied with Ecuadorian regulations and that in the future could be used in dynamic design studies for multilevel steel structures to be projected in the city of Puyo.

Keywords: ACCELEROGRAMS, SPECTRA, STRUCTURAL PERIOD, PROCESSING, COMPUTATIONAL ROUTINE.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

Localizada en la provincia de Pastaza la ciudad del Puyo tiene un crecimiento poblacional de 3.46% [1], es uno de los asentamientos humanos más importantes zona amazónica pues es un punto estratégico de unión entre la sierra y la región oriental del país, con un total de 36,659 habitantes en una superficie de 87.67 km². Su suelo está constituido por el 82% del tipo arcilloso [2] y su conformación estructural en elevación es de entre 1 a 6 pisos. El rápido crecimiento urbano de la ciudad demanda la implementación de planificaciones territoriales que contemplen información proveniente de estudios técnicos en cuanto a diseños estructurales en las edificaciones.

En la construcción, una de las metodologías utilizadas para el desarrollo de diseños estructurales se basa en el estudio de acelerogramas, que son los registros de la aceleración del terreno a causa de un evento sísmico. La selección de estos acelerogramas se deben realizar considerando que los parámetros sismológicos y espectros de respuesta [3] mantengan similitud con aquellos que podrían generarse en los sitios de estudio propuestos, y que además, cumplan con la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

A nivel mundial existen bases de datos que recopilan información de eventos sísmicos y que son de acceso abierto. Una de estas bases se encuentra en el sitio web de *Pacific Earthquake Engineering Research Center PEER* [4], la *NGA-East database* se constituye como la más grande base de datos registrados y procesados de los movimientos de tierra de la región continental estable de la mayor parte de Estados Unidos y Canadá, consta de más de 27,000 series de registros de terremotos en 1,271 estaciones de monitoreo e incluye las series de tiempo-aceleración [4].

El análisis de los acelerogramas para los estudios de análisis comparativos se puede llevar a cabo con la ayuda de diferentes herramientas computacionales o softwares

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS
METÁLICAS

TEMA: “DETERMINACIÓN DE ACELEROGRAMAS REALES PARA SU EMPLEO EN LOS ANÁLISIS DINÁMICOS DE LAS ESTRUCTURAS DE EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE PUYO”.

AUTOR: Ing. Pablo Fidel Gamboa Armijo

DIRECTOR: Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Ingeniería, sísmica y computacional.

FECHA: 13 febrero 2023

RESUMEN EJECUTIVO

En la ciudad del Puyo cuenta con una población de 36,659 habitantes en una superficie de 87.67 km², constituido con el 82% de suelo arcilloso y considerando que el Ecuador es un país de alto movimiento sísmico por encontrarse entre dos placas tectónicas la de Nascar y la de Sudamericana por lo cual el presente estudio se centró en la búsqueda de acelerogramas reales pertenecientes a eventos sísmicos cuyas características cumplen con las condiciones de magnitud, tipo de falla, la distancia al punto de falla y los efectos de suelo de la localidad de estudio, en concordancia con su sismicidad y spectralidad que se especifica en la Normativa Ecuatoriana de Construcción (NEC), además, se generaron 7 rutinas computacionales que permitieron el tratamiento, procesamiento y análisis de los mismos, a su vez los espectros escogidos se compararon con dos tipos diferentes: elásticos de diseño para un retorno sísmico de 475 y 2500 años para las edificaciones de entre 1 a 6 pisos de elevación estructural entre sus periodos fundamentales de la edificación de 0.2T y 1.5T con los cuales se obtuvieron los espectros de acelerogramas escalados que cumplieron con la normativa ecuatoriana y que a futuro estos podrán ser empleados en estudios de diseño dinámico para las estructuras de acero de varios niveles que se proyecten en la ciudad del Puyo.

Descriptores: ACELEROGRAMAS, ESPECTROS, PERIODO ESTRUCTURAL, PROCESAMIENTO, RUTINA COMPUTACIONAL.

que utilizan lenguaje de programación como lo son Etabs, Ram o Matlab [5]. Los acelerogramas utilizados en el presente estudio se recolectaron de la base de movimiento de tierra de PEER y se procesaron de acuerdo con lo establecido en la normativa ecuatoriana, mediante la programación de rutinas computacionales utilizando el programa Matlab versión estudiantil.

Los espectros de los acelerogramas escogidos se compararon con los espectros elástico de diseño para retornos sísmicos de 475 años y 2500 años entre los periodos de $0.5T$ y $1.5T$ [6] de estructuras de acero que contenga un periodo fundamental estructural de entre 1.5s a 7.5s. Asimismo, se obtuvo los factores de escalamiento para que estos puedan ser empleados en estudios dinámicos.

1.2. Justificación

El Ecuador es un país de alto movimiento sísmico debido a su locación geográfica entre dos placas tectónicas, la de Sudamérica y la placa tectónica de Nascar [7], la subducción continua de una de ellas con respecto a la otra conlleva a que exista variabilidad de las intensidades y frecuencias de los movimientos sísmicos, justificando la necesidad de que se desarrolle estudios ingenieriles de las estructuras de las edificaciones construidas en el país y más aún cuando estas edificaciones son de uso masivo. Estudios similares son de uso habitual en países como Colombia y Chile, que presentan también actividad altamente sísmica [3]. Para realizar este tipo de estudios de las estructuras metálicas de las edificaciones es fundamental que la información sísmica real haya sido previamente depurada, por esta razón en el presente trabajo se plantea realizar una determinación de acelerogramas compatibles con la localidad de estudio de la ciudad de Puyo y que en posteriores estudios pueda ser utilizada en los análisis dinámicos de las estructuras metálicas.

Los datos de patrones sísmicos de diferentes países son recolectados por diferentes fuentes, y en este estudio se utilizarán los datos compatibles con la localidad de la ciudad de Puyo, específicamente recolectados en el sitio web de *Pacific Earthquake Engineering Research Center PEER* [4]. La metodología que se utilizará ha sido sugerida previamente por A. B. Acevedo [3] y los resultados constituirán la base para

los consecuentes análisis dinámicos de los edificios construidos en la ciudad de Puyo, además de ser referente a nivel nacional.

1.3. Objetivos

1.1.1. General

Elaborar una base de datos depurada de acelerogramas, provenientes de sismos reales para la ciudad del Puyo.

1.1.2. Específicos

- Recopilar datos de acelerogramas para la localidad de estudio.
- Generar las rutinas de computación que facilite la selección de los datos de los acelerogramas.
- Procesar los datos de los acelerogramas y compendiarlos en una base de datos.

CAPITULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En Estados Unidos y Japón se aprecia un notable número de estudios de sus edificaciones y el comportamiento de estas ante las actividades sísmicas [8]. Parte de estos estudios utilizan la metodología de diseño por concepto de cargas donde se ha empleado acelerogramas para determinar las capacidades de las construcciones [9]. Es importante recalcar que para la generación de acelerogramas utilizables en los estudios de las estructuras, de manera general, están siendo utilizados registros reales [10], como en la ciudad de México, donde se ha categorizado sismos generados durante eventos de subducción para su empleo en análisis de ductilidad y del espectro de respuesta [11]. El uso de registros sísmicos reales permite mejores conclusiones en los estudios, sin embargo, no todos los registros poseen la misma relevancia, por lo cual de entre los sismos reales es necesario determinar aquellos que cumplan con las condiciones necesarias para utilizarlos posteriormente en el análisis de las estructuras [12], como en el estudio realizado en Argentina que destaca los procedimientos de selección de acelerogramas para estudios de fragilidad de puentes [13], o el estudio realizado en Brasil sobre la selección de acelerogramas sísmicos donde los registros de acelerogramas son compatibles para el lugar de estudio, en este caso, para el margen continental de la región Sudeste de Brasil [14]. La depuración de las extensas bases de datos de las actividades sísmicas locales ha permitido que se profundicen las investigaciones de análisis dinámicos, pues no solo las características de ubicación y magnitud son importantes si no la intensidad de arias y duración significativa [15]. Las propagaciones de las ondas derivadas de los sismos dependen de varios factores, en el caso de estudio de un análisis dinámico no lineal de edificios de acero destaca la influencia del tipo de suelo y la interacción de este con la estructura metálica [16]. En estudios similares también se respalda esta idea, como el llevado a cabo en México que determina los espectros de respuesta considerando daño acumulado e interacción suelo-estructura [6]. Sin embargo, la paleta de factores influyentes para la depuración de datos es amplia, como la llevada a cabo durante la evaluación integral de estructuras metálicas dañadas por sismos de gran magnitud que remarca que el lugar de generación del evento sísmico es fundamental [17], así como la utilización de las componentes

verticales y las horizontales de los sismos suscitados en la cercanía [18]. Dejando de lado los factores intrínsecos de los eventos sísmicos, la estructura en sí juega un rol notable y la variabilidad de ésta determina su comportamiento durante los movimientos bruscos del suelo [19]. Así, también concluyen las evaluaciones realizadas del comportamiento dinámico de bloques rígidos simétricos por volteo que han empleado acelerogramas del sitio [20], o los análisis de desempeño de estructuras de acero con arriostramientos concéntricos [21] y estudios de estructuras metálicas con aisladores de FPS de primera y segunda generación y elastoméricos con núcleo de plomo, es decir, sistemas de protección que ayudan a mitigar los efectos de los sismos [22]. La evidencia señala que el campo investigativo es amplio y que ha mejorado sus resultados al obtener comportamientos más realistas de las estructuras cuando se han empleado acelerogramas verdaderos de los sismos con sus réplicas [23], considerando, que en la actualidad existe la capacidad de realizar análisis dinámicos comparativos de las estructuras, tras un evento sísmico a causa de subducción o a causa de falla normal [24]. Para la determinación de los acelerogramas relevantes que serán utilizados para estudios posteriores existen bases y criterios sismológicos que concuerdan con las diferentes realidades locales [3], [25]. Algunos de estos criterios que se han tomado en cuenta al momento de determinar los acelerogramas son: cercanos al epicentro, los registros NG, y movimientos sísmicos de banda angosta [26], sin embargo, al momento de tomar la decisión de los criterios a usar, estos deben estar adaptados a realidades locales, es decir considerando también la normativa Ecuatoriana de la Construcción [27].

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

El presente estudio se realizará en relación a la ciudad de Puyo, en la provincia de Pastaza.

3.2. Equipos y materiales

Se recopiló información del sitio web de *Pacific Earthquake Engineering Research Center PEER* [4] y se utilizó el lenguaje de programación Matlab versión estudiantil.

3.3. Tipo de investigación

La investigación es de tipo no experimental descriptivo, con enfoque cualitativo que describe e identifica los tipos de acelerogramas reales que pueden ser utilizados en la ciudad del Puyo.

3.4. Población o muestra

Se recopiló información del sitio web de *Pacific Earthquake Engineering Research Center PEER* [4] que cumplan con las características de la localidad de la ciudad del Puyo, con magnitudes representativas.

3.5. Recolección de información

Se seleccionó los acelerogramas basados en sus parámetros sismológicos y espectrales. Todos cumplen con los criterios siguientes.

- Los acelerogramas se deben obtener de un mínimo de tres eventos sísmicos [6].

- Para que los acelerogramas cumplan con las características de magnitud, distancia a la falla, mecanismos focales y efectos de suelo, en concordancia con la normativa ecuatoriana, se deben tomar en cuenta las siguientes condiciones:
 - a) Las magnitudes serán entre los rangos de 5 a 9 en escala de Richter [28].
 - b) El tipo de falla considerada será la de Farallón o falla inversa [29].
 - c) La distancia al punto de falla estará entre 130km a 300km [29].
 - d) Los efectos típicos de un suelo arcilloso [2] del tipo E con velocidades de onda de corte menores de 180m/s [6] .
- Obtener ambas componentes de los acelerogramas para incluir los efectos de torsión en los análisis [6].

3.6. Procesamiento de la información y análisis estadístico

Los acelerogramas seleccionados de la base de datos fueron tratados para la limpieza del ruido, de acuerdo con el filtro Butterworth de orden $N=4$, para las frecuencias $f_1=0.1\text{Hz}$ - $f_2=0.20\text{Hz}$, según R. A. Jorquera [30].

Los acelerogramas corregidos fueron evaluados con rutinas computacionales programadas hasta obtener los espectros escalados. En cumplimiento con los siguientes criterios:

- Los espectros de los acelerogramas se generaron mediante el método de Chopra [31], considerando una fracción de amortiguamiento del 5% [6].
- El escalamiento de los acelerogramas se realizó de tal forma que, el valor promedio de los espectros provenientes de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los espectros de los registros no se encuentre por debajo del espectro de diseño amortiguado el 5% para periodos entre $0.2T$ y $1.5T$ [6]. Lo espectros resultantes se los comparó con los espectros de diseño elástico para un retorno sísmico de 475 años y 2500 años, de edificaciones metálicas arriostradas o no arriostradas entre 1 a 6 pisos.

La información recopilada está almacenada en formato digital y se adjunta al presente escrito.

3.7. Variables respuesta o resultados alcanzados

Se obtuvo una base de datos de los acelerogramas reales que cumplen los criterios de la localidad de la ciudad del Puyo.

Se desarrolló rutinas de programación para el procesamiento de los acelerogramas y de sus espectros.

Se obtuvo los espectros escalados de los acelerogramas reales y se comparó con los espectros elásticos de diseño para su empleo en diseños estructurales.

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1, se puede apreciar los cinco eventos sísmicos seleccionados que cumplen con las condiciones sismológicas de la ciudad del Puyo.

PARÁMETROS SISMOLÓGICOS						
Evento sísmico	año	Estación	Mecanismo focal	Magnitud	Distancia a la falla (Km)	Efectos de suelo Vs30 (m/s)
Chi-Chi, Taiwan 05	1999	KAU045	Inversa	6.20	152.06	150.18
Chi-Chi, Taiwan 06	1999	KAU045	Inversa	6.30	144.36	150.18
Chuetsu-oki, Japon	2007	ISK007	Inversa	6.80	130.59	133.05
Iwate, Japon	2008	AOMH13	Inversa	6.90	159.62	154.27
Niigata, Japon	2004	IBRH10	Inversa	6.63	159.21	144.14

Tabla 1. Eventos sísmicos seleccionados.

Desde la figura 1 a la 10, se puede apreciar las componentes norte-sur (NS), este-oeste (EW) de los acelerogramas, velocidad e incluso desplazamiento obtenidos con la rutina computacional del anexo 2 para los eventos sísmicos Chichi 05 de la estación KAU045, Chichi 06 de la estación KAU045, Chuetsu de la estación ISK007, Iwate de la estación AOMH13 y Niigata de la estación IBRH10, antes y después de ser sometido al proceso de eliminación de frecuencias innecesarias menores a $f_1=0.1\text{Hz}$ y mayores $f_2=0.20\text{Hz}$ con el filtro Butterworth.

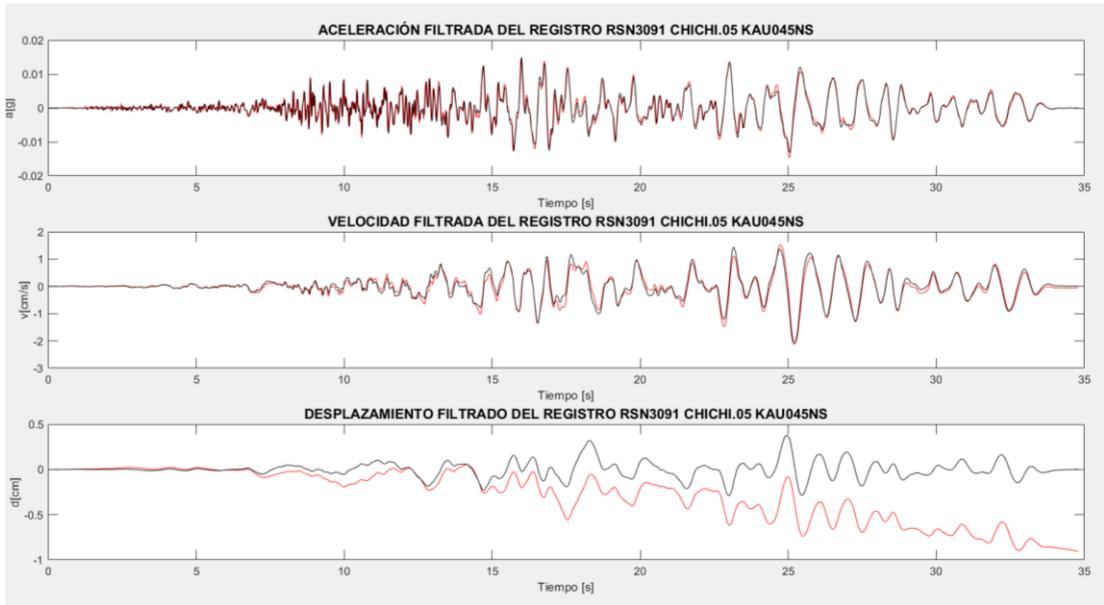


Figura 1. Componente norte-sur (NS) del evento sísmico Chichi 05.

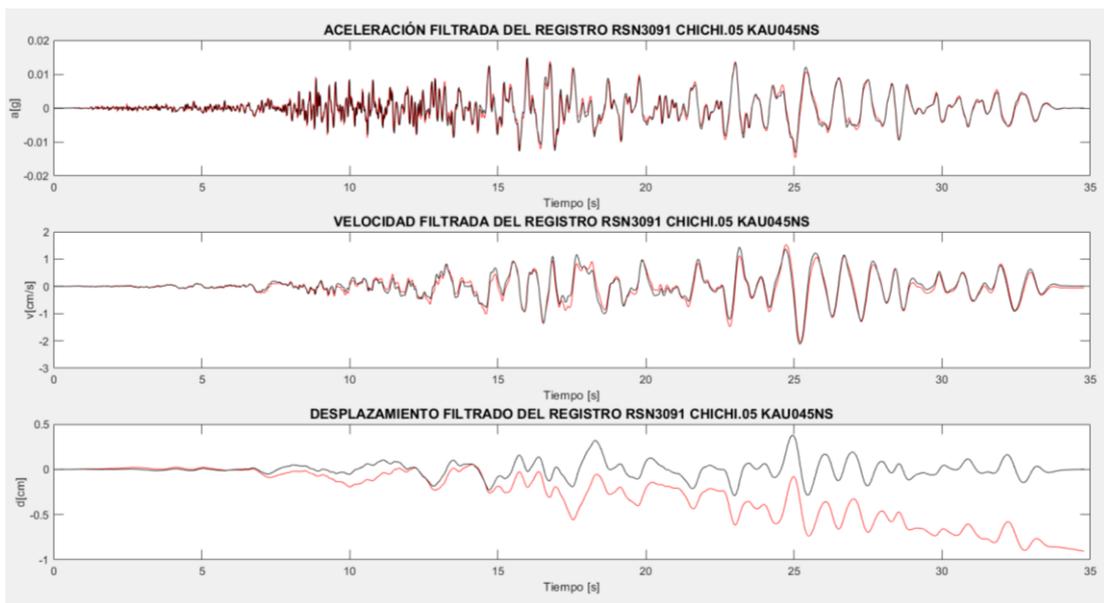


Figura 2. Componente este-oeste (EW) del evento sísmico Chichi 05.

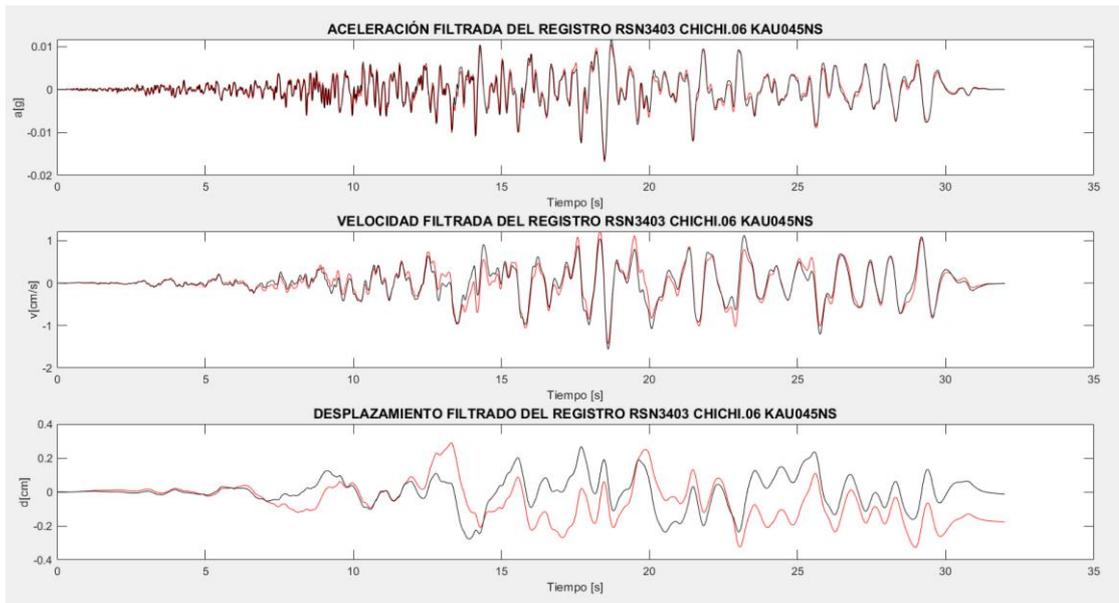


Figura 3. Componente norte-sur (NS) del evento sísmico Chichi 06.

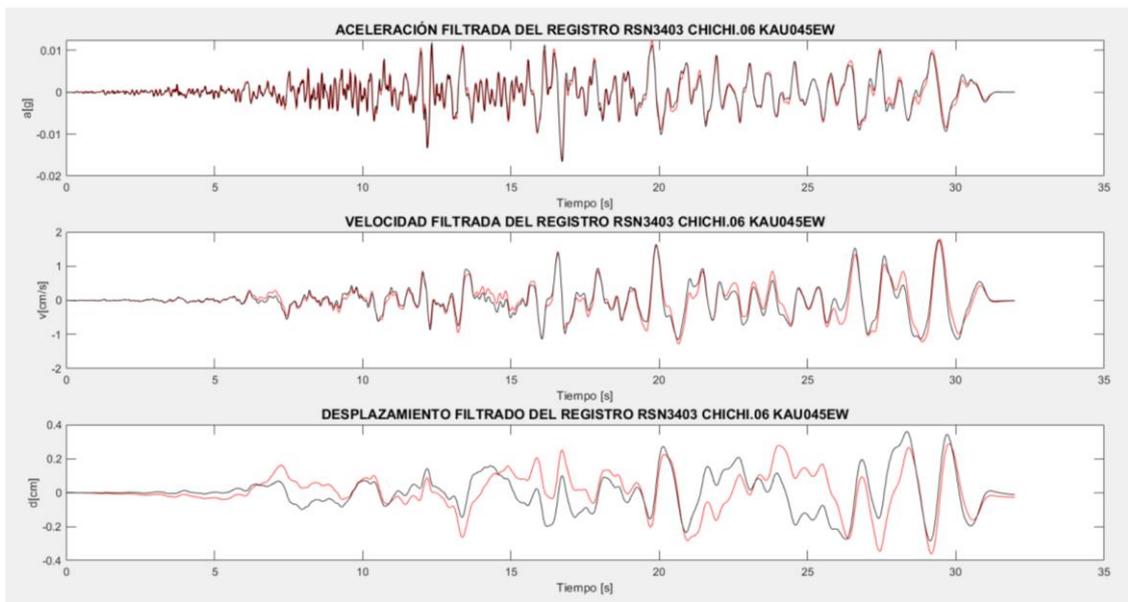


Figura 4. Componente este-oeste (EW) del evento sísmico Chichi 06.

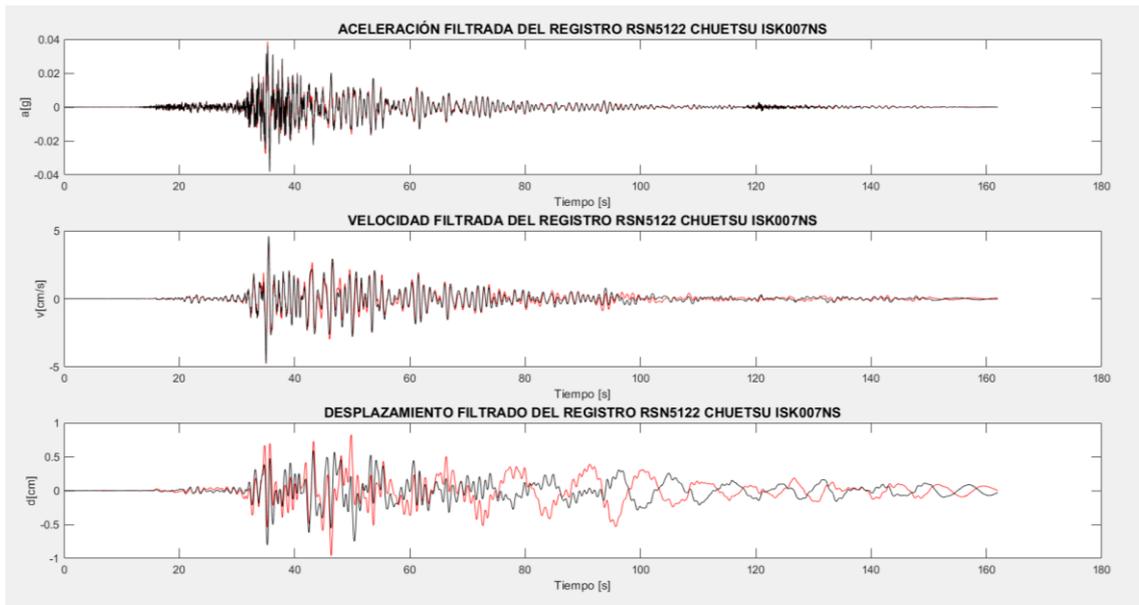


Figura 5. Componente norte-sur (NS) del evento sísmico Chuetsu.

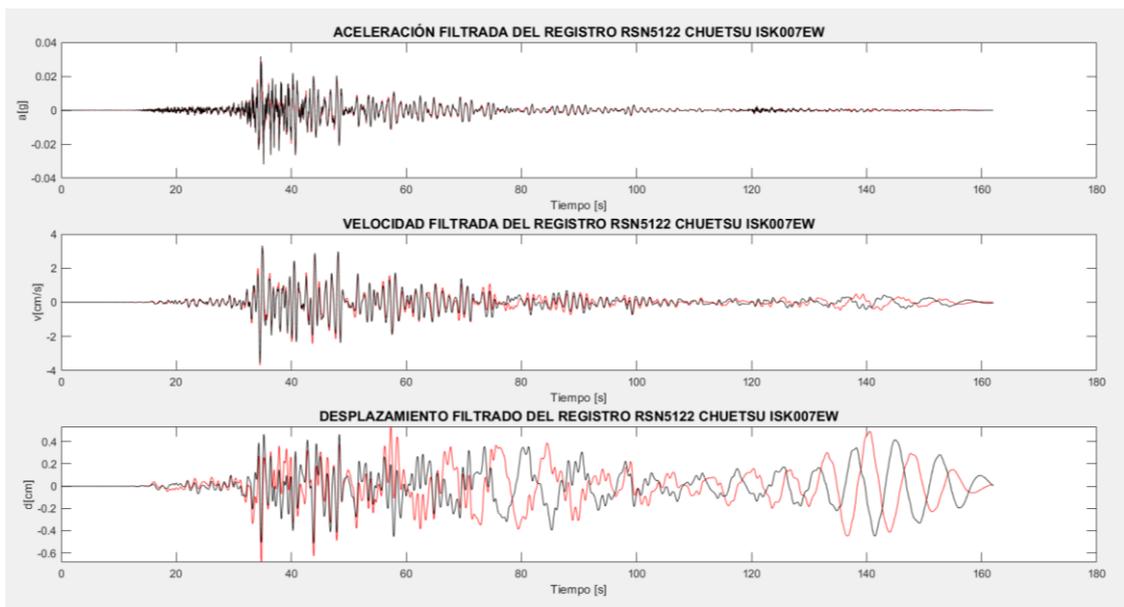


Figura 6. Componente este-oeste (EW) del evento sísmico Chuetsu.

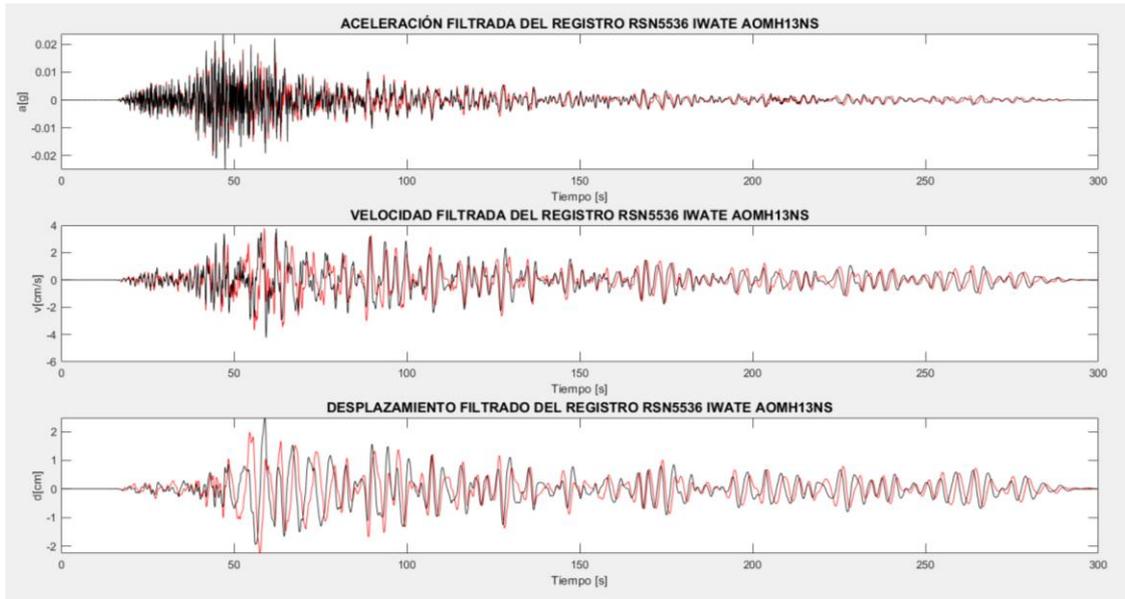


Figura 7. Componente norte-sur (NS) del evento sísmico Iwate.

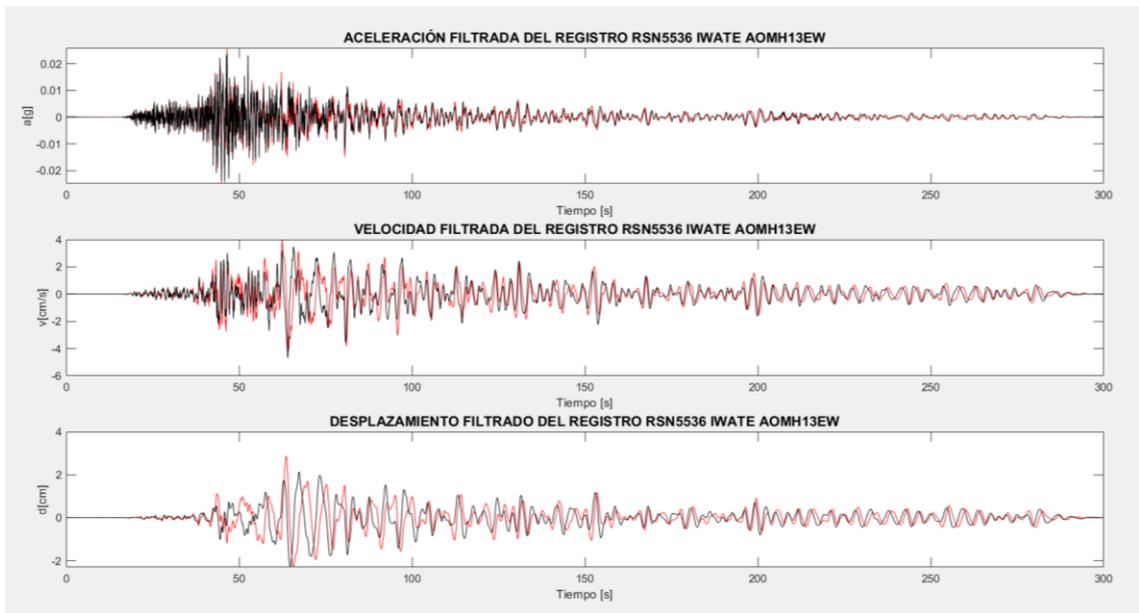


Figura 8. Componente este-oeste (EW) del evento sísmico Iwate.

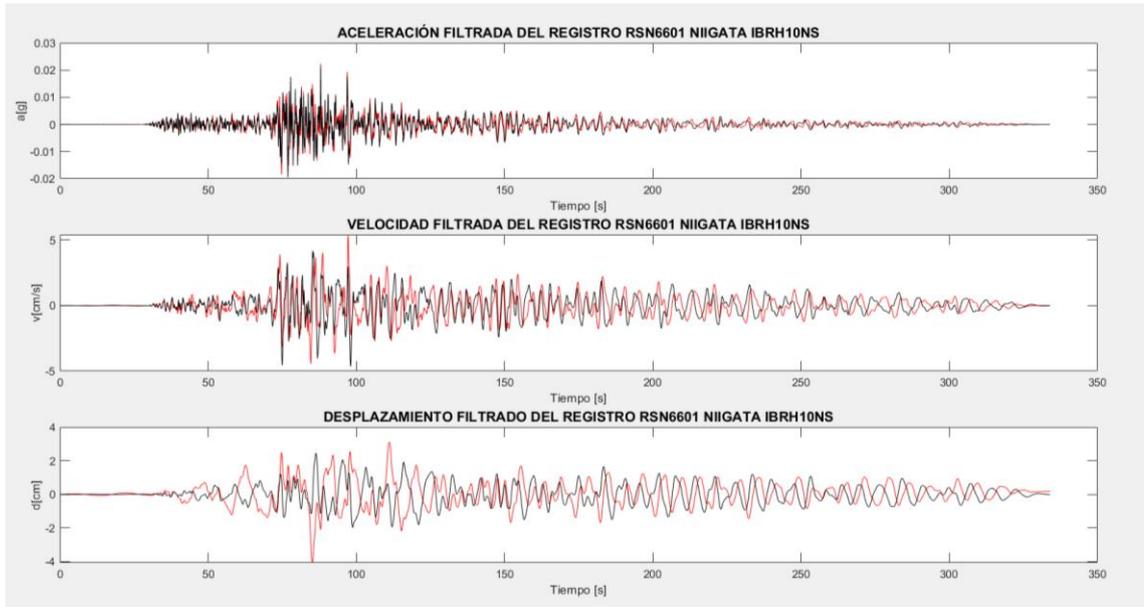


Figura 9. Componente norte-sur (NS) del evento sísmico Niigata.

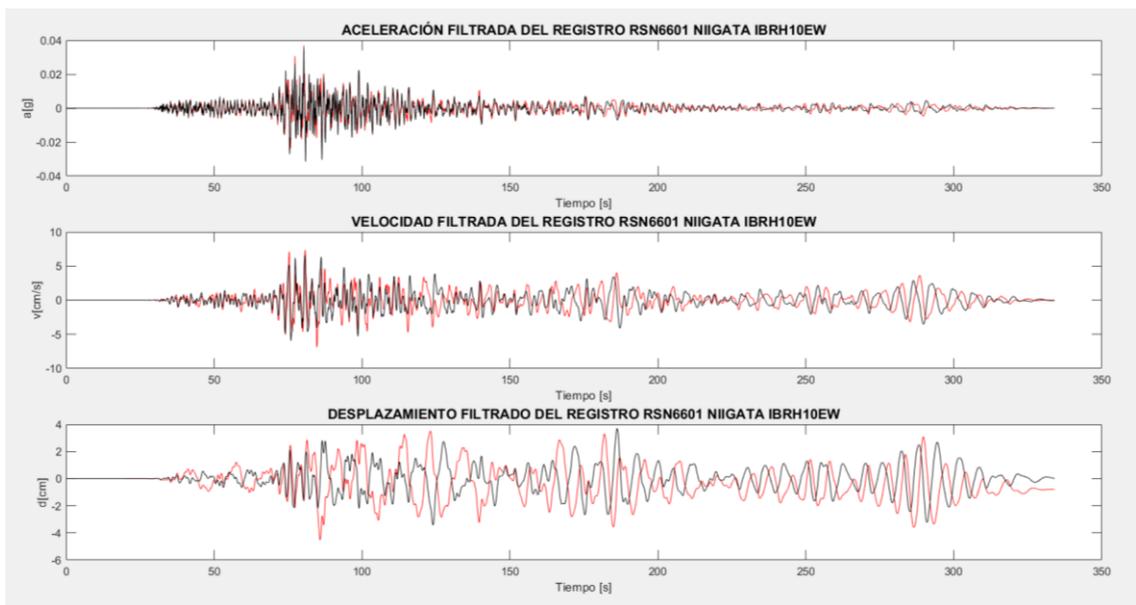


Figura 10. Componente este-oeste (EW) del evento sísmico Niigata.

Desde la figura 11 a la 20, se puede observar la componente norte-sur (NS), este-oeste (EW) de los espectros de los acelerogramas, obtenido con la rutina computacional del anexo 4 para los eventos sísmicos Chichi 05 de la estación KAU045, Chichi 06 de la estación KAU045, Chuetsu de la estación ISK007, Iwate de la estación AOMH13 y Niigata de la estación IBRH10 con el método de interpolación de Chopra.

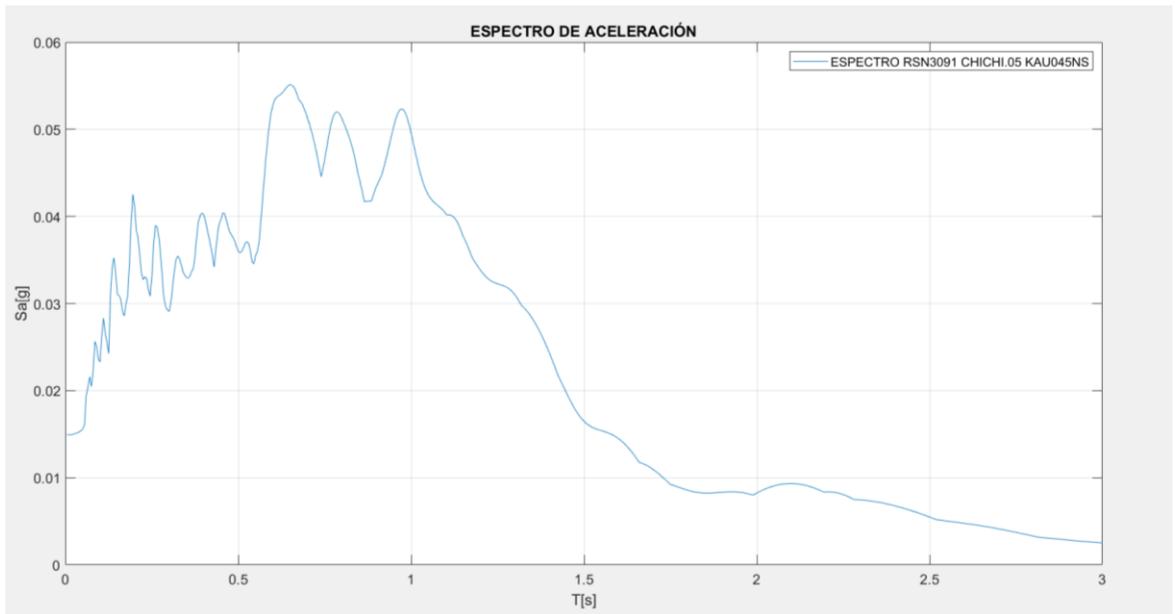


Figura 11. Componente norte-sur (NS) espectral del evento sísmico Chichi 05.

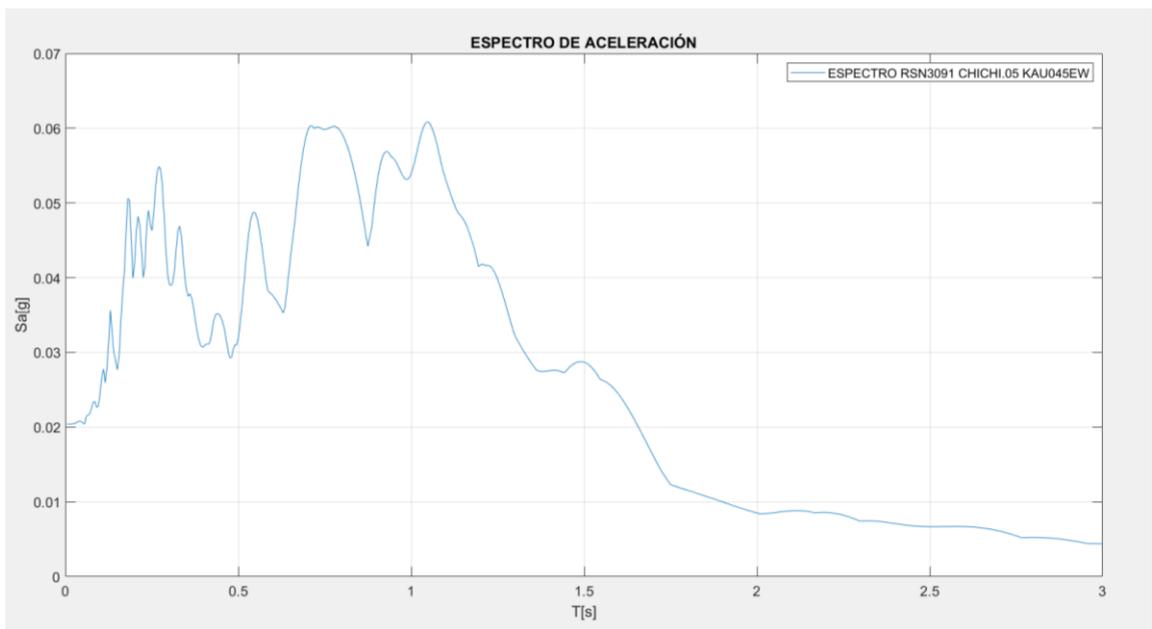


Figura 12. Componente este-oeste (EW) espectral del evento sísmico Chichi 05.

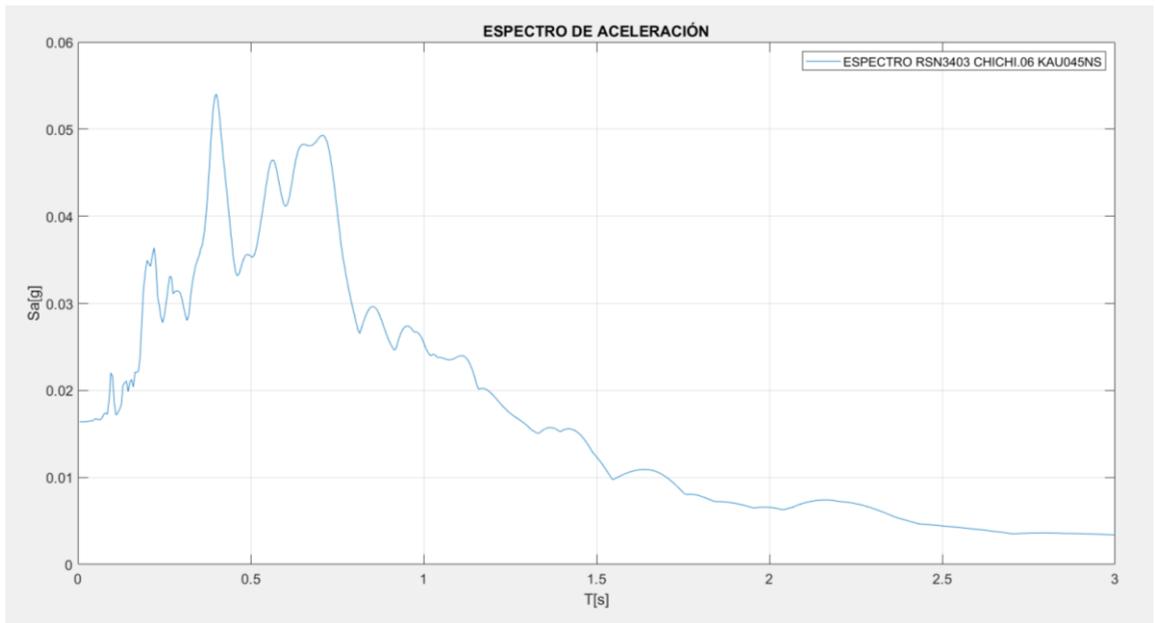


Figura 13. Componente norte-sur (NS) espectral del evento sísmico Chichi 06.

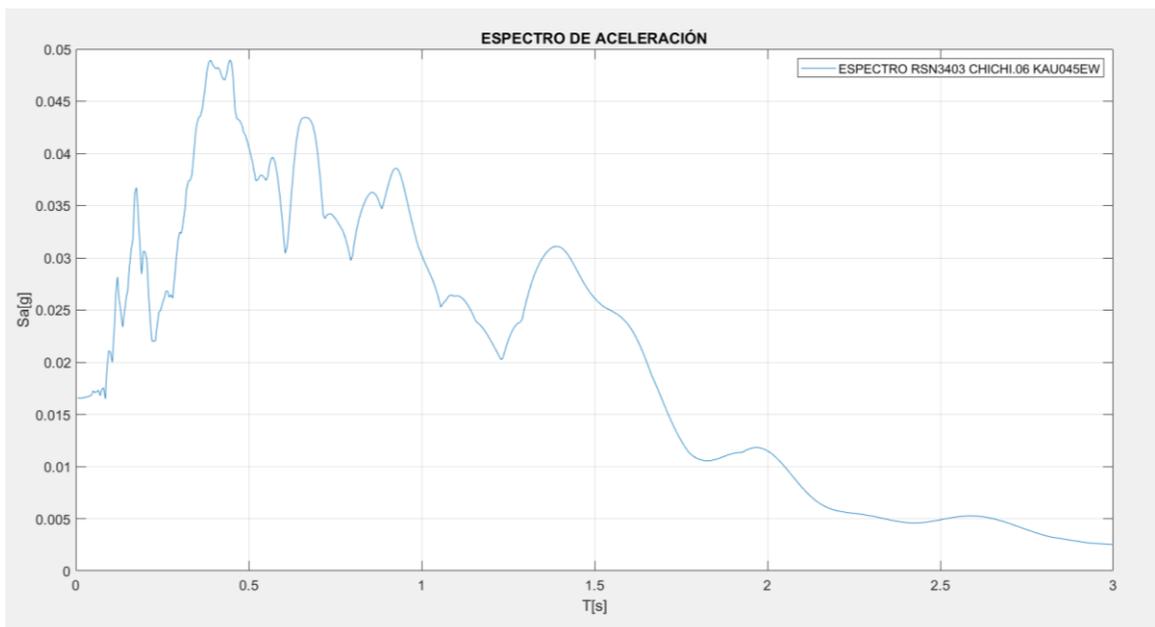


Figura 14. Componente este-oeste (EW) espectral del evento sísmico Chichi 06.

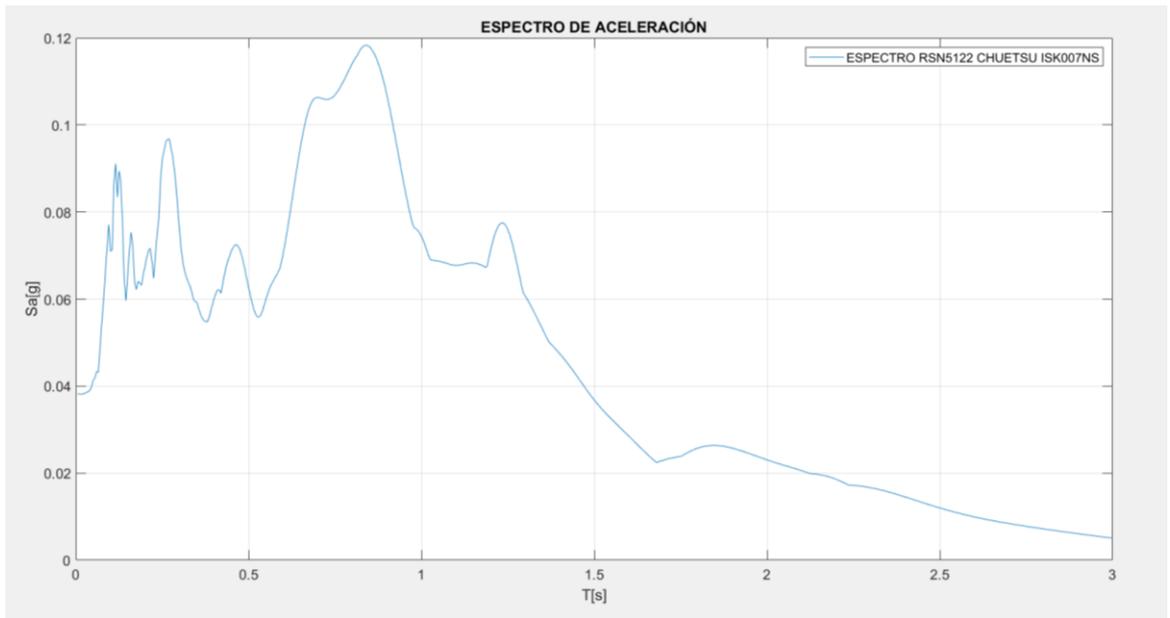


Figura 15. Componente norte-sur (NS) espectral del evento sísmico Chuetsu.

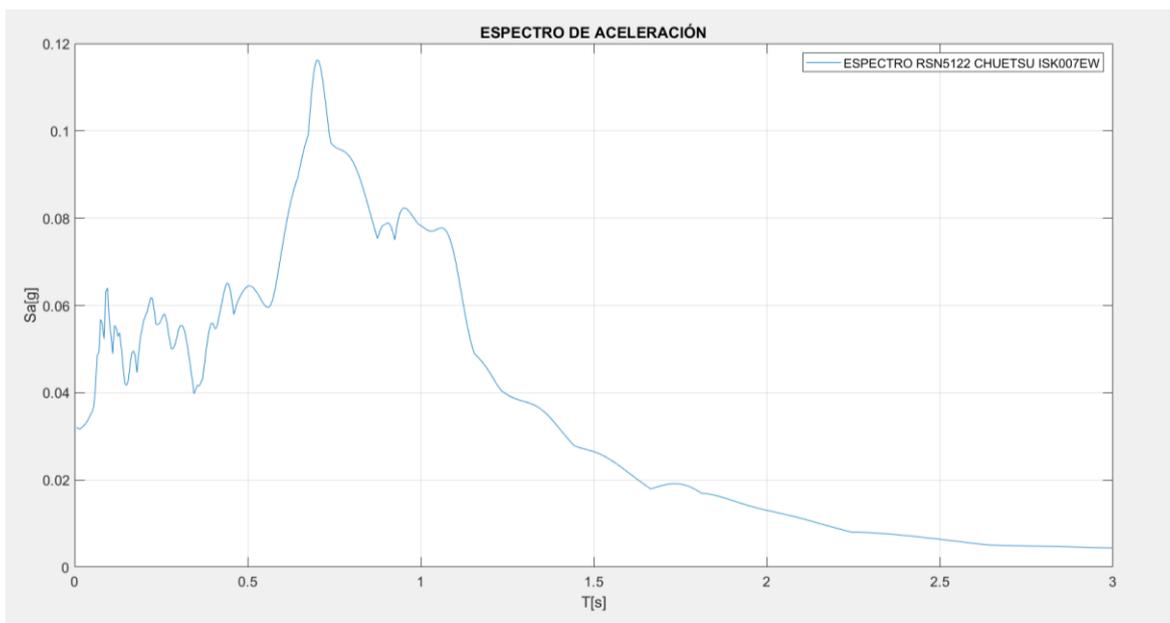


Figura 16. Componente este-oeste (EW) espectral del evento sísmico Chuetsu.

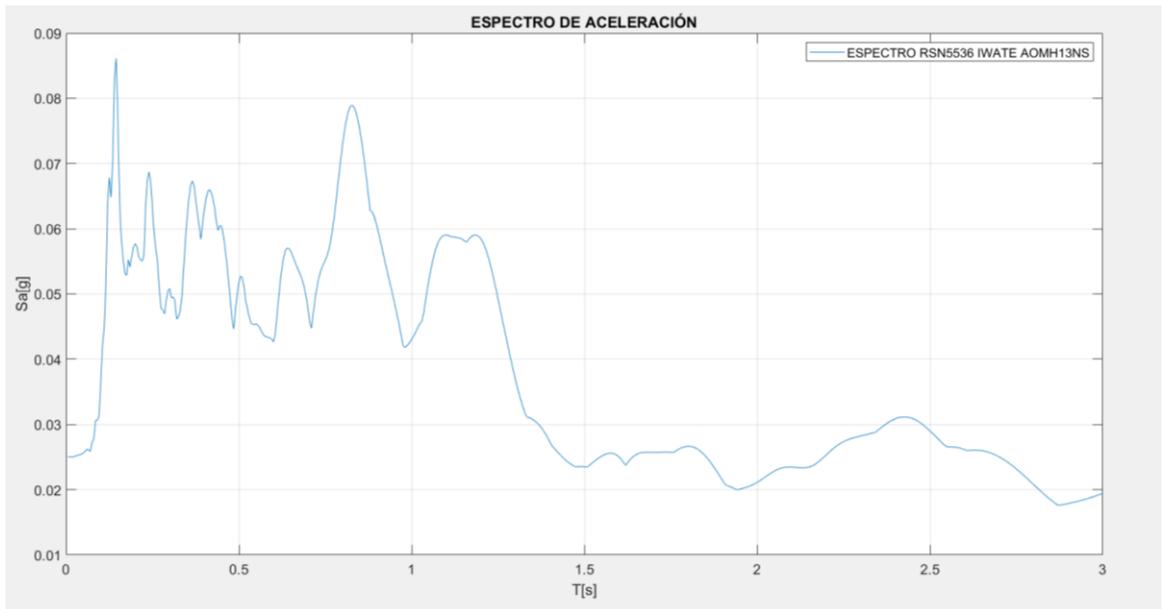


Figura 17. Componente norte-sur (NS) espectral del evento sísmico Iwate.

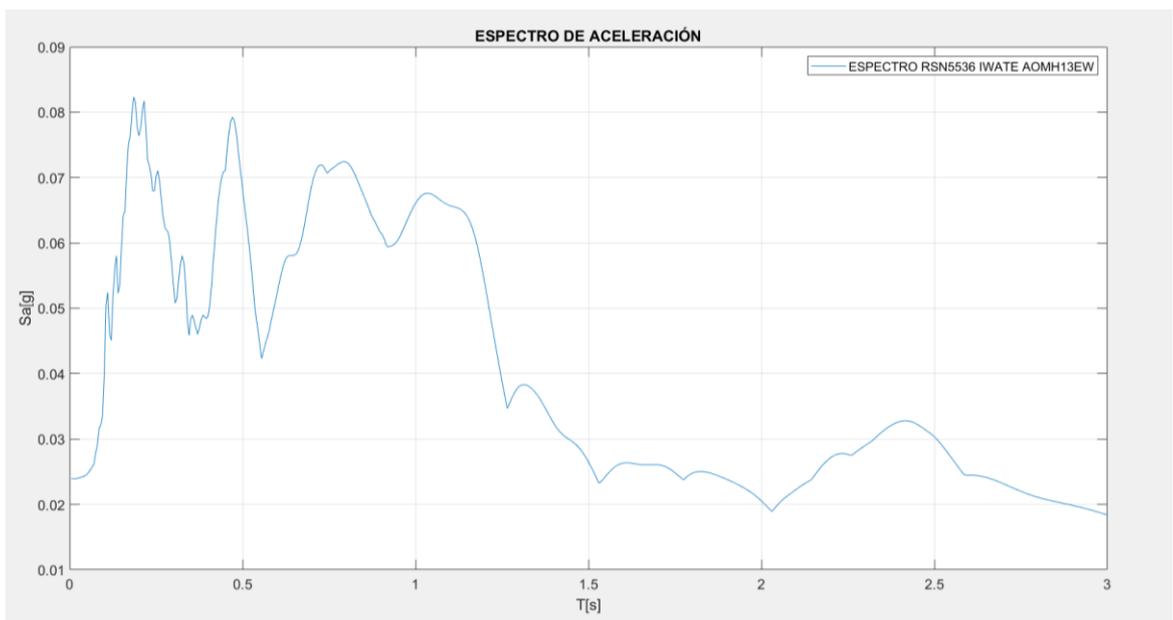


Figura 18. Componente este-oeste (EW) espectral del evento sísmico Iwate.

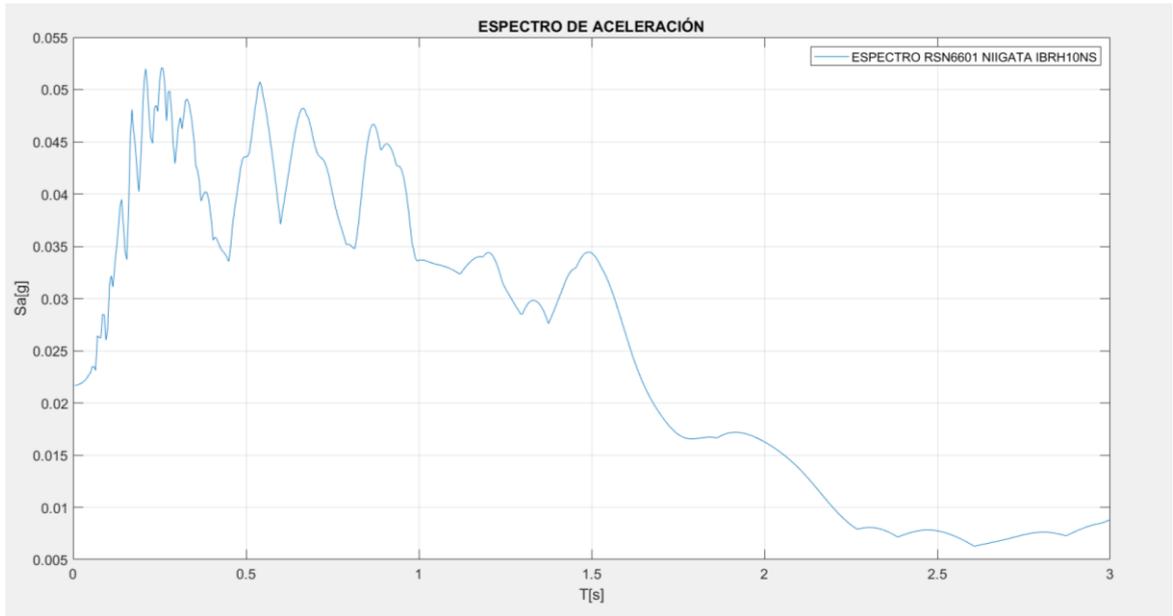


Figura 19. Componente norte-sur (NS) espectral del evento sísmico Niigata.

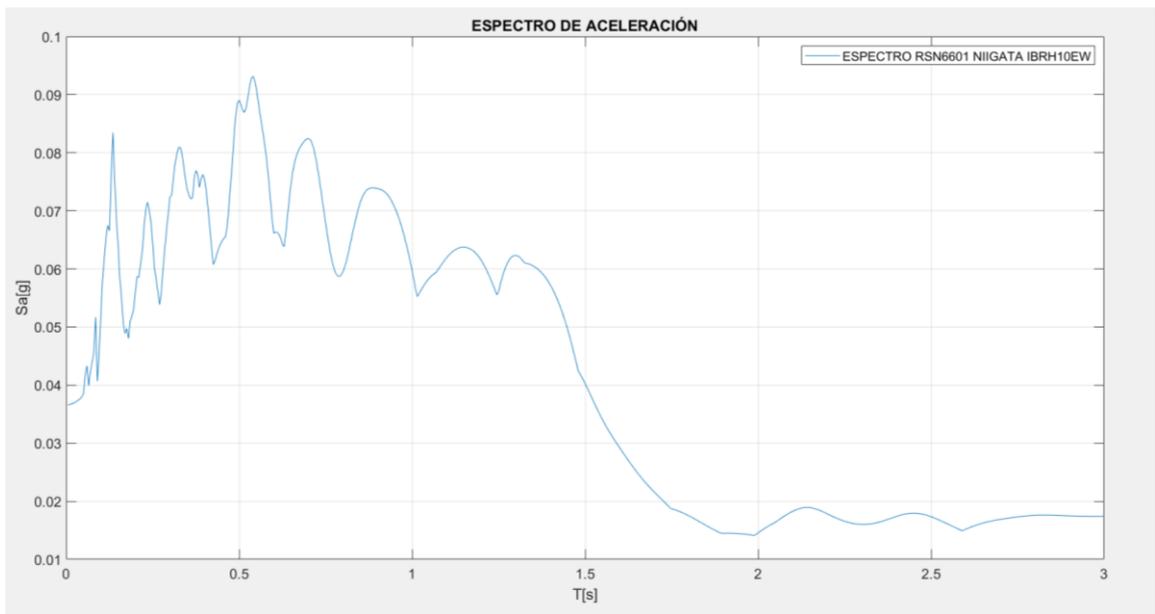


Figura 20. Componente este-oeste (EW) espectral del evento sísmico Niigata.

Desde la figura 21 a la 25, se puede considerar las componentes SRSS de los espectros de la aceleración generadas con el anexo 4 para los eventos sísmicos Chichi 05 de la estación KAU045, Chichi 06 de la estación KAU045, Chuetsu de la estación ISK007, Iwate de la estación AOMH13 y Niigata de la estación IBRH10, con el método de la resultante de la raíz cuadrada de sumatoria de los cuadrados de las componentes norte-sur (NS), este-oeste (EW).

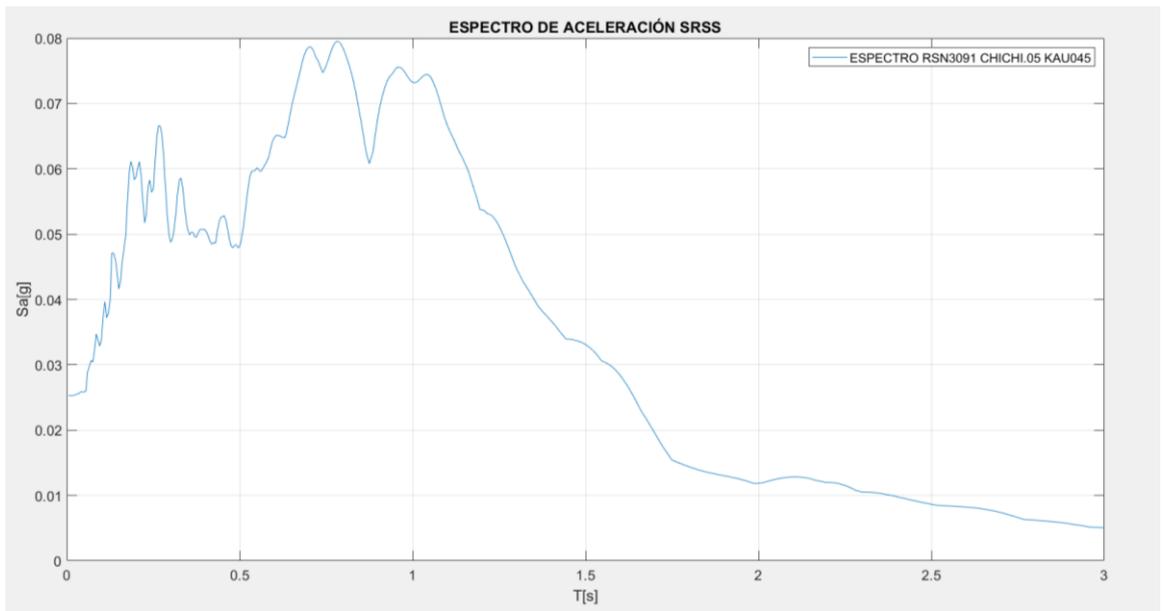


Figura 21. Componente SRSS del espectro de aceleración del evento sísmico Chichi 05.

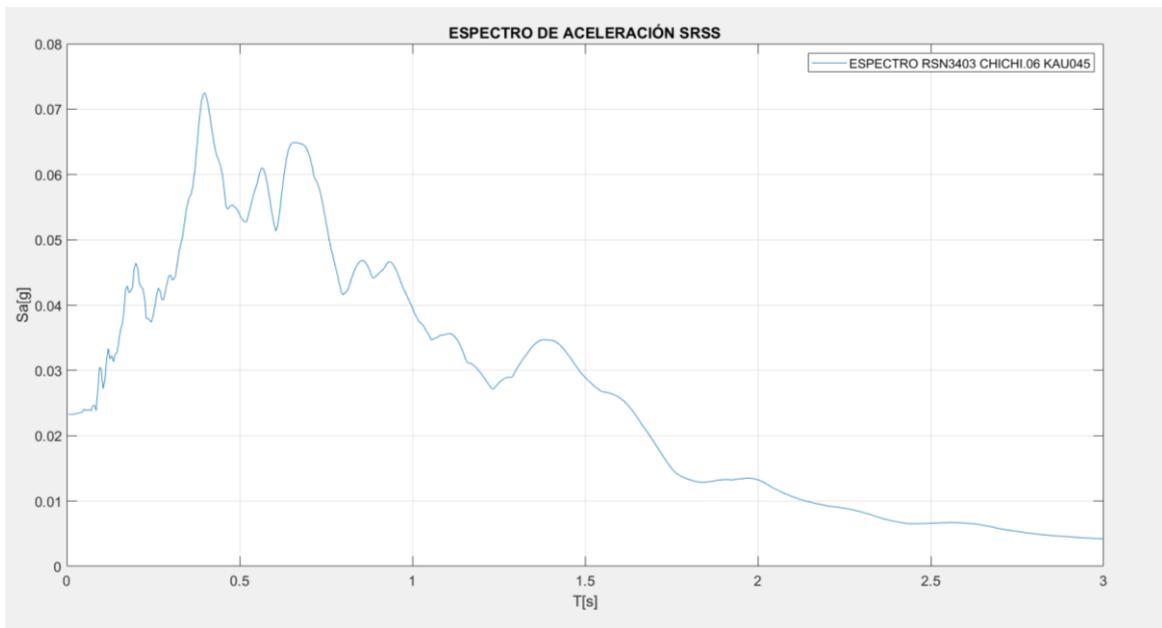


Figura 22. Componente SRSS del espectro de aceleración del evento sísmico Chichi 06.

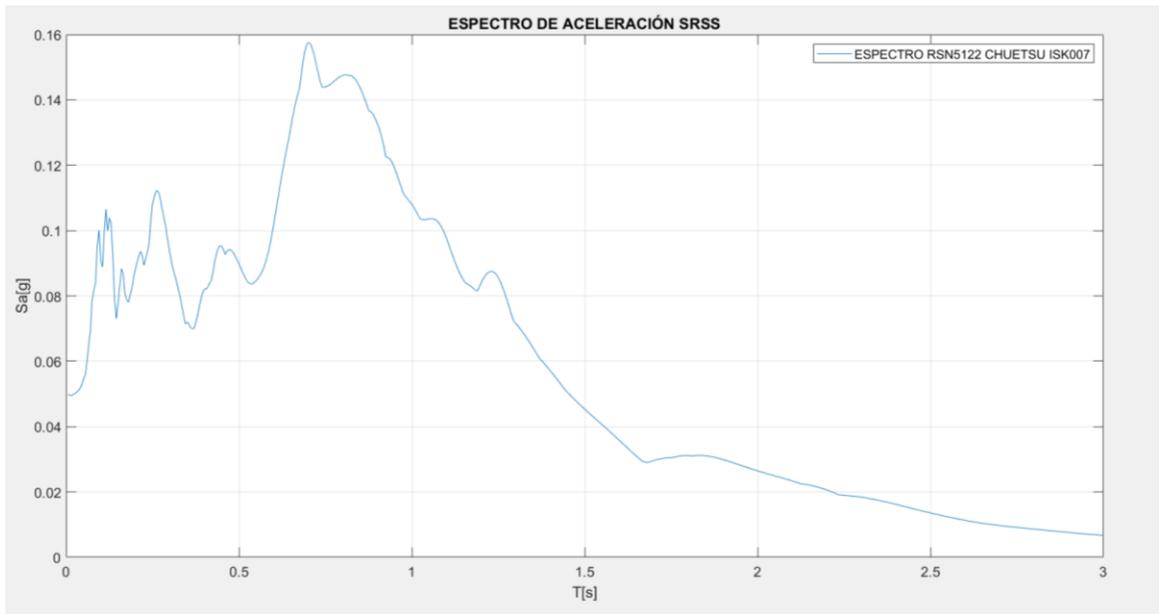


Figura 23. Componente SRSS del espectro de aceleración del evento sísmico Chuetsu.

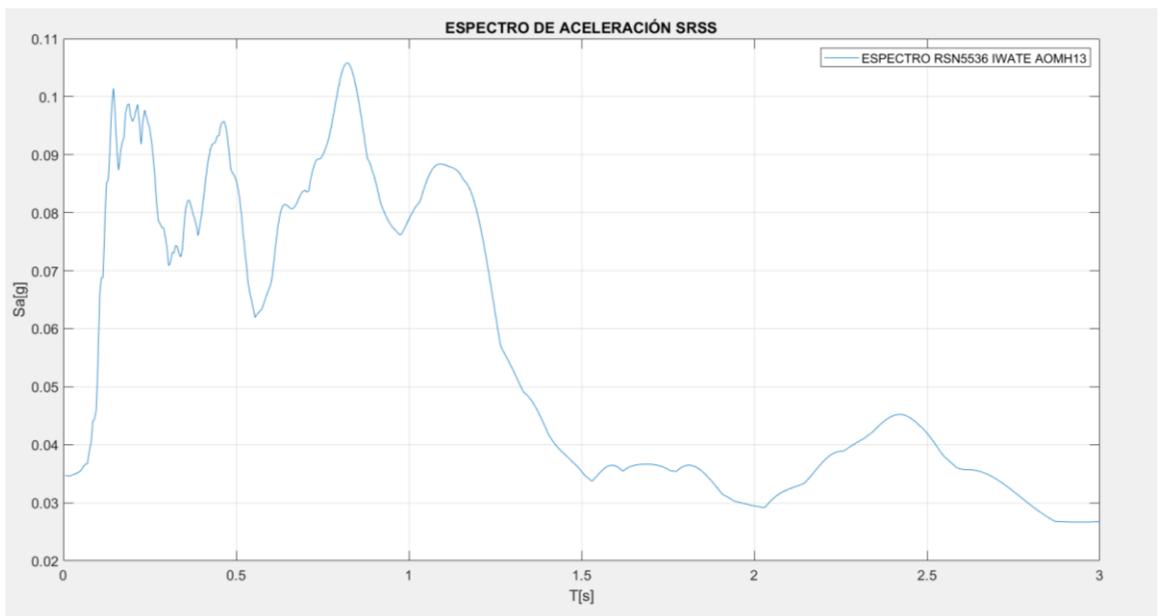


Figura 24. Componente SRSS del espectro de aceleración del evento sísmico Iwate.

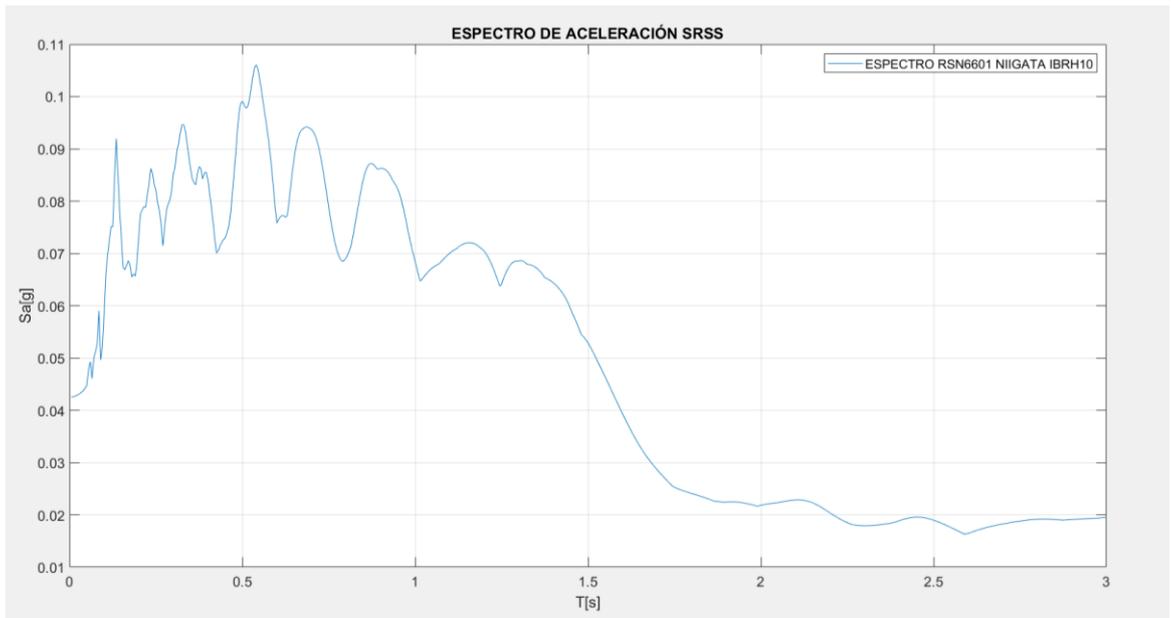


Figura 25. Componente SRSS del espectro de aceleración del evento sísmico Niigata.

Desde la figura 26 a la 27, se puede precisar el espectro elástico de diseño elaborados con las rutinas de los anexos 5 - 6 para los retornos sísmicos de 475 años - 2500 años para la localidad del Puyo con un suelo de categoría E.

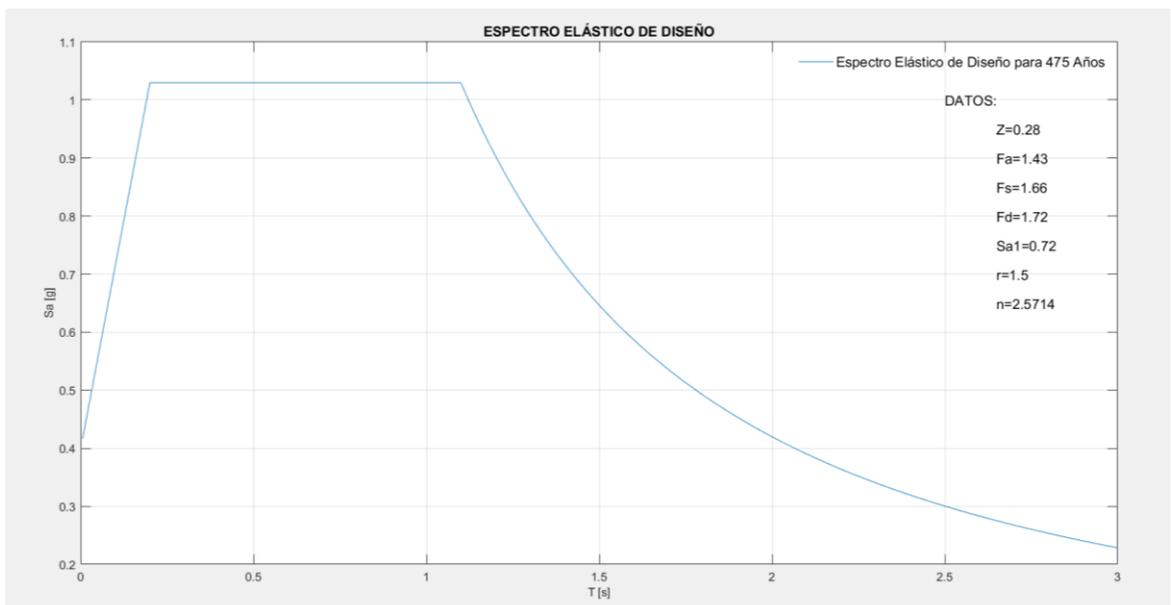


Figura 26. Espectro elástico de diseño para retorno de 475 años.

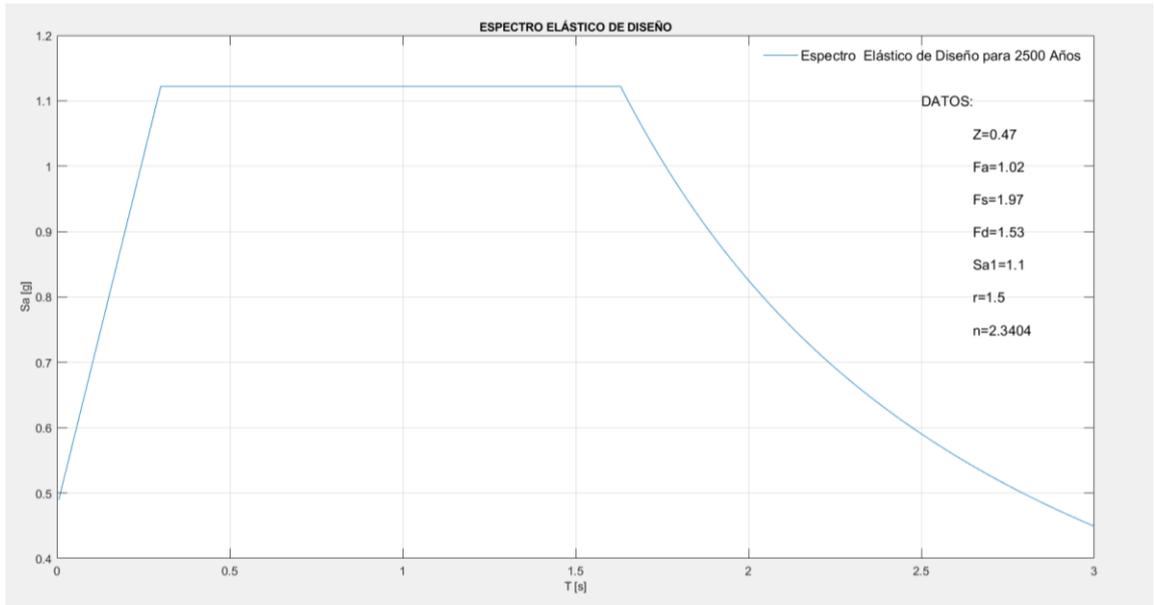


Figura 27. Espectro elástico de diseño para retorno de 2500 años.

En la figura 28, se puede distinguir los cinco espectros de los acelerogramas seleccionados que cumplen con la similitud espectral de la ciudad del Puyo generados con la rutina computacional del anexo 7, comparados con el espectro elástico de diseño para un periodo de retorno sísmico de 475 años.

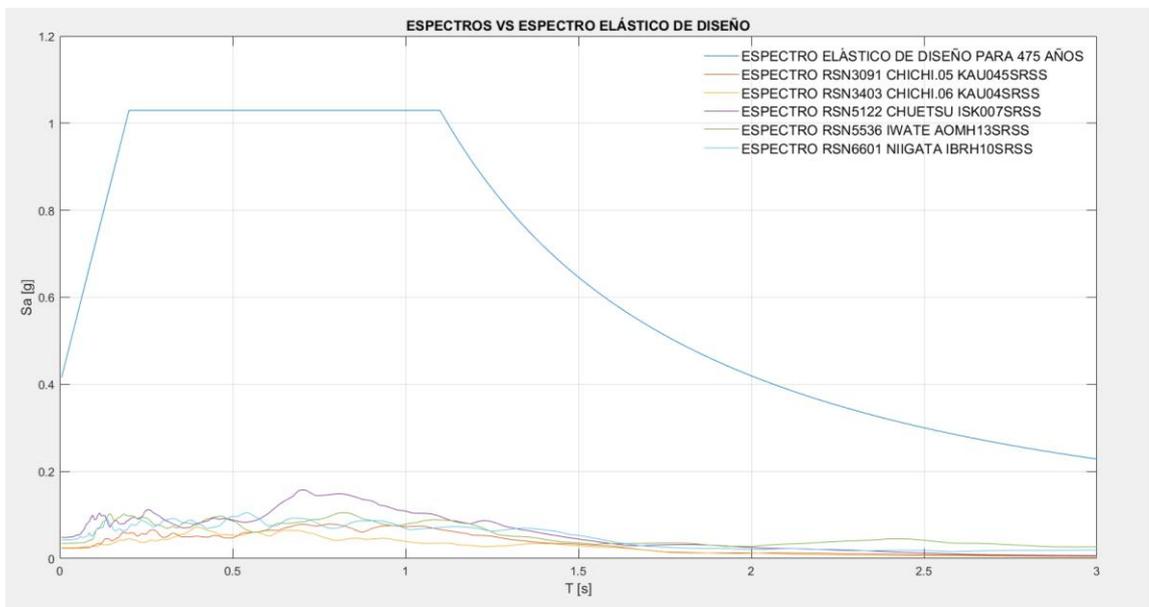


Figura 28. Espectros Seleccionados para retorno sísmico de 475 años.

Desde la figura 29 a la 41, se puede diferenciar que los cinco espectros de los acelerogramas escogidos y escalados entre los periodos de $0.2T$ y $1.5T$ con la

elaboración del anexo 7 cumplen el parámetro espectral para los periodos estructurales de 0.15s - 0.75s considerando un evento sísmico con un periodo de retorno de 475 años.

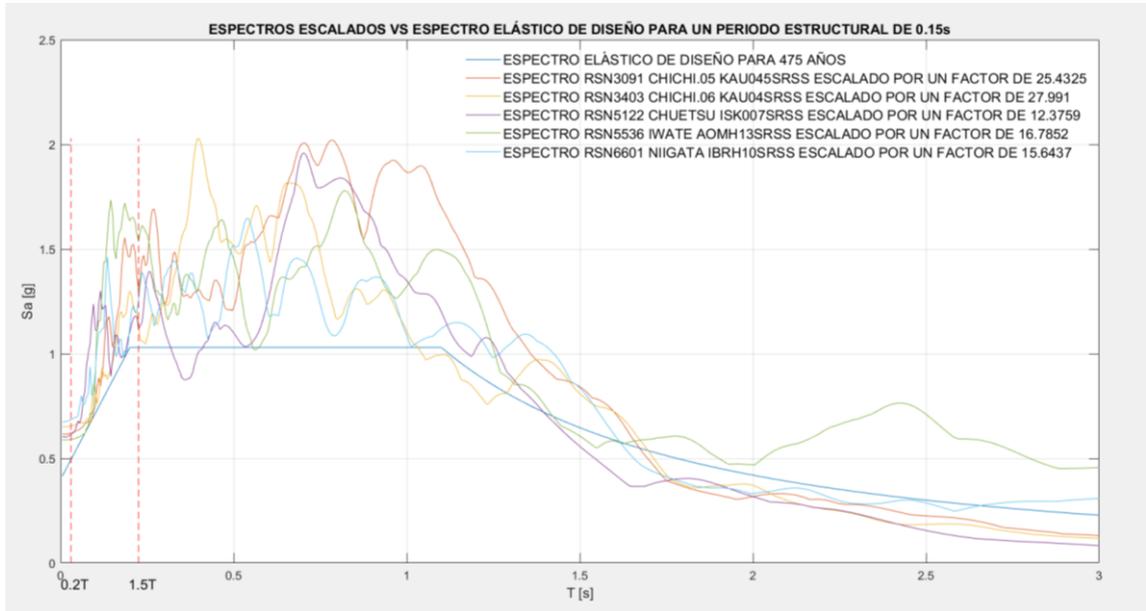


Figura 29. Espectros para un Periodo Estructural de 0.15s.

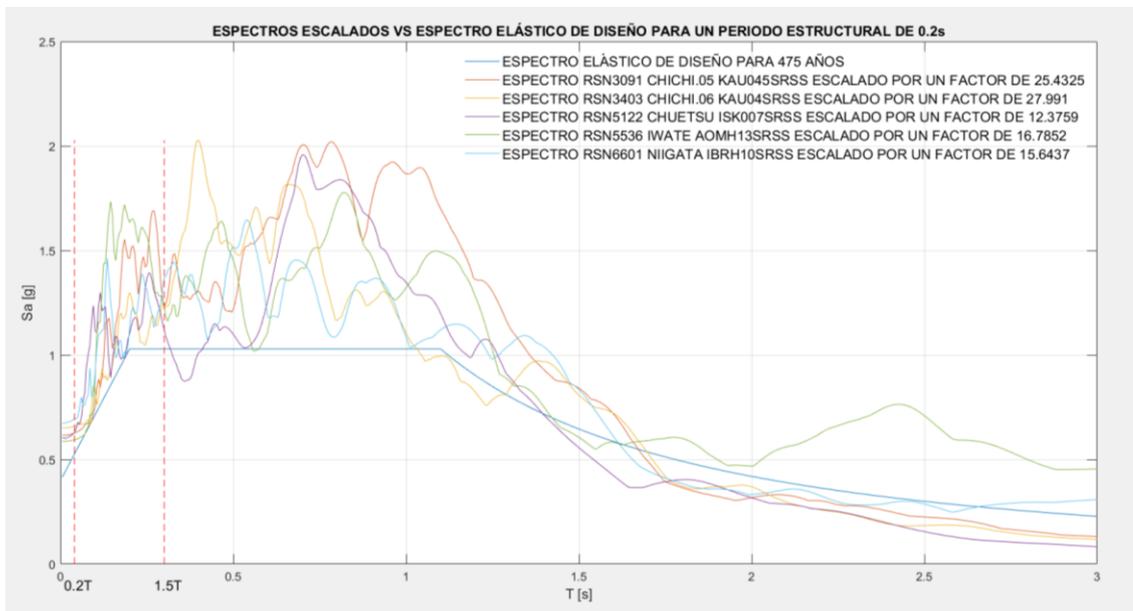


Figura 30. Espectros para un Periodo Estructural de 0.20s.

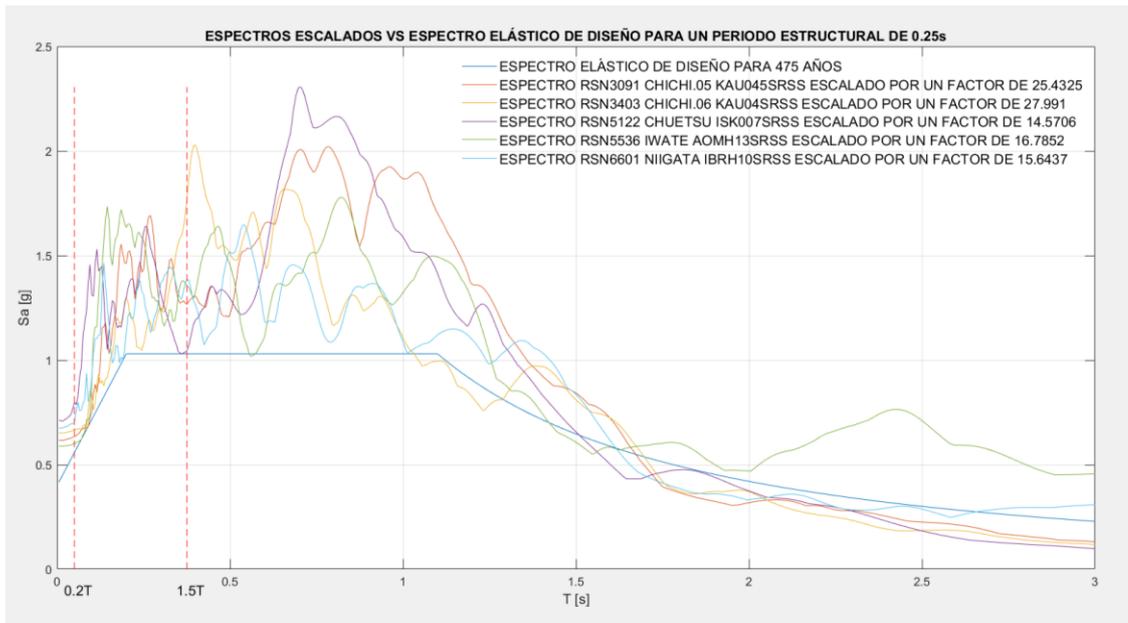


Figura 31. Espectros para un Periodo Estructural de 0.25s.

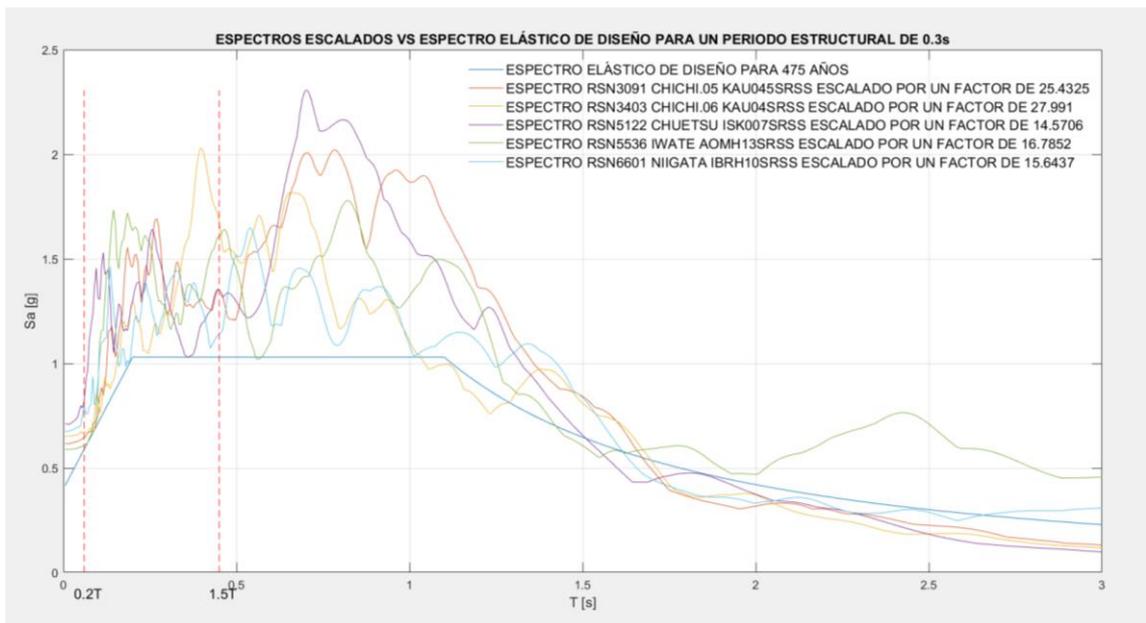


Figura 32. Espectros para un Periodo Estructural de 0.30s.

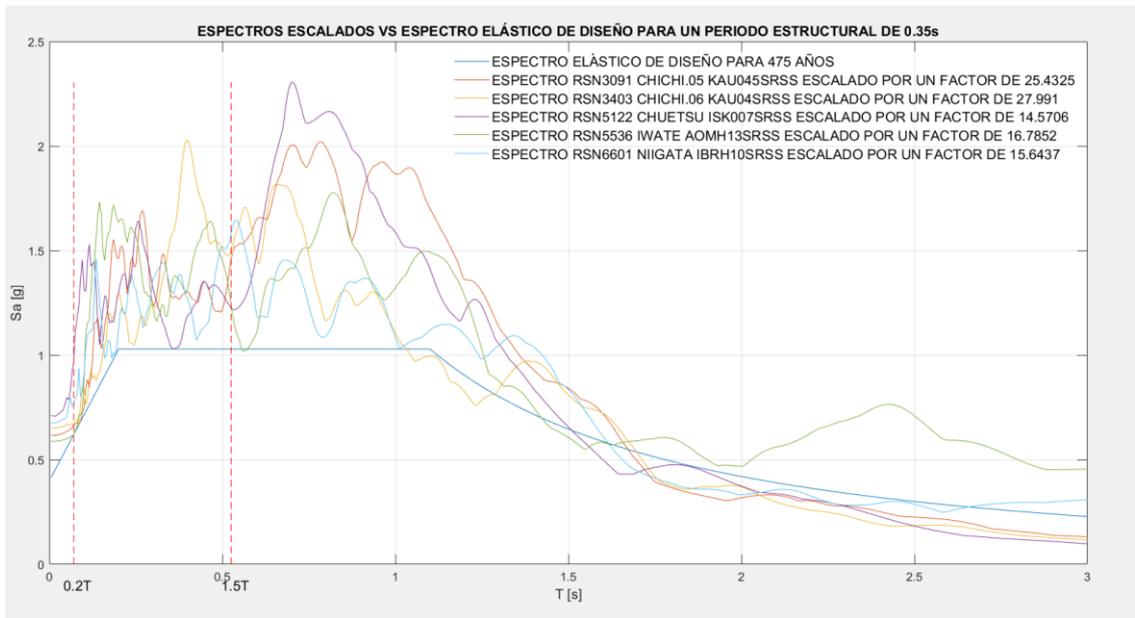


Figura 33. Espectros para un Periodo Estructural de 0.35s.

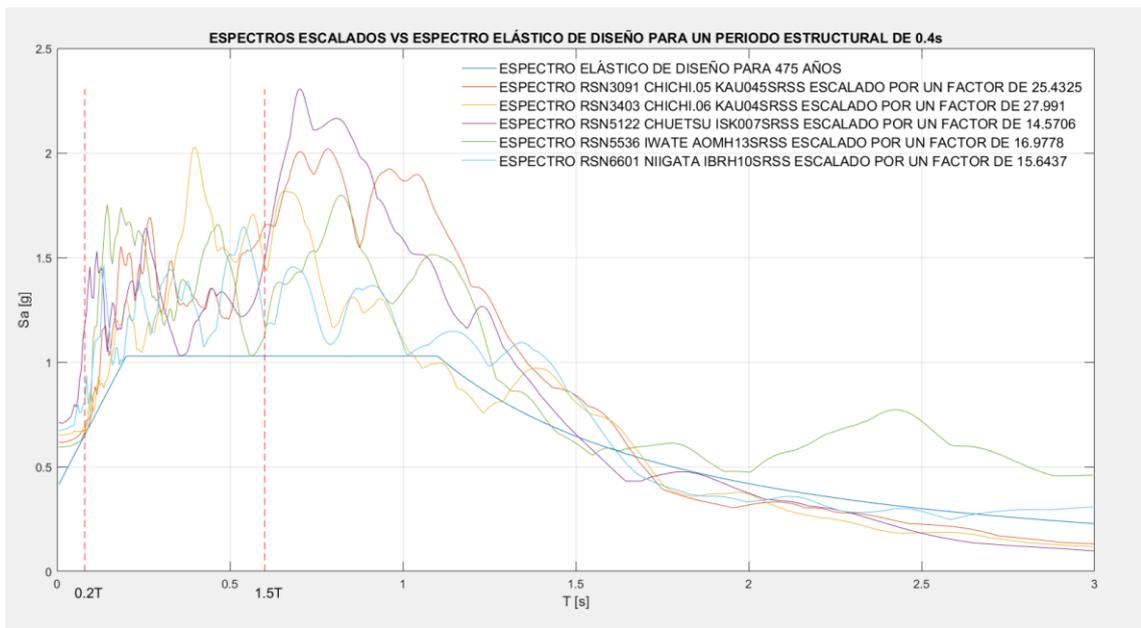


Figura 34. Espectros para un Periodo Estructural de 0.40s.

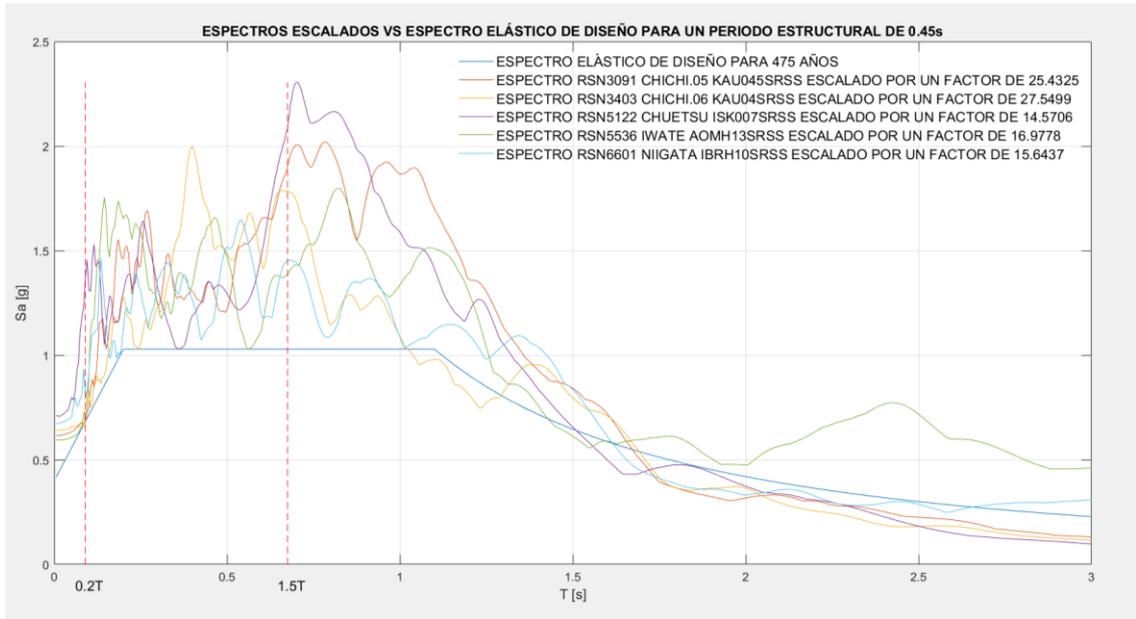


Figura 35. Espectros para un Periodo Estructural de 0.45s.

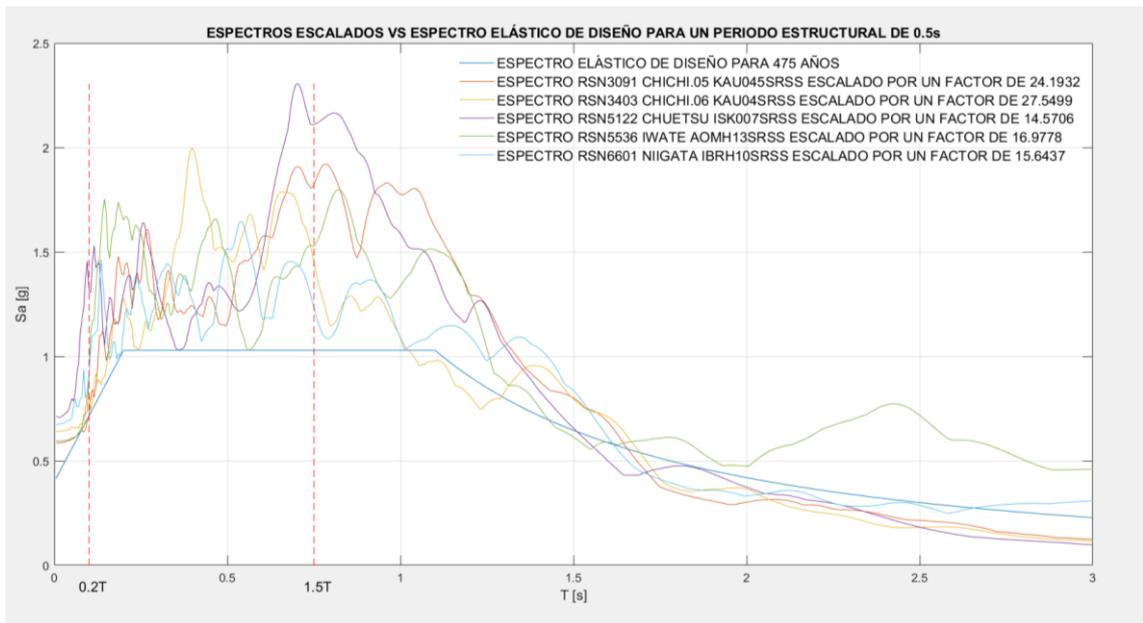


Figura 36. Espectros para un Periodo Estructural de 0.50s.

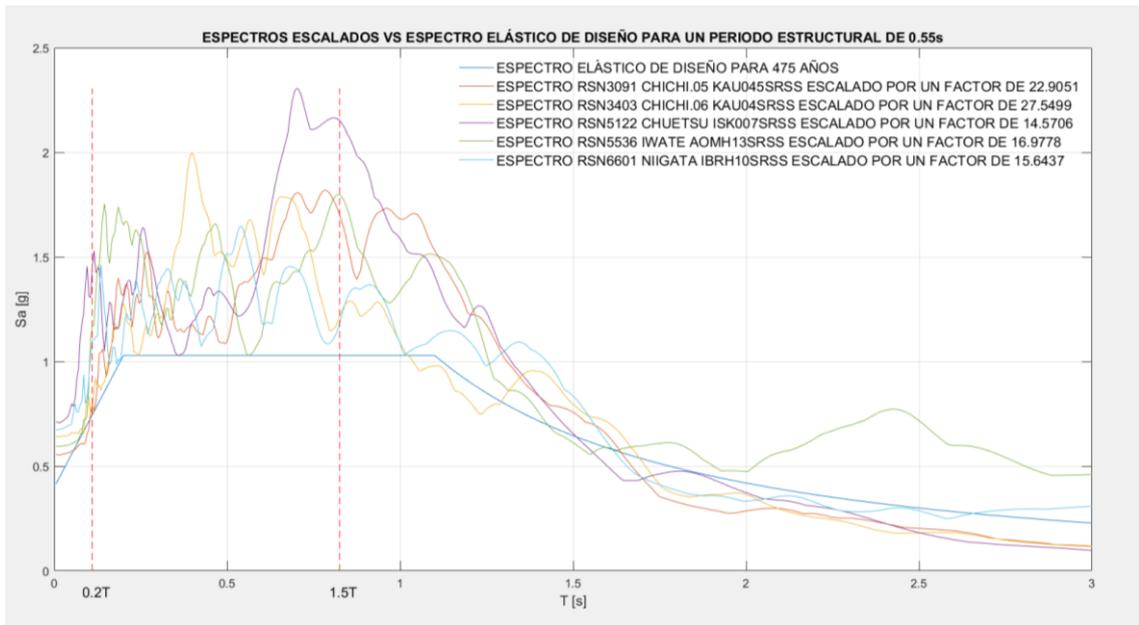


Figura 37. Espectros para un Periodo Estructural de 0.55s.

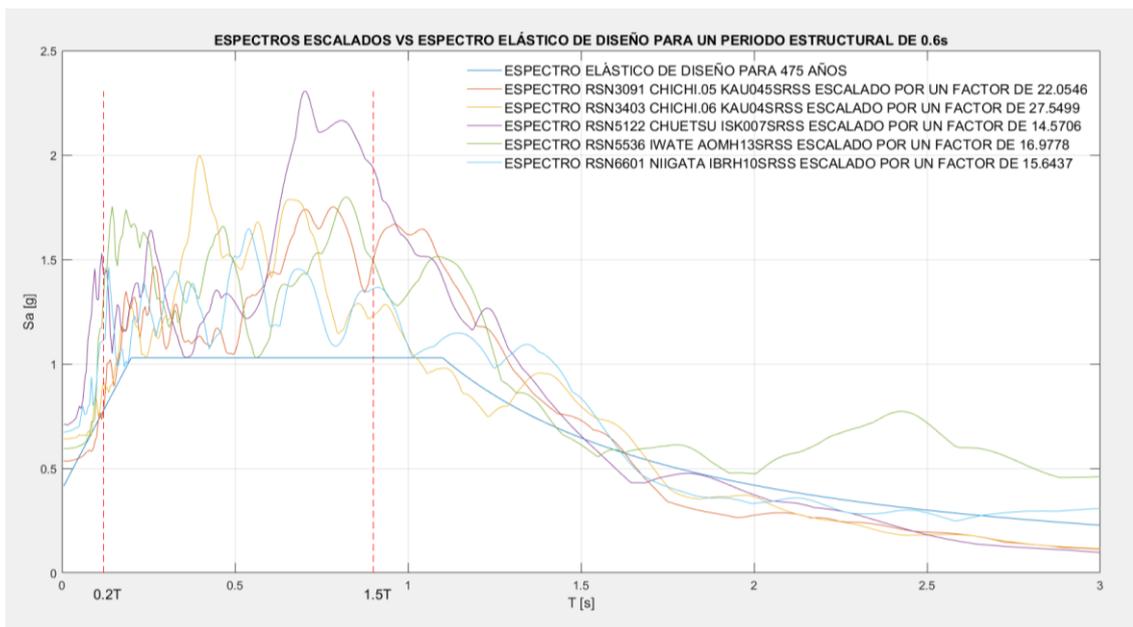


Figura 38. Espectros para un Periodo Estructural de 0.60s.

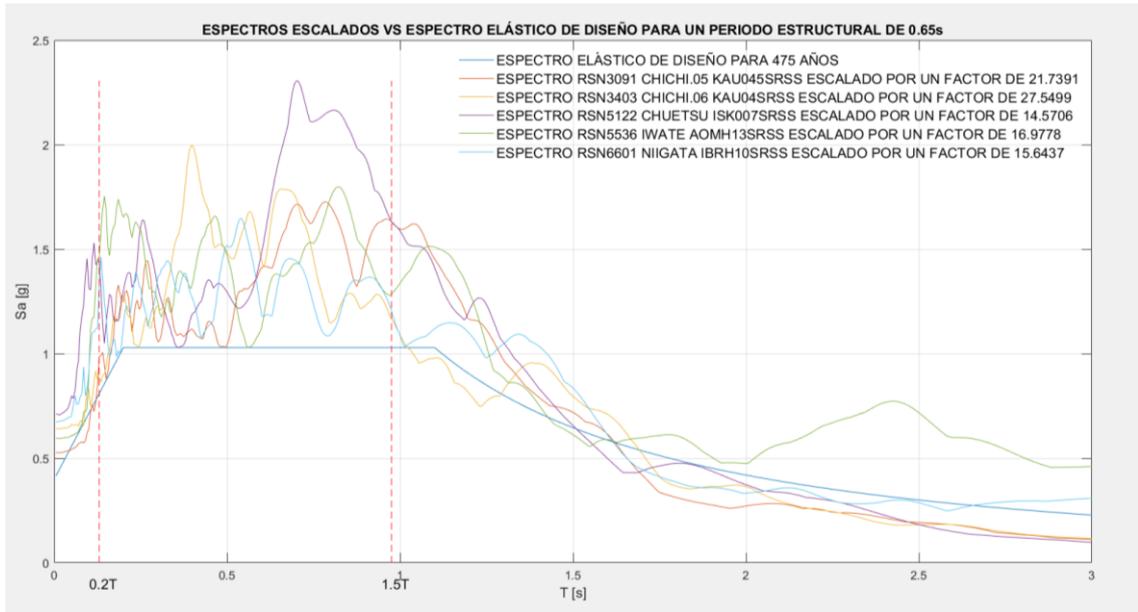


Figura 39. Espectros para un Periodo Estructural de 0.65s.

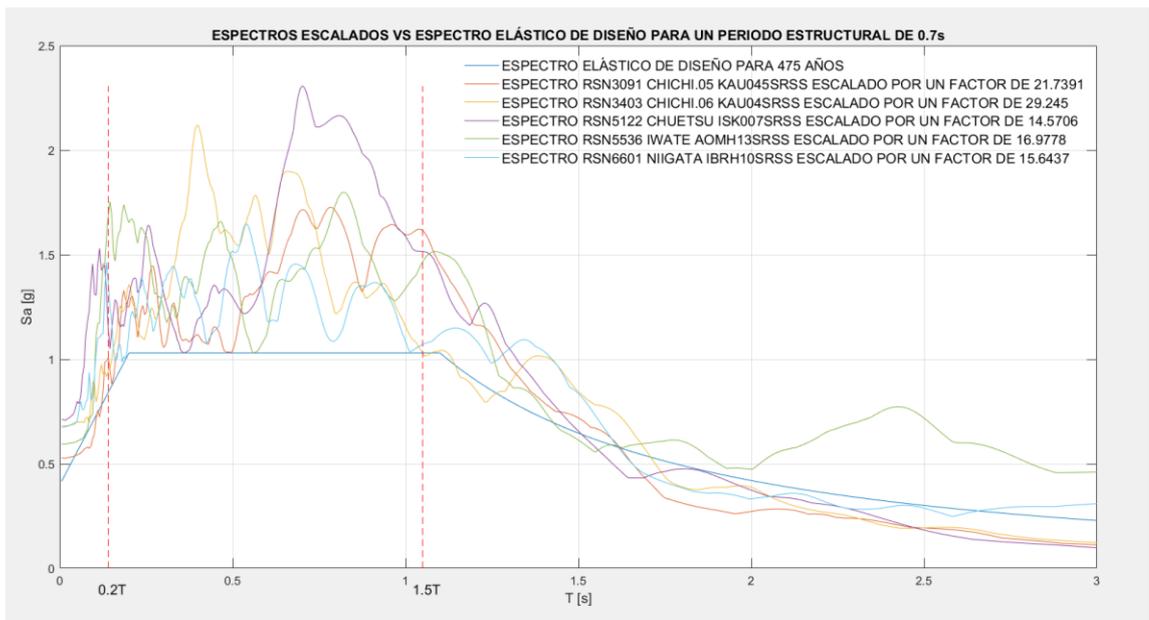


Figura 40. Espectros para un Periodo Estructural de 0.70s.

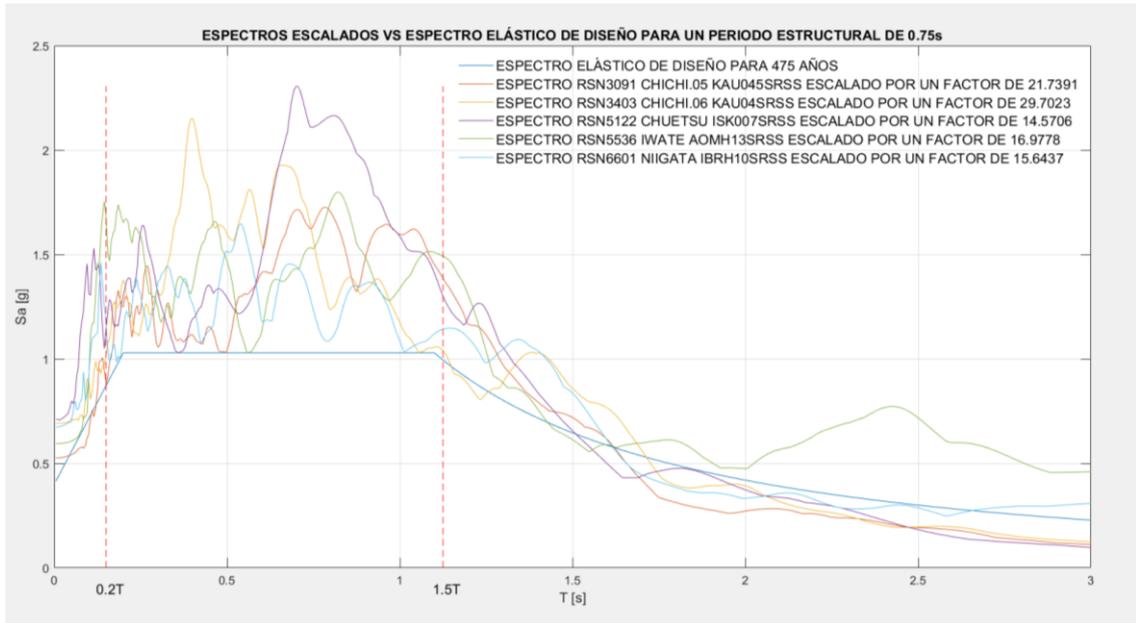


Figura 41. Espectros para un Periodo Estructural de 0.75s.

En la figura 42, se puede notar los cinco espectros de los acelerogramas seleccionados que cumplen con la similitud espectral de la ciudad del Puyo generados con la rutina computacional del anexo 7, comparados con el espectro elástico de diseño para un periodo de retorno sísmico de 2500 años.

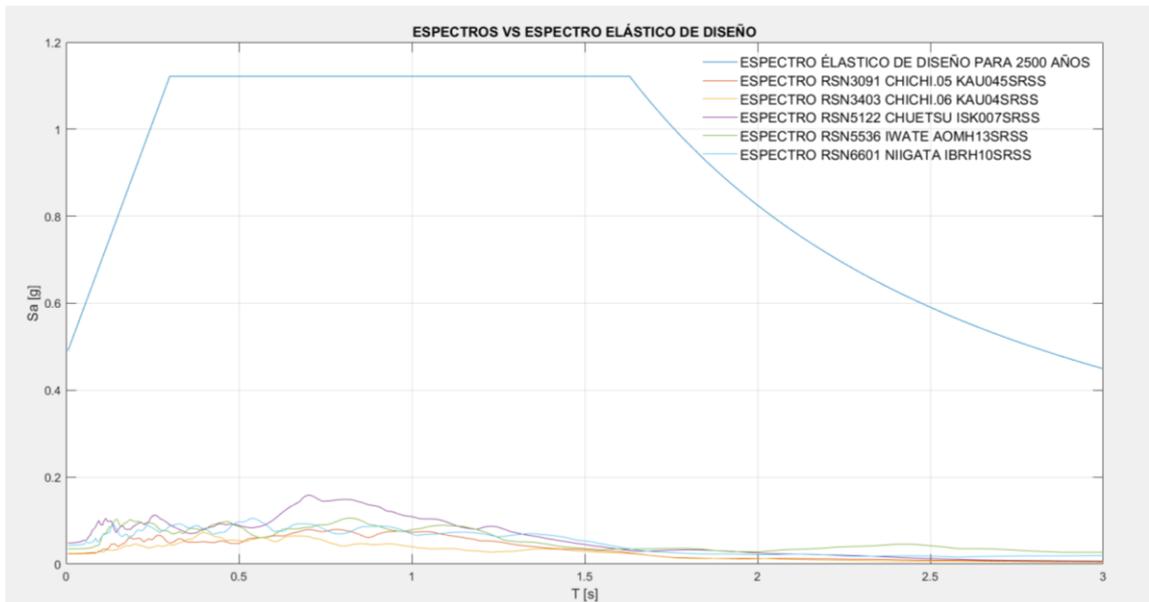


Figura 42. Espectros Seleccionados para retorno sísmico de 2500 años.

Desde la figura 43 a la 55, se puede percibir que los cinco espectros de los acelerogramas escogidos y escalados entre los periodos de 0.2T y 1.5T con la

elaboración del anexo 7 cumplen con el parámetro espectral para los periodos estructurales de 0.15s - 0.75s considerando un evento sísmico con un periodo de retorno de 2500 años.

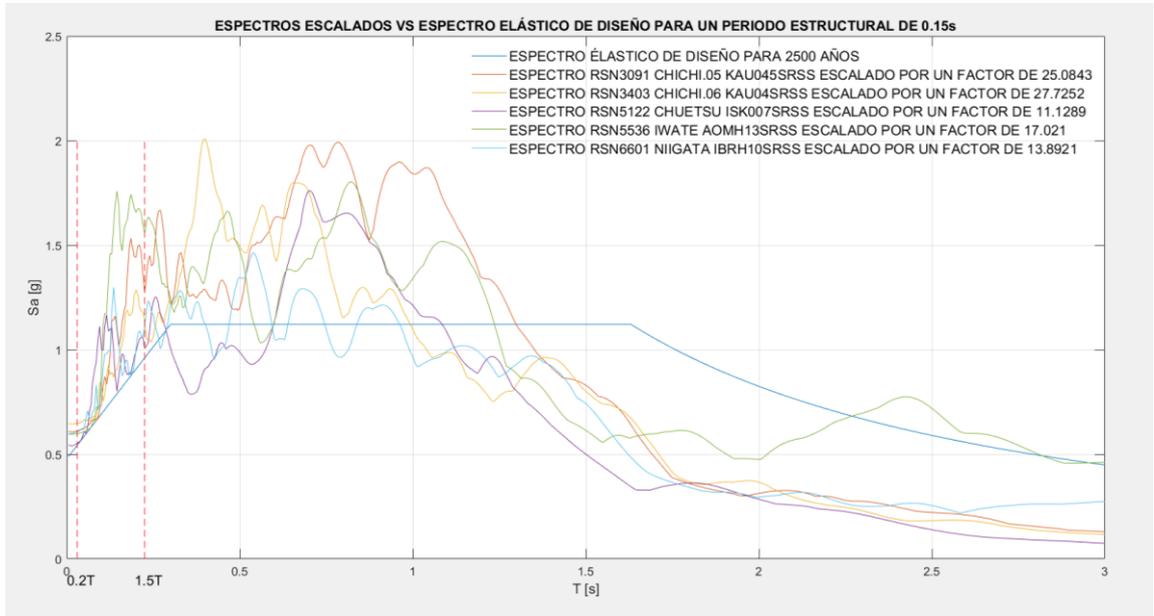


Figura 43. Espectros para un Periodo Estructural de 0.15s.

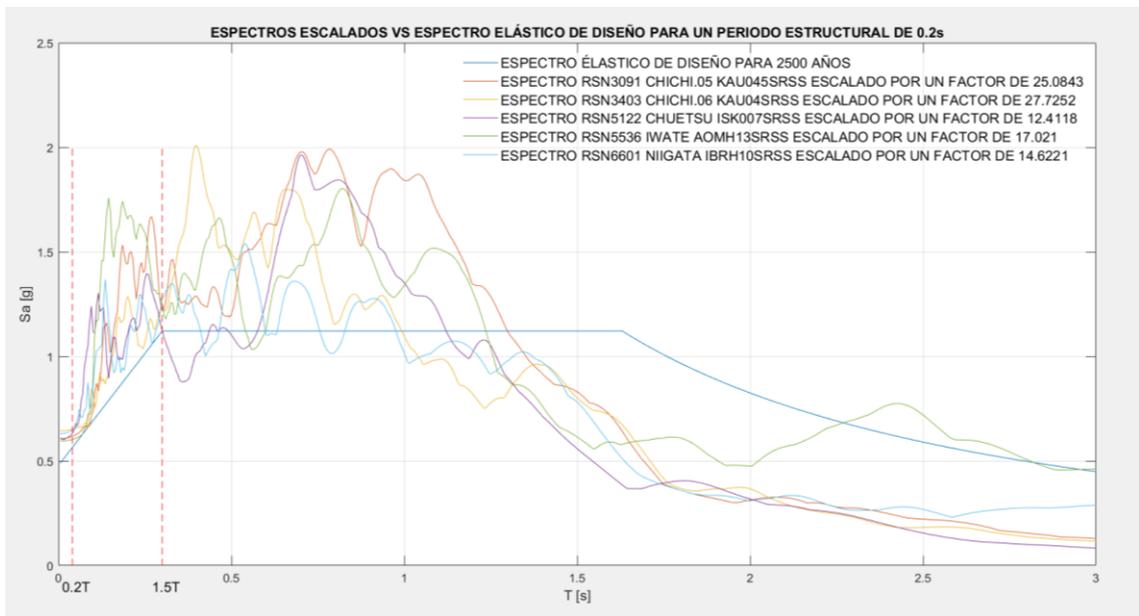


Figura 44. Espectros para un Periodo Estructural de 0.20s.

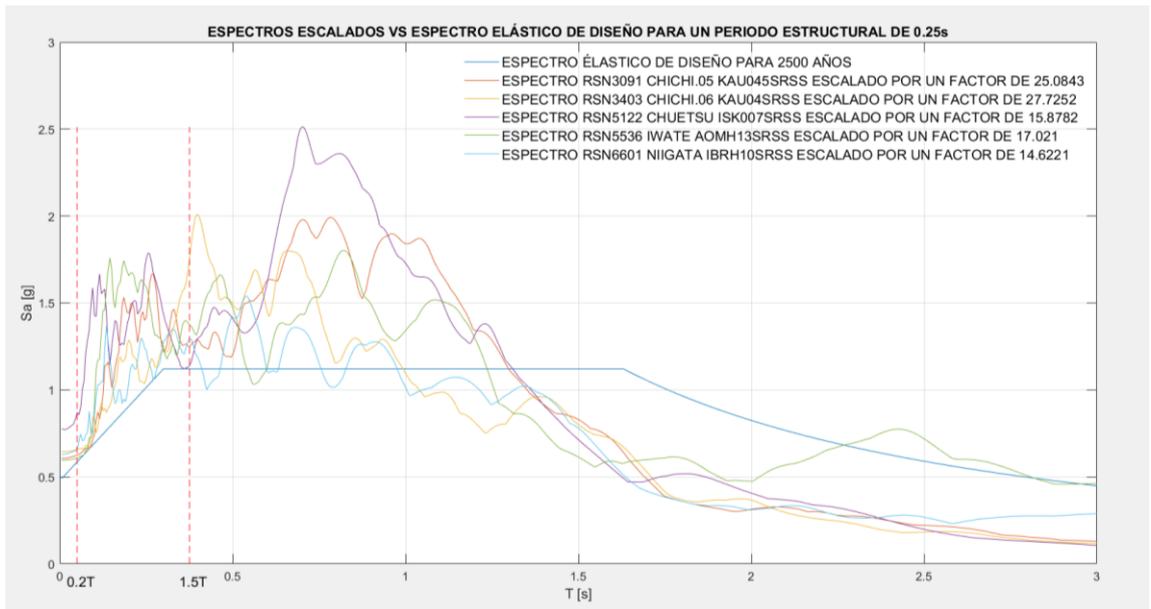


Figura 45. Espectros para un Periodo Estructural de 0.25s.

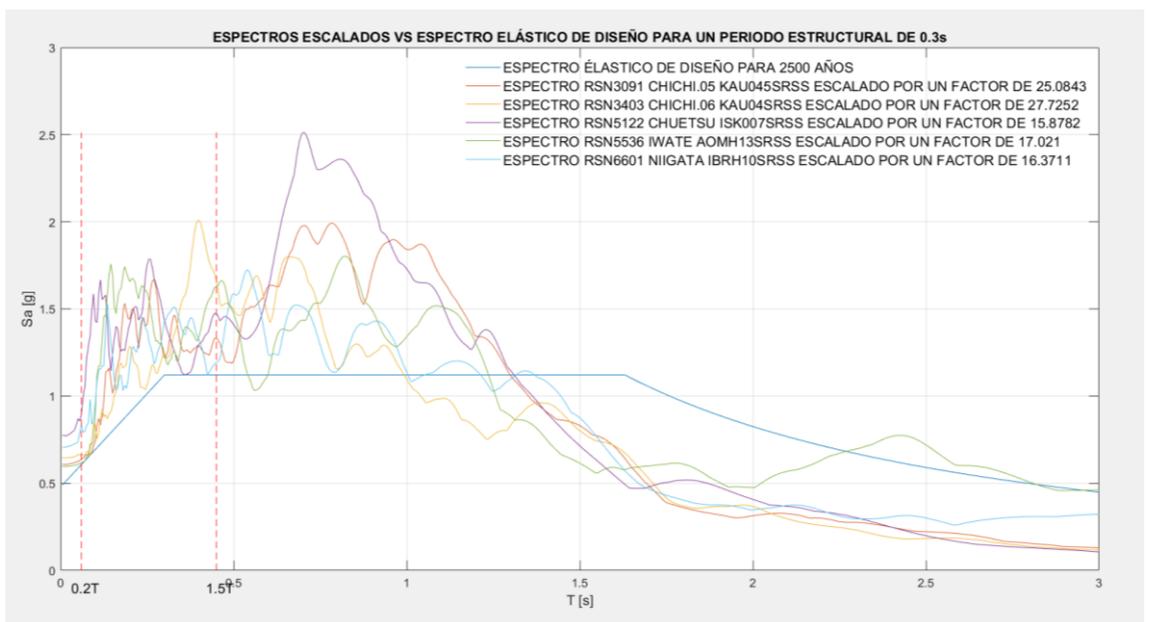


Figura 46. Espectros para un Periodo Estructural de 0.30s.

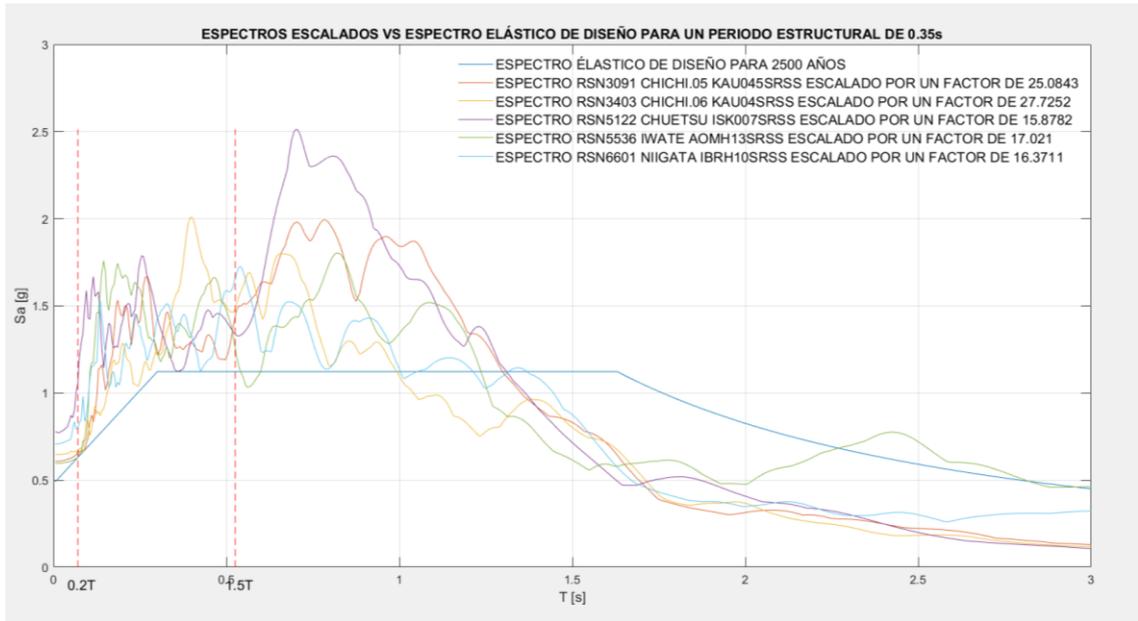


Figura 47. Espectros para un Periodo Estructural de 0.35s.

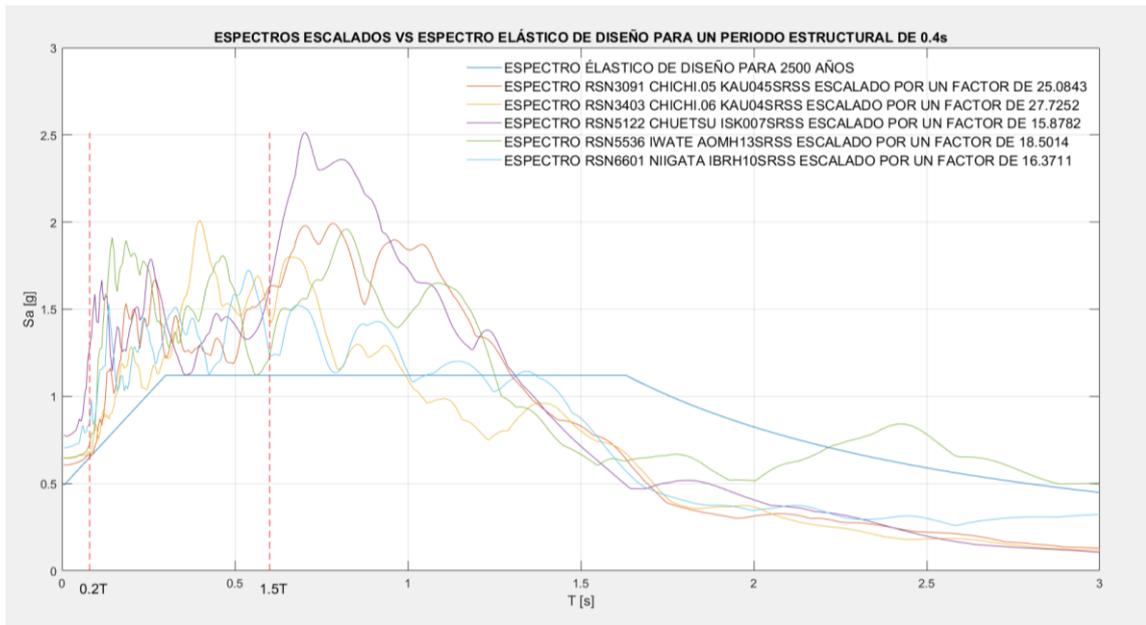


Figura 48. Espectros para un Periodo Estructural de 0.40s.

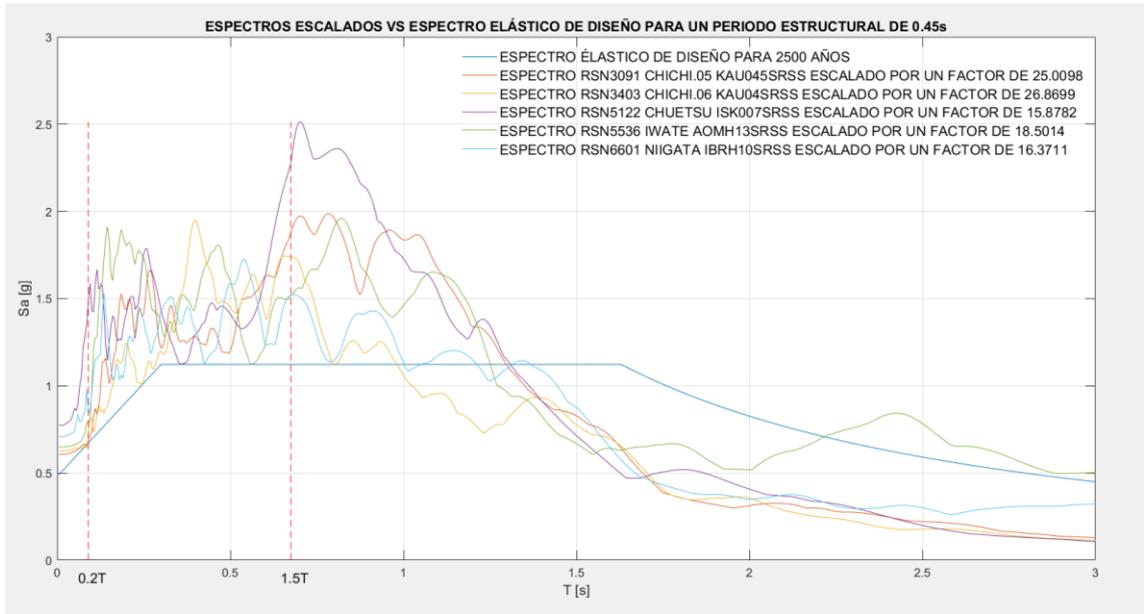


Figura 49. Espectros para un Periodo Estructural de 0.45s.

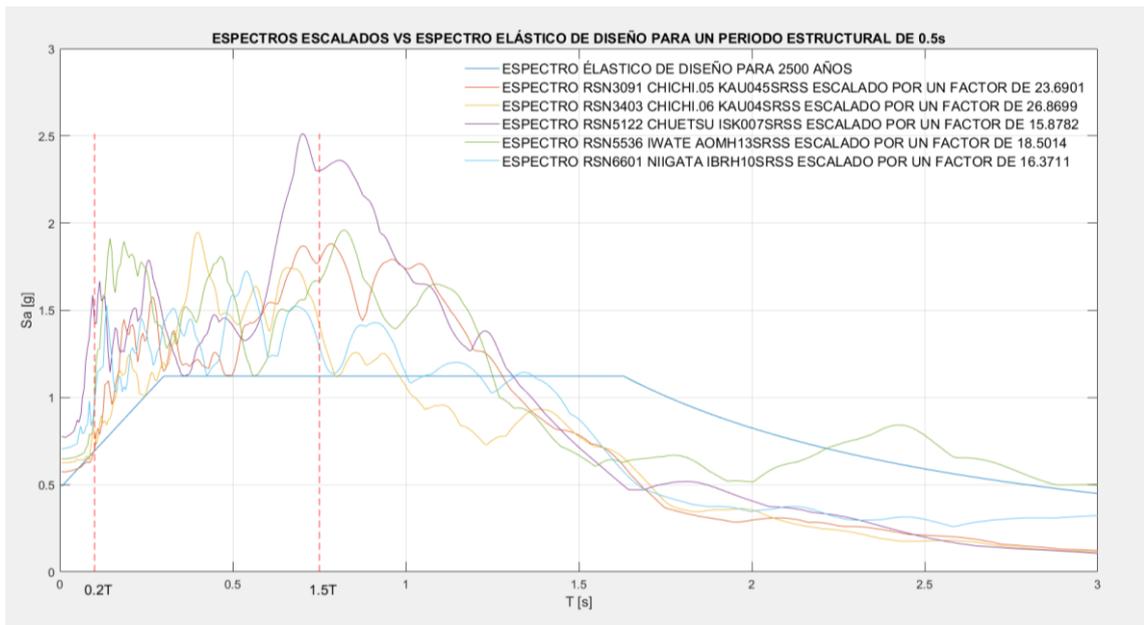


Figura 50. Espectros para un Periodo Estructural de 0.50s.

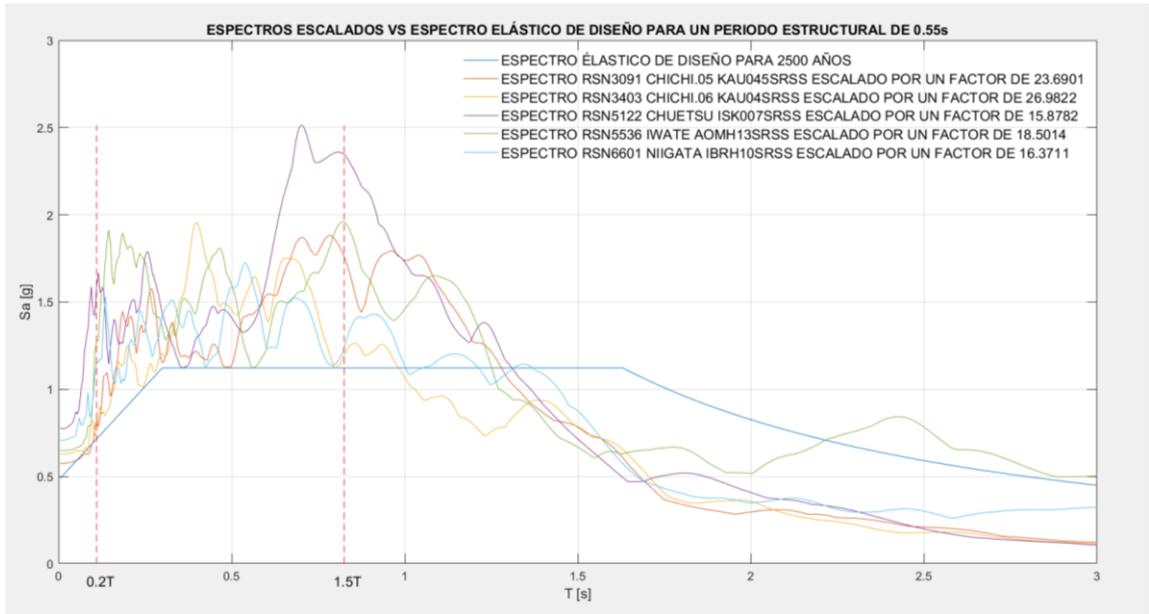


Figura 51. Espectros para un Periodo Estructural de 0.55s.

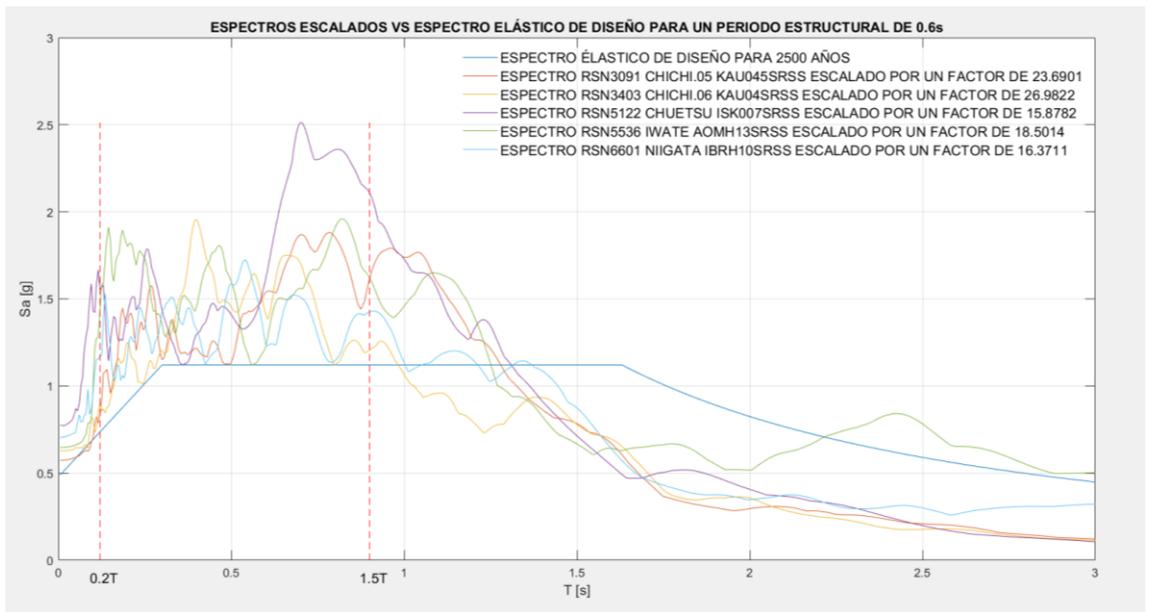


Figura 52. Espectros para un Periodo Estructural de 0.60s.

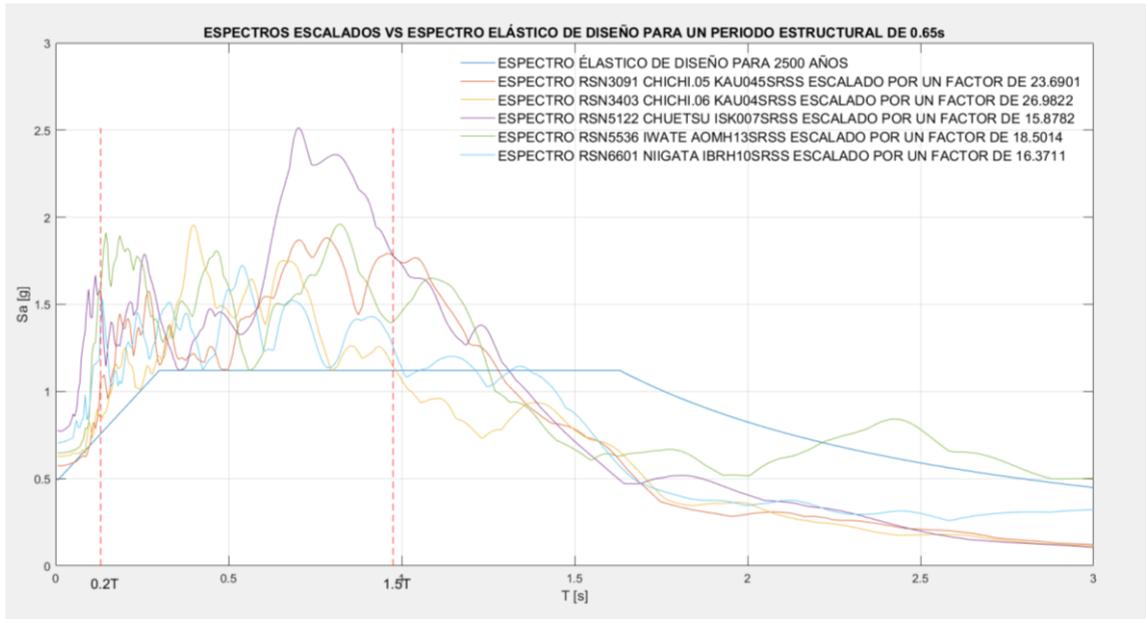


Figura 53. Espectros para un Periodo Estructural de 0.65s.

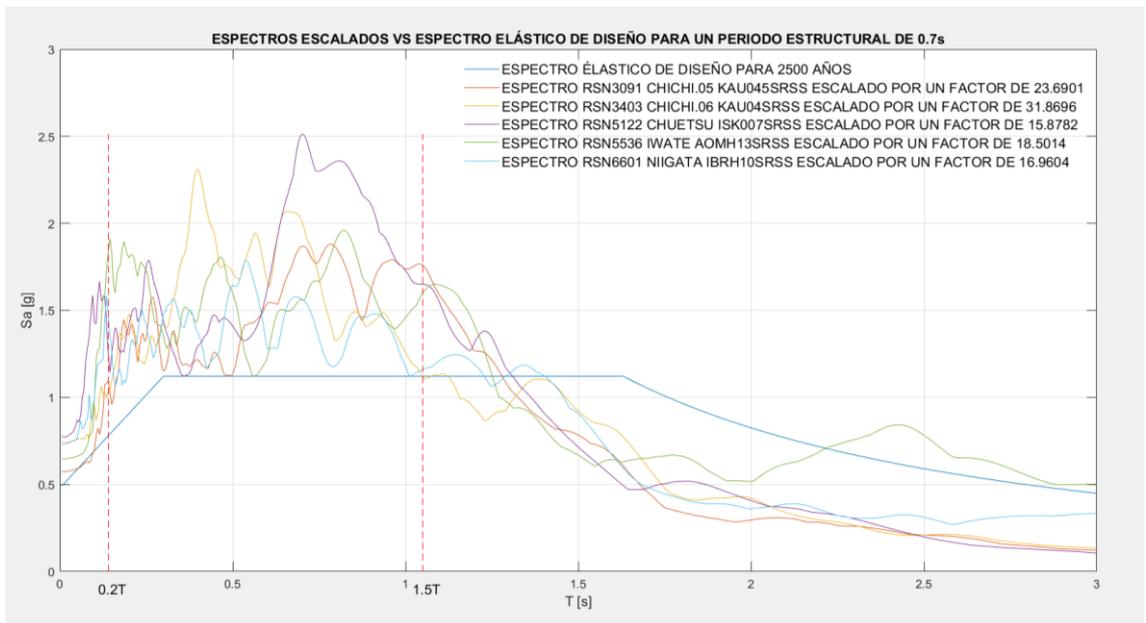


Figura 54. Espectros para un Periodo Estructural de 0.70s.

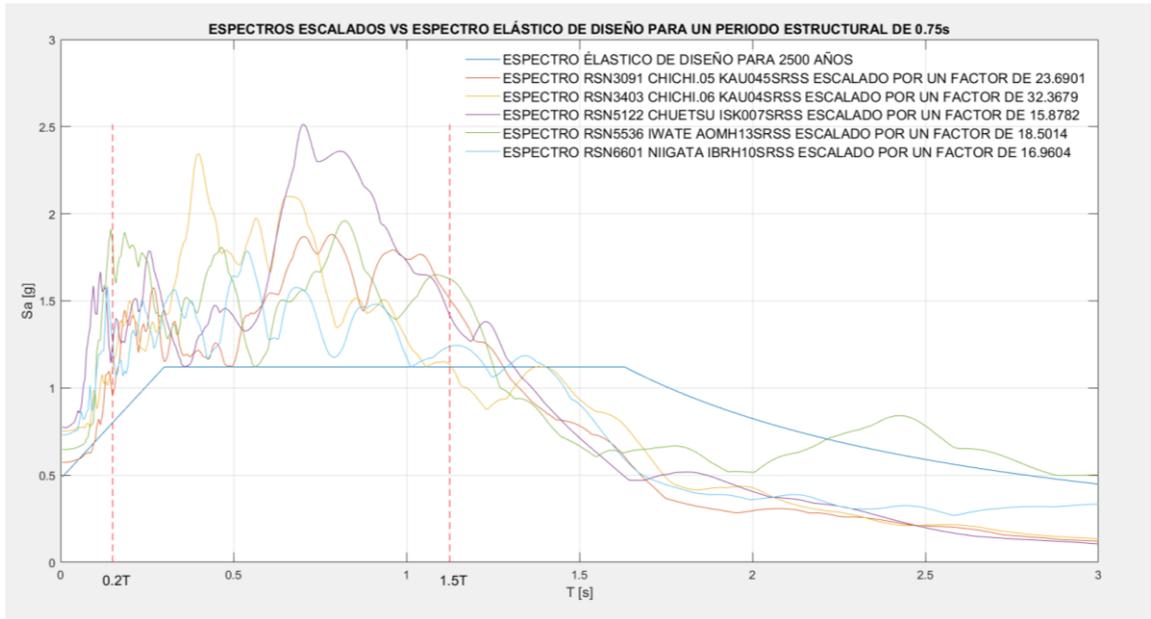


Figura 55. Espectros para un Periodo Estructural de 0.75s.

A nivel mundial la gran mayoría de registros de eventos sísmicos se encuentra en bases de datos de difícil acceso, sin embargo, es post de contribución a la investigación la base de datos abierta del *Pacific Earthquake Engineering Research Center PEER* [4], permite que se pueda utilizar sus datos en investigaciones a nivel mundial, como lo es el caso de los autores H. García y G. Degrande que aseveran que existe compatibilidad de los datos de la base con la región latinoamericana, incluido el Ecuador [32].

Los parámetros sismológicos descritos en la normativa ecuatoriana: magnitud 5 a 9 en escala de Richter, tipo de falla de Farallón o falla inversa, distancia al punto de falla entre 130km a 300km y efectos de suelo para un suelo arcilloso del tipo E con velocidad de onda de corte menores a 180m/s, fundamentales para la selección y extracción de resultados de los cinco acelerogramas utilizados Chichi 05, Chichi 06, Chuetsu, Iwate y Niigate, también son especificados en investigaciones similares realizadas por los autores A. B. Acevedo [3] y J. A. Saracho [13].

Durante los análisis de las componentes de cada acelerograma el filtro Butterworth de orden $N=4$, para las frecuencias $f_1=0.1\text{Hz}$ - $f_2=0.20\text{Hz}$ es uno de los filtros recomendados por T. Susagna, L Cabañas, X Goula, J. M. Alcalde y M. Belvaux para eliminación de ruido que se genera debido a la sensibilidad de los acelerómetros que

registran las aceleraciones del suelo durante los sismos [33]. En el presente trabajo se analizó las componentes norte-sur (NS) y este-oeste (EO) utilizando este filtro y con la ayuda de la creación de las rutinas computaciones del anexo 2.

J. Jaramillo en su trabajo aplicado a la ciudad de Medellín refiere que el proceso de interpolación de Chopra que utiliza las ocho constantes que describe la excitación que sufre una estructura con un amortiguamiento dado puede ser útil para obtener el espectro de aceleración resultante y es el último parámetro a evaluar para cumplir con la compatibilidad con el lugar de estudio [34], el proceso se lo realizó con la generación de la rutina computacional 4.

Los espectros para que cumplan con su parámetro espectral tuvieron que ser escalados los cuales se obtuvieron dividiendo cada valor de espectro de respuesta elástica de la aceleración (S_a) de los espectros de la aceleración por el S_a del espectro elástico de diseño en ciclos repetitivos entre los límites de $0.2T$ a $1.5T$ del periodo fundamental de la estructura hasta que ningún valor del S_a del espectro de aceleración sea menor al S_a del espectro elástico de diseño, como lo describe E. Reinoso y M. Jaimes en su investigación sobre los criterios para obtener acelerogramas de diseño en sitios afectados por varias fuentes sísmica [25] y con la elaboración de la rutina computacional del anexo 7 se creó el proceso descrito.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

5.1. Conclusiones

Se recopiló los datos de los acelerogramas de la base de datos internacional y de acceso abierto del sitio web *Pacific Earthquake Engineering Research Center PEER* para ser utilizados en la localidad de estudio de la ciudad del Puyo.

Con el soporte de las rutinas computacionales desarrolladas se procesó cada uno de los cinco espectros de acelerogramas para que cumplan con las condiciones espectrales requeridas en el estudio.

Se procesó los espectros de los acelerogramas comparándolos con dos espectros elásticos de diseño con un retorno sísmico de 475 años y de 2500 años, además, se escaló los espectros para determinar si satisfacen los límites de entre $0.2T$ y $1.5T$ del periodo fundamental de la estructura de acero que se encuentre entre uno y seis pisos.

Del conjunto de datos procesados se elaboró una base de datos que contiene los acelerogramas de Chichi 05, Chichi 06, Chuetsu, Iwate y Niigate, los cuales cumplen con las condiciones de lugar, tipo de suelo, velocidad de onda de corte, magnitud, distancia al punto de falla y tipo de falla, en estrecha relación de condiciones con la ciudad del Puyo.

5.2. Recomendaciones

Para aseverar que los acelerogramas escogidos son correctos es recomendable que cumplan con todas las condiciones de sitio, dado que puede generarse un análisis dinámico erróneo contrastando con aquellos acelerogramas propios del lugar de estudio.

Para facilitar la obtención de los espectros de diseño elástico se recomienda el uso de las curvas de peligrosidad sísmica que se detalla en la normativa ecuatoriana, y el desarrollo de rutinas computacionales para facilitar el tratamiento de los datos.

El presente estudio recopila información que puede ser utilizada como base para futuras investigaciones en el campo de la ingeniería, no obstante, se sugiere profundizar en la automatización de rutinas.

5.3. BIBLIOGRAFÍA

[1] F. S. Montero-Vega, C. S. Molina-Cedeño, B. M. Pillco-Herrera, L. B. Sarduy-Pereira, y K. Diéguez-Santana, «Evaluación del impacto ambiental de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Caso río Pindo Chico, Puyo, Pastaza, Ecuador», *Ciencia, Ambiente y Clima*, vol. 3, n.º 1, Art. n.º 1, jul. 2020, doi: 10.22206/cac.2020.v3i1.pp23-39.

[2] R. Minda y B. Efrén, «Planificación territorial para la definición de una estructura funcional para la ciudad del Puyo y zonas de expansión», 2012, Accedido: 24 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/10857>

[3] A. B. Acevedo, «CRITERIOS SISMOLÓGICOS PARA SELECCIONAR ACELEROGRAMAS REALES DE LA RED NACIONAL DE ACELERÓGRAFOS DE COLOMBIA PARA SU USO EN ANÁLISIS DINÁMICOS», *Revista EIA*, n.º 17, pp. 57-70, jul. 2012.

[4] C. A. Goulet *et al.*, «PEER NGA-East database», *Earthquake Spectra*, vol. 37, n.º 1_suppl, pp. 1331-1353, jul. 2021, doi: 10.1177/87552930211015695.

[5] V. J. Merino Mora, «Análisis comparativo de conexiones precalificadas con tipología soldadas y empernadas para un sistema SMF en un edificio de estructura metálica», masterThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas, 2022. Accedido: 29 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/36426>

[6] *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.obraspublicas.gob.ec/norma-ecuatoriana-de-la-construccion-nec-se-ds/>

- [7] P. Quinde Martínez, E. Reinoso Angulo, P. Quinde Martínez, y E. Reinoso Angulo, «Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca», *Revista de Ingeniería Sísmica*, n.º 94, pp. 1-26, jun. 2016.
- [8] A. T. Colunga, «DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON AISLAMIENTO SÍSMICO MEDIANTE EL USO DE ESPECTROS DE DISEÑO POR CAPACIDAD», *Revista de Ingeniería Sísmica*, n.º 65, Art. n.º 65, jul. 2001, doi: 10.18867/ris.65.189.
- [9] A. Tena-Colunga y C. Cheja, «Comportamiento sísmico de edificios esbeltos con base en marcos dúctiles de acero estructural diseñados conforme al Reglamento de la ciudad de México», *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, vol. 10, n.º 1, pp. 1-20, ene. 2005.
- [10] F. A. Flores-López, J. C. Ayes-Zamudio, F. A. Flores-López, y J. C. Ayes-Zamudio, «Generación de acelerogramas sintéticos mediante el uso de wavelets, orientados a aplicaciones geotécnico-estructurales», *Revista de Ingeniería Sísmica*, n.º 98, pp. 1-24, jul. 2018, doi: 10.18867/ris.98.480.
- [11] A. Rodríguez, E. Bojórquez Mora, A. Reyes-Salazar, J. Avilés, y S. Ruiz Gómez, «Determinación de espectros de respuesta considerando daño acumulado e interacción suelo-estructura», *Revista de Ingeniería Sísmica*, n.º 96, pp. 18-38, jun. 2017.
- [12] C. Lozano, A. Gomez, y A. Barajas, «Respuesta del suelo durante el evento del nido sísmico de Bucaramanga del 10 de marzo de 2015 Mw 6.4.», *CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA SÍSMICA*, pp. 1-8, may 2017.
- [13] J. A. Saracho, G. A. Perez, O. Dip, J. A. Saracho, G. A. Perez, y O. Dip, «PROCEDIMIENTO PARA SELECCIÓN DE ACELEROGRAMAS PARA ESTUDIOS DE FRAGILIDAD EN PUENTES TÍPICOS DE ARGENTINA», *Revista de Ingeniería Sísmica*, n.º 106, pp. 76-111, dic. 2021, doi: 10.18867/ris.106.553.
- [14] C. Y. S. Camelo, M. C. F. de Almeida, M. de S. S. de Almeida, R. G. Borges, y S. F. M. Tarazona, «Selección de acelerogramas sísmicos para la margen continental de la región Sudeste de Brasil», *Revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín*, vol. 88, n.º 217, pp. 228-236, 2021.
- [15] R. E. Alva, L. A. Pinzón, L. G. Pujades, R. E. Alva, L. A. Pinzón, y L. G. Pujades, «Intensidad de arias y duración significativa en análisis dinámico de estructuras», *Revista de la Universidad de Costa Rica*, vol. 32, n.º 2, pp. 1-14, dic. 2022, doi: 10.15517/ri.v32i2.49580.

- [16] F. Núñez, D. Ruiz, J. Cortés, F. Núñez, D. Ruiz, y J. Cortés, «Análisis dinámico no lineal de edificios de acero sometidos a sismos», *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 36, n.º 2, pp. 173-196, ago. 2021, doi: 10.4067/S0718-50732021000200173.
- [17] D. G. Razo Carrasco, O. García Domínguez, D. G. Razo Carrasco, y O. García Domínguez, «Evaluación integral de la seguridad estructural de edificaciones existentes dañadas por sismos de gran magnitud», *Revista de Ingeniería Sísmica*, n.º 104, pp. 51-71, mar. 2020, doi: 10.18867/ris.104.565.
- [18] T. Perea, «COMPONENTE VERTICAL DE REGISTROS SÍSMICOS EN MÉXICO Y SU EFECTO EN LA RESPUESTA SÍSMICA NO LINEAL DE EDIFICIOS», *Revista de Ingeniería Sísmica*, n.º 72, pp. 45-79, jun. 2005.
- [19] Y. F. Vargas, L. G. Pujades, A. H. Barbat, y J. E. Hurtado, «Evaluación probabilista de la capacidad, fragilidad y daño sísmico de edificios de hormigón armado», *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, vol. 29, n.º 2, pp. 63-78, abr. 2013, doi: 10.1016/j.rimni.2013.04.003.
- [20] M. A. Jaimes, L. R. Fernández-Sola, C. Arredondo, y E. Reinoso, «Comportamiento Dinámico De Bloques Rígidos Simétricos Por Volteo Considerando La Interacción Dinámica Suelo-Estructura», *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 39, n.º 3, pp. 112-120, dic. 2016.
- [21] D. Guerrero, «Análisis técnico y económico del diseño por desempeño de edificios con estructura de acero utilizando arriostramientos concéntricos», *Gaceta Técnica*, vol. 20, n.º 1, pp. 41-59, jun. 2019.
- [22] R. Aguiar y F. Vergara, «ANÁLISIS SÍSMICO DE UNA ESTRUCTURA CON AISLADORES FPS DE PRIMERA Y SEGUNDA GENERACIÓN Y ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO», *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, vol. 19, n.º 1, pp. 35-89, 2014.
- [23] M. Arroyo, L. Linkimer, I. G. Arroyo, M. Arroyo, L. Linkimer, y I. G. Arroyo, «Recuento de la sismicidad en Costa Rica durante el 2019», *Revista Geológica de América Central*, n.º 62, pp. 116-133, jun. 2020, doi: 10.15517/rgac.v62i0.40639.
- [24] M. Á. Jaimes Téllez y E. Reinoso Angulo, «COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE EDIFICIOS EN EL VALLE DE MÉXICO ANTE SISMOS DE SUBDUCCIÓN Y DE FALLA NORMAL», *Revista de Ingeniería Sísmica*, n.º 75, p. 1, jul. 2006, doi: 10.18867/ris.75.59.

- [25] E. Reinoso y M. A. Jaimes, «Criterios para obtener acelerogramas de diseño en sitios afectados por varias fuentes sísmicas usando como ejemplo el caso de terreno firme de la Ciudad de Mexico», *Ingeniería sísmica*, n.º 81, pp. 1-18, dic. 2009.
- [26] E. Bojórquez Mora, I. Iervolino, A. Reyes Salazar, H. Rodríguez Lozoya, y L. Rivera Salas, «Una medida de intensidad sísmica basada en un parámetro para caracterizar la forma espectral denominado Np», *Revista de Ingeniería Sísmica*, n.º 86, pp. 01-26, jun. 2012.
- [27] J. C. Vielma y M. A. Cando, «Evaluación del factor de comportamiento de la Norma Ecuatoriana de la Construcción para estructuras metálicas porticadas», *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, vol. 33, n.º 3, pp. 271-279, jun. 2017, doi: 10.1016/j.rimni.2016.09.001.
- [28] M. Båth, «C. F. Richter, Elementary Seismology, W. H. Freeman and Co.», *Tellus*, vol. 11, n.º 2, pp. 257-258, ene. 1959, doi: 10.3402/tellusa.v11i2.9289.
- [29] H. Yepes *et al.*, «A new view for the geodynamics of Ecuador: Implication in seismogenic source definition and seismic hazard assessment», *Tectonics*, vol. 35, n.º 5, pp. 1249-1279, 2016, doi: 10.1002/2015TC003941.
- [30] R. A. Jorquera Valenzuela, «Catálogo de terremotos subductivos chilenos para la generación de curvas de fragilidad», 2014, Accedido: 7 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/116425>
- [31] A. K. Chopra, *DINAMICA DE ESTRUCTURAS ANIL K, CHOPRA*, Cuarta. México: Bernardino Gutiérrez Hernández, 2014. Accedido: 25 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://aportealaingcivil.blogspot.com/2018/01/dinamica-de-estructuras-anil-k-chopra.html>
- [32] H. García y G. Degrande, «Seismic vulnerability analysis of a two-story family dwelling in confined masonry in Cuenca, Ecuador», *Maskana*, vol. 8, n.º 2, Art. n.º 2, dic. 2017, doi: 10.18537/mskn.08.02.08.
- [33] T. S. Vidal *et al.*, «Análisis de los parámetros de los acelerogramas registrados en los seismos de Lorca, de interés para la Ingeniería.», *Física de la Tierra*, vol. 24, pp. 213-235, ene. 2012, doi: 10.5209/rev_FITE.2012.v24.40139.
- [34] J. Jaramillo, «MODELO PARA LA RAMA DESCENDENTE DE ESPECTROS DE DISEÑO SÍSMICO Y APLICACIONES AL CASO DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN», *Revista de Ingeniería Sísmica*, n.º 68, Art. n.º 68, ene. 2003, doi: 10.18867/ris.68.212.

5.4. ANEXOS

Anexo 1. Función para Cargar de Datos.

```
%% Universidad Técnica de Ambato
%% Maestría en Ingeniería Civil Mención Estructuras Metálicas
%% Función para Cargar Datos
%% Autor: Pablo Fidel Gamboa Armijo

function [variable, Nombre]=Lectura()
[Nombre Ruta]=uigetfile('.txt');
variable=load([Ruta Nombre]);
end
```

Anexo 2. Rutina de Filtrado de acelerogramas.

```
%% Universidad Técnica de Ambato
%% Maestría en Ingeniería Civil Mención Estructuras Metálicas
%% Programa para Filtrado del Registro de Acelerogramas
%% Autor: Pablo Fidel Gamboa Armijo

clear all
close all
clc

% Datos de ingreso para cargar registros

Nu=2; % Número de registros hacer
llamados [u]. % Factor de muestreo en [s].
dt= 0.01;

% Ciclo repetitivo para cargado de n datos

j=1;

while j<Nu+1;

    [variable, Nombre]=Lectura(); % Función para seleccionar los
    datos. % Vector de almacenamiento de
    aSF(:,j)=variable;
    los acelerograma en [g].
    a{j}=['REGISTRO ',num2str(Nombre)];
    Nom=char(a);
    j=j+1; % Comando de auto suma.

end

% Datos de ingreso para filtrado de registro

n=4; % Coeficiente butter de orden
N.

for l=1:Nu
```

```

% Eliminación del ruido del registro

    T(:,l)=0:dt:dt*(length(aSF(:,l))-1); % Determinación del vector
tiempo [s]. % La frecuencia.
    Fs=1/dt; % La frecuencia.
    Fnyq=Fs/2; % Eliminación de ruido
    [b1,a1]=butter(n,[0.1/Fnyq, 20/Fnyq],'bandpass'); % Eliminación de ruido
mediante butter. % Limpieza del ruido en la
    aF(:,l)=filter(b1,a1,aSF(:,l)); % Limpieza del ruido en la
aceleración.

% Cálculo de velocidad y aceleración sin filtrar

    vSF(:,l)=cumtrapz(T(:,l),(aSF(:,l)*981)); % Obtención de la velocidad
sin filtrar [cm/s]. % Obtención del desplazamiento
    dSF(:,l)=cumtrapz(T(:,l),vSF(:,l)); % Obtención del desplazamiento
sin filtrar [cm].

% Cálculo de velocidad y aceleración con filtrado

    vF(:,l)=cumtrapz(T(:,l),(aF(:,l)*981)); % Obtención de la velocidad
filtrado [cm/s]. % Obtención del desplazamiento
    dF(:,l)=cumtrapz(T(:,l),vF(:,l)); % Obtención del desplazamiento
filtrado [cm].

% Guardado de datos corregidos de aceleración

    aFG=aF(:,l);

    save(Nom(l,:), 'aFG', '-ascii')

end

% Gráfico de aceleración, velocidad, desplazamiento sin y con filtrado

for l=1:Nu

    figure(l)

    subplot(3,1,1)
    plot(T(:,l),(aSF(:,l)), 'Color','r'); hold on
    plot(T(:,l),(aF(:,l)), 'Color','k'); hold on
    xlabel('Tiempo [s]')
    ylabel('a[g]')
    title(['ACELERACIÓN FILTRADA DEL ' num2str(Nom(l,1:end-4))], 'FontSize',12);

    subplot(3,1,2)
    plot(T(:,l),vSF(:,l), 'Color','r'); hold on
    plot(T(:,l),vF(:,l), 'Color','k'); hold on
    xlabel('Tiempo [s]')
    ylabel('v[cm/s]')
    title(['VELOCIDAD FILTRADA DEL ' num2str(Nom(l,1:end-4))], 'FontSize',12);

    subplot(3,1,3)
    plot(T(:,l),dSF(:,l), 'Color','r'); hold on
    plot(T(:,l),dF(:,l), 'Color','k'); hold on
    xlabel('Tiempo [s]')
    ylabel('d[cm]')
    title(['DESPLAZAMIENTO FILTRADO DEL ' num2str(Nom(l,1:end-4))], 'FontSize',12)

end

```

Anexo 3. Función de Interpolación.

```
%% Universidad Técnica de Ambato
%% Maestría en Ingeniería Civil Mención Estructuras Metálicas
%% Función Para Interpolación por el Método de Chopra
%% Autor: Pablo Fidel Gamboa Armijo

function [u, v] = interpolation(xi,m,k,E,dt,wn)
wd = wn*sqrt(1-xi^2);

ep = exp(-xi*wn*dt);
sq = sqrt(1-xi^2);
si = sin(wd*dt);
co = cos(wd*dt);

A = ep*(xi/sq*si+co);
B = ep*(1/wd*si);
C = 1/k*(2*xi/(wn*dt)+ep*((1-2*xi^2)/(wd*dt)-xi/sq)*si-(1+2*xi/(wn*dt))*co);
D = 1/k*(1-2*xi/(wn*dt)+ep*((2*xi^2-1)/(wd*dt)*si+2*xi/(wn*dt)*co));
Ap = -ep*(wn/sq*si);
Bp = ep*(co-xi/sq*si);
Cp = 1/k*(-1/dt+ep*(wn/sq+xi/(dt*sq))*si+1/dt*co);
Dp = 1/(k*dt)*(1-ep*(xi/sq*si+co));

u = zeros(length(E),1);
v = zeros(length(E),1);
u(1) = 0;
v(1) = 0;
for i = 1:length(E)-1
    u(i+1) = A*u(i)+B*v(i)+C*(-m*E(i))+D*(-m*E(i+1));
    v(i+1) = Ap*u(i)+Bp*v(i)+Cp*(-m*E(i))+Dp*(-m*E(i+1));
end
end
```

Anexo 4. Rutina de generación de espectros de los acelerogramas.

```
%% Universidad Técnica de Ambato
%% Maestría en Ingeniería Civil Mención Estructuras Metálicas
%% Programa para Generar Espectro de Aceleración y SRSS
%% Autor: Pablo Fidel Gamboa Armijo

clear all
close all
clc

% Datos de ingreso para cargar registros

Nu=2; % Número de registros
corregidos hacer llamados [u].
dt= 0.01; % Factor de muestreo en [s].

% Ciclo repetitivo para cargado de n datos

j=1;

while j<Nu+1;

    [variable, Nombre]=Lectura(); % Función para seleccionar
```

```

los datos.
    aF(:,j)=9.81*variable; % Vector de almacenamiento
de la aceleración en [m/s^2].
    a{j}=num2str(Nombre);
    Nom=char(a);
    Nomb(j,:)=['ESPECTRO ' Nom(j,10:end)];
    j=j+1; % Comando de auto suma.

end

for l=1:Nu

    E=aF(:,l);

    % Imput de estructura

    xi=0.05; % Amortiguamiento del 5%.
    m= 1; % Masa [kg].
    T=(0.005:0.005:3)'; % Vector del periodo desde
0.005 hasta 3[s].
    omn=2*pi./T; % Frecuencia [Hz].
    K= m.*omn.*omn; % Rigidez.

    % Método de Chopra

    D = zeros(length(T),1);

    for j=1:length(T)
        wn=omn(j);
        k=K(j);
        [u,v]= interpolation(xi,m,k,E,dt,wn); % Interpolación por el
Método de Chopra.

        D(j)=max(abs(u));
    end

    V=omn.*D; % Cálculo de la Velocidad
[m/s].
    Ea(:,l)=omn.*omn.*D; % Cálculo del Espectro de la
Aceleración [m/s^2].
    Ea(:,l)=Ea(:,l)/9.81; % Cálculo del del Espectro
de la Aceleración [g].

    % Guardado de espectro de aceleración

    Eag=Ea(:,l);

    save(Nomb(l,:), 'Eag', '-ascii')

end

for l=1:Nu

    % Gráfica del espectro de acelración en las componentes de NS o EO

    figure (l)
    plot(T,Ea(:,l)); hold on
    title('Espectro de Aceleración','FontSize',10);
    xlabel('Tiempo [s]')
    ylabel('Aceleración [g]')

```

```

    set(legend(Nomb(1,1:end-4)), 'Location', 'Northeast')
    set(gca, 'FontSize', 12);
    box on; grid on;

end

Sx=1;
Sy=2;

for h=1:Nu/2

% Utilización del método SRSS

    EaT(:,h)=sqrt((Ea(:,Sx).^2)+(Ea(:,Sy).^2));           % El método SRSS [g].

% Guardado de espectro de aceleración

    ESRSSg=EaT(:,h);

    save([Nomb(Sx,1:end-6) 'SRSS.txt'], 'ESRSSg', '-ascii')

% Gráfica de espectro de aceleración SRSS

    figure(1+h)
    plot(T,EaT(:,h)); hold on

    title('Espectro de Aceleración SRSS', 'FontSize', 10);
    xlabel('Tiempo [s]')
    ylabel('Aceleración [g]')
    set(legend(Nomb(Sx,1:end-6)), 'Location', 'Northeast')
    set(gca, 'FontSize', 12);
    box on; grid on;

    Sx=Sx+2;                                           % Comando de auto suma.
    Sy=Sy+2;                                           % Comando de auto suma.

end

```

Anexo 5. Rutina de generación de espectro elástico de diseño para 475 años.

```

%% Maestría en Ingeniería Civil Mención Estructuras Metálicas
%% Programa para Espectro Elástico de Diseño para un Retorno Sísmico de 475 Años
%% Autor: Pablo Fidel Gamboa Armijo

clear all
close all
clc

% Datos de ingreso.
% Para un período de retorno sísmico de 475 años en un suelo de tipo E.

Z=0.28;                                               % Factor de zonificación Z obtenido de
de las curvas de peligrosidad sísmica.                % de la interpolación de valores para
Fa=1.43;                                               % Coeficiente de amplificación del
espectro elástico de aceleración obtenido             % de la interpolación de valores para
el factor de zonificación Z.                           % de la interpolación de valores para
Fs=1.66;                                               % Coeficiente de amplificación del
espectro elástico de desplazamiento obtenido

```

```

el factor de zonificación Z..
Fd=1.72;
lineal del suelo obtenido.

el factor de zonificación Z.
Sa1=0.72;
aceleración para un periodo de 0.1s
r=1.5;
geográfica del proyecto.
PhiP=1.0;
planta.
PhiE=1.0;
elevación.
I=1.0;
R=1.0;
sísmica.

% Cálculo del factor n.

n=Sa1/Z;

% Cálculo de período límite de vibración.

To=round((0.1*Fs*(Fd/Fa)),2);
Tc=round((0.55*Fs*(Fd/Fa)),2);

% Cálculo de espectro elástico.

T=(0.005:0.005:3);
entre 0.005 a 3.

for j=1:length(T)
    if T(1,j)<=To;

        Sa(1,j)= Z*Fa*(1+(n-1)*((T(1,j))/To));
        gravedad entre los periodos de T=0.005 y T=To.

    else

        if T(1,j)<=Tc;

            Sa(1,j)= n*Z*Fa;
            gravedad entre los periodos T=To y T=Tc.

        else

            Sa(1,j)=n*Z*Fa*((Tc/(T(1,j)))^r);
            gravedad entre los periodos T=Tc y T=3.

        end
    end
end

% Cálculo de espectro inelástico.

SaR=(Sa*I)/(R*PhiP*PhiE);
SaR=transpose(SaR);

```

```

% de la interpolación de valores para
% Coeficiente del comportamiento no
% de la interpolación de valores para
% Espectro de respuesta elástico de
% Factor dependiente de la ubicación
% Coeficiente de regularidad en
% Coeficiente de regularidad en
% Coeficiente de Importancia.
% Factor de reducción de resistencia
% Razón entre Sa(T=0.1s) y PGA.
% Determinación del periodo en [s]
% Cálculo de la aceleración en
% Cálculo de la aceleración en
% Cálculo de la aceleración en
% Espectro de diseño elástico [g].

```

```

% Guardado de Espectro de Diseño Elástico.

save('ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO PARA 475 AÑOS.txt','SaR','-ascii')

% Gráfica del Espectro de Diseño Inelástico.

subplot(1,1,1);
plot(T,SaR); hold on
title('ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO','FontSize',12);
xlabel('T [s]','FontSize',10);
ylabel('Sa [g]','FontSize',10);
legend({'Espectro Elástico de Diseño para 475 Años'},'FontSize',12);
legend('boxoff');
text(2.5,1.000,{'DATOS:','FontSize',12});
text(2.65,0.950,{'Z=' num2str(Z)},'FontSize',12);
text(2.65,0.900,{'Fa=' num2str(Fa)},'FontSize',12);
text(2.65,0.850,{'Fs=' num2str(Fs)},'FontSize',12);
text(2.65,0.800,{'Fd=' num2str(Fd)},'FontSize',12);
text(2.65,0.750,{'Sa1=' num2str(Sa1)},'FontSize',12);
text(2.65,0.700,{'r=' num2str(r)},'FontSize',12);
text(2.65,0.650,{'n=' num2str(n)},'FontSize',12);
box on; grid on;

```

Anexo 6. Rutina de generación de espectro elástico de diseño para 2500 años.

```

%% Universidad Tecnica de Ambato
%% Maestría en Ingeniería Civil Mención Estructuras Metálicas
%% Programa para Espectro Elástico de Diseño para un Retorno Sísmico de 2500 Años
%% Autor: Pablo Fidel Gamboa Armijo

clear all
close all
clc

% Datos de ingreso.
% Para un para periodo de retorno sísmico de 2500 años en un suelo de tipo E.

Z=0.47; % Factor de zonificación Z obtenido
de las curvas de peligrosidad sísmica.
Fa=1.02; % Coeficiente de amplificación del
espectro elástico de aceleración obtenido % de la interpolación de valores para

el factor de zonificación Z.
Fs=1.97; % Coeficiente de amplificación del
espectro elástico de desplazamiento obtenido % de la interpolación de valores para

el factor de zonificación Z..
Fd=1.53; % Coeficiente del comportamiento no
lineal del suelo obtenido. % Coeficiente del
comportamiento no lineal del suelo. % de la interpolación de valores para

el factor de zonificación Z.
Sa1=1.1; % Espectro de respuesta elástico de
aceleración para un periodo de 0.1s
r=1.5; % Factor dependiente de la ubicación
geográfica del proyecto.
PhiP=1.0; % Coeficiente de regularidad en

```

```

elevación.
I=1.0; % Coeficiente de Importancia.
R=1.0; % Factor de reducción de resistencia
sísmica.

% Cálculo de factor n.

n=Sa1/Z; % Razón entre Sa(T=0.1s) y PGA.

% Cálculo de período límite de vibración.

To=round((0.1*Fs*(Fd/Fa)),2);
Tc=round((0.55*Fs*(Fd/Fa)),2);

% Cálculo de espectro elástico.

T=(0.005:0.005:3); % Determinación del periodo en [s]
entre 0.005 a 3.

for j=1:length(T)

    if T(1,j)<=To;

        Sa(1,j)= Z*Fa*(1+(n-1)*((T(1,j))/To)); % Cálculo de la aceleración en
gravedad entre los periodos de T=0.005 y T=To.

    else

        if T(1,j)<=Tc;

            Sa(1,j)= n*Z*Fa; % Cálculo de la aceleración en
gravedad entre los periodos T=To y T=Tc.

        else

            Sa(1,j)=n*Z*Fa*((Tc/(T(1,j)))^r); % Cálculo de la aceleración en
gravedad entre los periodos T=Tc y T=3.

        end

    end

end

% Cálculo de espectro inelástico.

SaR=(Sa*I)/(R*PhiP*PhiE); % Espectro de diseño elastico [g].
SaR=transpose(SaR);

% Guardado de Espectro de Diseño Inelástico.

save('ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO PARA 2500 AÑOS.txt','SaR','-ascii')

% Gráfica del Espectro Elástico de Diseño.

subplot(1,1,1);
plot(T,SaR); hold on
title('ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO','FontSize',10);
xlabel('T [s]','FontSize',10)
ylabel('Sa [g]','FontSize',10);
legend({'Espectro Elástico de Diseño para 2500 Años'},'FontSize',12);
legend('boxoff');
text(2.5,1.10,{'DATOS:'},'FontSize',12);

```

```

text(2.65,1.05,{'Z=' num2str(Z)},'FontSize',12);
text(2.65,1.00,{'Fa=' num2str(Fa)},'FontSize',12);
text(2.65,0.95,{'Fs=' num2str(Fs)},'FontSize',12);
text(2.65,0.90,{'Fd=' num2str(Fd)},'FontSize',12);
text(2.65,0.85,{'Sa1=' num2str(Sa1)},'FontSize',12);
text(2.65,0.80,{'r=' num2str(r)},'FontSize',12);
text(2.65,0.75,{'n=' num2str(n)},'FontSize',12);
box on; grid on;

```

Anexo 7. Rutina para comparar los espectros.

```

%% Universidad Técnica de Ambato
%% Maestría en Ingeniería Civil Mención Estructuras Metálicas
%% Programa para Escalamiento de Espectros
%% Autor: Pablo Fidel Gamboa Armijo

clear all
close all
clc

% Datos de ingreso para cargar de espectros

Nu=6; % Número de espectros hacer llamados
[u]. % Rango de periodo inicial de la
Tei=0.15; % Rango de periodo final de la
estructura en [s]. % Rango de periodo final de la
Tef=0.75; % Rango de periodo final de la
estructura en [s]. % Periodo de cálculo [s].
dt=0.005;

% Ciclo repetitivo para cargado de n datos

j=1;

while j<Nu+1;

    [variable, Nombre]=Lectura(); % Función para seleccionar los datos.
    ES(:,j)=variable; % Vector de almacenamiento de los
    espectros en [g]. % Vector de almacenamiento de los
    a{j,:}=num2str(Nombre(1,1:end-4)); % Vector de almacenamiento de los
    nombres de los espectros. % Comando de auto suma.
    j=j+1;

end

Te=Tei; % Periodo de la estructura en [s].

T=(dt:dt:3)'; % Vector del Tiempo en [s].

nom{1,1}=a{1,1};

% Gráfica de los Espectro vs el Espectro Inelástico de Diseño

figure (1)

for l=1:Nu

    plot(T, (ES(:,l))); hold on

end

```

```

title('ESPECTROS VS ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO','FontSize',12);
xlabel('T [s]','FontSize',12);
ylabel('Sa [g]','FontSize',12);

set(legend(a{:,:}),'Location','Northeast','FontSize',12);
legend('boxoff');
box on; grid on;

w=0;

for y=Tei:0.05:Tef

    w=w+1;

    % Cálculo de Periodo máximo y mínimo

    Tmin=0.2*Te;           % Periodo mínimo en [s].
    Tmax=1.5*Te;          % Periodo máximo en [s].

    % Programa que permite el escalamiento del Espectro de Aceleración

    ESS(:,:)=ES(:,:);     % Almaceno los datos de los espectros
en otra matriz para     % luego escalarlos en [g].

    P=1;
    D=1;

    Facg(w,D)=ESS(1,D)/ES(1,D); % Almacena el factor de escalamiento
del espectro de         % diseño inelástico en [g].

    for R=1:1:Nu-1

        P=P+1;
        h=0;
        D=D+1;

        for L=dt:dt:Tmin-dt

            h=h+1;         % Realiza un auto contador para
encontrar la posición   % del valor de la aceleración antes del
Tmin en [u].

            end

            for L=Tmin:dt:Tmax

                h=h+1;     % Realiza un auto contador para
encontrar la posición   % del valor de la aceleración entre del
Tmin y Tmáx en [u].

                if ESS(h,1)>ESS(h,P) % Realiza un prueba lógica para escalar
el espectro.

```

```

        Fac=ESS(h,1)/ESS(h,P);           % Escala el espectro siempre y cuando
la prueba logica                        % sea verdadera.

        ESS(:,P)=ESS(:,P)*Fac;

        end

    end

    Facg(w,D)=(ESS(1,D)/ES(1,D));        % Almacena los factores de escalamiento
de cada espectro.

    end

% Almacenamiento de los nombres de los espectros incluyendo el factor de escala.

    for l=2:Nu

        nom{l,:}=[a{l,:} ' ESCALADO POR UN FACTOR DE ' num2str(Facg(w,l))];

    end

% Valor máximo de la matriz ESS

    Em=max(ESS,[],'all');

% Los límites inferior y superior para evaluar

    Lminx(1,1)=Tmin;
    Lminy(1,1)=0;

    Lminx(2,1)=Tmin;
    Lminy(2,1)=Em;

    Lmaxx(1,1)=Tmax;
    Lmax(1,1)=0;

    Lmaxx(2,1)=Tmax;
    Lmaxy(2,1)=Em;

% Guardado de Espectro de Aceleración Escalados

    for c=2:Nu

        ESSg(:,c-1)=ESS(:,c);           % Almacenamiento de los espectros
escalados.

    end

    save(['ESPECTROS ESCALADOS PARA UN PERIODO DE LA ESTRUCTURA DE ' num2str(Te) 's.
txt'],'ESSg','-ascii')

% Gráfica de los Espectro Escalados vs el Espectro elástico de Diseño.

    figure (w+1)

    for l=1:Nu

        plot(T,(ESS(:,l))); hold on

    end

```

```

plot(Lminx,Lminy,"r--"); hold on
plot(Lmaxx,Lmaxy,"r--"); hold on
text(Tmin-0.03,-0.1,'0.2T','FontSize',12);
text(Tmax-0.03,-0.1,'1.5T','FontSize',12);
title(['ESPECTROS ESCALADOS VS ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO PARA UN PERIODO ✓
ESTRUCTURAL DE ' num2str(Te) 's'],'FontSize',12);
xlabel('T [s]','FontSize',12);
ylabel('Sa [g]','FontSize',12);
set(legend(nom{:,:}),'Location','Northeast','FontSize',12);
legend('boxoff');
box on; grid on;

Te=Te+0.05;

end

```