



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ESPECTRO DE DISEÑO OBTENIDO A
PARTIR DE REGISTROS SÍSMICOS DEL CISMID DE LA ZONA SISMICA
Z2 EN FUNCIÓN DEL ESPECTRO DE DISEÑO DE LA NORMA TECNICA
E030-2018 PARA LA ZONA SÍSMICA Z2

INGENIERÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Presentado por.

Bach. Patt Jill Pinto Latorre

Para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Dr. Eliot Pezo Zegarra

Cusco – Perú

2017



DEDICATORIA

Dedico esta investigación a Dios a quien le debo todo en la vida.

A mis padres Patricia y Wilbert y a mi hermana Daniela por ser mi soporte, siempre con tanto amor, tanta alegría, tanto aliento, por estar siempre a mi lado.

A mi familia y los amigos que se convirtieron en familia por no dejarme desistir nunca y poder así concluir esta tesis.

A Ludo por estar conmigo en todo momento, que, por su insistencia, su cariño, su paciencia, su apoyo pude terminar con esta etapa.

Sin ustedes no hubiera sido posible.



AGRADECIMIENTOS

Al CISMID por ayudarme con los registros, y sobre todo al ingeniero Lucio Estacio quien me apoyo inmensamente con libros, referencias y datos.

A mi amigo, el Ingeniero Jesús Angulo por ayudarme con la idea de esta investigación y por todo el soporte que me dio en el camino.

A la ingeniera Mitzy Gudiel, quien me apoyo con su experiencia y conocimiento en la etapa más difícil de una tesis de investigación: eruir la idea de la tesis, por exigirme a construir los primeros bocetos de la tesis de una manera sólida, técnica y con sustento, siempre con mucha paciencia, ánimo y cariño.

Al ingeniero Eliot Pezo, mi asesor, por todo su apoyo, tiempo y paciencia, pero sobre todo por sus conocimientos que aportaron inmensamente a la conclusión de esta investigación, por siempre alentarme a cuestionar, entender y mejorar cada parte de la investigación.

Al ingeniero Milton Merino por su apoyo incondicional como guía en las cuestiones administrativas del proceso de la tesis.

Finalmente, a todos mis profesores de la universidad a quienes recuerdo con mucha alegría y gratitud, por sus enseñanzas, su paciencia y su cariño que llevo siempre conmigo, a donde quiera que voy.



RESUMEN

El presente trabajo de investigación analiza los espectros de aceleración brindados por la NTE030-2018 para la zona sísmica z2 y los compara con un espectro de diseño construido a partir de registros acelerométricos o acelerogramas de sismos ocurridos en la misma zona sísmica, estos registros fueron filtrados, corregidos y escalados de acuerdo a la bibliografía consultada, posteriormente mediante el software SeismoSignal, se obtiene un espectro de respuesta de cada sismo, este se ubica dentro de un perfil de suelo estipulado por la norma de acuerdo a sus aceleraciones máximas, del promedio de los espectros que pertenecen a cada perfil de suelo, se obtiene además una desviación estándar y se construye un espectro de diseño. los espectros fueron analizados y comparados para cada perfil de suelo encontrando diferencias.

Palabras clave: aceleración, zona sísmica, máxima, nte030-2018, z2, acelerograma, espectro, SeismoSignal, promedio, desviación estándar, perfil de suelo.



ABSTRACT

This research work analyzes the acceleration spectra provided by the NTE030-2018 for the seismic zone z2 and compares them with a design spectrum constructed from accelerometric records or accelerograms of earthquakes that occurred in the same seismic zone, these records were filtered, corrected and scaled according to the bibliography consulted, later using the SeismoSignal software, a response spectrum of each earthquake is obtained, this is located within a ground profile stipulated by the norm according to its maximum accelerations, of the average of the spectra that belong to each ground profile, a deviation is also obtained and a design spectrum is constructed. the spectra were analyzed and compared for each ground profile, finding differences.

Keywords: acceleration, seismic zone, maximum, nte030-2018, z2, accelerogram, spectrum, SeismoSignal, average, standard deviation, ground profile.



INTRODUCCIÓN

En el Perú hay una enorme cantidad de fallas geológicas a lo largo de la cordillera de los andes que lo atraviesa, montañas, ríos, profundos valles y quebradas que se extienden incluso hacia la selva y costa de su territorio, casi todo el borde de su costa esta encima del área de contacto de dos placas altamente activas: la Placa Sudamericana y la Placa de Nazca y además, el país se encuentra en la zona sísmica llamada cinturón circumpacífico o cinturón de fuego, conocida por haber registrado terremotos de gran escala a nivel mundial. Estas condiciones geológicas y geográficas hacen del Perú un país propenso a recibir sismos de gran magnitud debido a toda la energía acumulada en su suelo.

La NTE030 (2018) determina mediante diferentes tipos de procedimientos las solicitaciones sísmicas que todo edificio y sus partes deberían resistir en caso ocurriera un sismo en el Perú. Conociendo el valor de esta demanda se diseñan las estructuras asegurando que en caso ocurriera un sismo, el edificio presente un comportamiento mínimo de seguridad de acuerdo con su función; este podría sufrir daños, pero no colapsar ni causar daño a la población.

Esta investigación generó una curva que representa la respuesta máxima de aceleración del suelo de acuerdo a los sismos registrados por el CISMID que tuvieron una magnitud de más de 4.5° y cuyo epicentro se ubicó en los distritos considerados como zona sísmica 2 o Z2 por la NTE030 (2018), se calculó el espectro de respuesta de cada sismo con la ayuda del software SeismoSignal, cada espectro se ubicó en el perfil de suelo que le correspondía y se halló el espectro de diseño de cada perfil con el promedio de sus espectros de respuesta. También se generaron los espectros de aceleración del suelo, o espectros elásticos indicados por la NTE030 (2018) para los perfiles de suelo de Z2, finalmente se discutió la correspondencia entre los dos espectros correspondientes a cada perfil de suelo, analizando las partes que construyen sus curvas: como el primer tramo, la plataforma y la constante, cuyos inicios y finales deberían corresponder a los parámetros T_p y T_l estipulados por la norma.

En la búsqueda constante de la actualización y afinación de la norma, este trabajo estudio las particularidades sísmicas de la zona sierra/selva estipulada en la norma como Z2 a partir de 19 sismos cuyo epicentro se ubicó en esta zona y los 140 acelerogramas correspondientes a las estaciones del CISMID que los registraron.



En el capítulo 1 de la tesis se planteó el problema identificándolo, describiéndolo y formulando la parte interrogativa, además de justificar la investigación y detallar sus propios objetivos y limitaciones.

En el capítulo 2 se desarrolló el marco teórico de la tesis citando los principales antecedentes a esta investigación y desarrollando teoría para explicar y entender el proceso de esta investigación, además se planteó la hipótesis y con ella se definieron las variables.

El capítulo 3 habla sobre la metodología de la tesis, el diseño, la población y muestra y los criterios para elegirlos, los instrumentos que fueron necesarios para desarrollar la investigación y el paso a paso de la recolección y el análisis de los datos.

El capítulo 4 habla concisamente de los resultados observados después del análisis de datos y el capítulo 5 genera la discusión que resulta de esta investigación.



Contenido

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT	IV
INTRODUCCIÓN	V
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Identificación Del Problema.....	1
1.1.1 Descripción Del Problema	1
1.1.2 Formulación Interrogativa Del Problema.....	2
1.2 Justificación E Importancia De La Investigación.....	3
1.2.1 Justificación Técnica	3
1.2.2 Justificación Social.....	3
1.2.3 Justificación Por Viabilidad	4
1.2.4 Justificación Por Relevancia	4
1.3 Limitaciones De La Investigación.....	4
1.3.1 Geográfico Y Espacial	4
1.3.2 Teórico	5
1.3.3 Número De Acelerogramas Y Sus Correspondientes Espectros De Respuesta... 5	
1.3.4 Alcance.....	6
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo General Del Estudio	6
1.4.2 Objetivos Específicos	6
2 MARCO TEÓRICO DE LA TESIS.....	7
2.1 Antecedentes De La Tesis	7
2.1.1 Antecedentes A Nivel Nacional	7
2.1.2 Antecedentes A Nivel Internacional	8



2.2	Aspectos Teóricos Pertinentes.....	8
2.2.1	Sismo.....	8
2.2.2	Sismología En El Perú.....	10
2.2.3	Tamaño De Un Sismo	19
2.2.4	Registro De Un Sismo.....	21
2.2.5	Tratamiento De Un Acelerograma Para Generar Un Espectro	26
2.2.6	Análisis Sísmico.....	31
2.2.7	Espectro De Respuesta	37
2.2.8	Espectro De Diseño	45
2.2.9	Espectro De La NTE030-2018.....	48
2.2.10	Sismos Artificiales	53
2.3	Hipótesis	55
2.3.1	Hipótesis General	55
2.3.2	Sub Hipótesis.....	55
2.4	Definición De Variables	56
2.4.1	Variables Independientes	56
2.4.2	Variables Dependientes.....	56
2.4.3	Cuadro De Operacionalización De Variables	57
3	METODOLOGÍA	58
3.1	Metodología De La Investigación	58
3.1.1	Enfoque De La Investigación.....	58
3.1.2	Nivel De La Investigación.....	59
3.1.3	Método De Investigación	59
3.2	Diseño De Investigación.....	60
3.2.1	Diseño Metodológico Experimental.....	60
3.2.2	Tipo Transversal – Descriptivo	60
3.2.3	Diseño De Ingeniería.....	61



3.3	Población Y Muestra	62
3.3.1	Población.....	62
3.3.2	Muestra.....	62
3.3.3	Criterios De Inclusión	64
3.4	Instrumentos	66
3.4.1	Instrumentos De Recolección De Datos.....	66
3.4.2	Instrumentos De Ingeniería	67
3.5	Procedimiento De Recolección De Datos	68
3.5.1	Obtención De Los Registros Sísmicos CISMID	68
3.6	Procedimiento Del Análisis De Datos	69
3.6.1	Obtención Del Factor De Escalamiento	69
3.6.2	Escalamiento, Corrección Y Filtrado Del Sismo.	70
3.6.3	Espectro De Respuesta	75
3.6.4	Espectro De Diseño	77
3.6.5	Sismo Artificial	87
4	RESULTADOS	92
4.1	Del Escalamiento Corrección Y Filtrado.....	92
4.2	De Los Espectros De Diseño	92
4.2.1	Generales	92
4.2.2	Para El Perfil De Suelo S1	92
4.2.3	Para El Perfil De Suelo S2	93
4.2.4	Para El Perfil De Suelo S3	94
4.3	Del Sismo Artificial.....	94
5	Discusión.....	94
	Glosario	96
	Conclusiones	99
	De La Hipótesis General	99



De Las Hipótesis Especificas	99
Recomendaciones.....	100
Referencias	101
Anexos.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – “Clasificación de perfiles de suelo” – (NTE030, 2018).....	50
Tabla 2 – “Factor de suelo “S”” - (NTE030, 2018)	50
Tabla 3 - Periodos T_p y T_I - NT E030 2018	52
Tabla 4 - Factor de Amplificación “C” – NTE030 – 2018	52
Tabla 5 – Cuadro de operacionalización de variables.....	57
Tabla 6, acelerogramas registrados por el CISMID, del 2018 al 2019 - http://cecos.cismid-uni.org/buscar-ultimos-sismos.html	62
Tabla 7 - Muestra de la tesis, sismos representativos de la zona 2	63
Tabla 8 - Estaciones CISMID versus sismos muestra de la investigación.....	65
Tabla 9 – Instrumento de recolección y tratamiento de registro acelerográfico.	66
Tabla 10 – time step de los sismos corregidos y sus correspondientes espectros de respuesta	67
Tabla 11 – Máximo negativo y máximo positivo del registro acelerométrico del sismo 5 en la estación Parque de la Reserva, en las direcciones EO y NS	69
Tabla 12 - Procesamiento del sismo 5 estación Parque de la Reserva (datos después de 0.1t en los anexos).....	74
Tabla 13 – Aceleración máxima de los registros escalados, corregidos y filtrados.....	75
Tabla 14 – Procesamiento del sismo 5 estación Parque de la Reserva más el espectro correspondiente	78
Tabla 15 – Comprobación del perfil del suelo de la estación Parque de la Reserva - Perfil S2	79
Tabla 16 – perfil de suelo de las estaciones CISMID	79
Tabla 17 – aceleraciones y promedio de aceleraciones de las estaciones perfil s1 (dato original vs corregido, filtrado y escalado)	80
Tabla 18 - promedio de aceleraciones de las estaciones todos los perfiles.....	80
Tabla 19 - Promedio y promedio más desviación estándar del perfil de suelo S1.....	81
Tabla 20 – Promedio y promedio más desviación estándar del perfil de suelo S2	81



Tabla 21 - Promedio y promedio más desviación estándar del perfil de suelo S3.....	82
Tabla 22 - Promedio y promedio más desviación estándar del perfil de suelo S4.....	82
Tabla 23 – Promedio, corrección, espectro de respuesta y contenido de frecuencias del Sismo 5 original, estación Decanato FIC-UNI.....	87
Tabla 24 - Promedio, corrección, espectro de respuesta y contenido de frecuencias del Sismo 5 artificial.	90
Tabla 25 - área bajo la curva de los dos espectros comparados para el suelo s1	93
Tabla 26 - área bajo la curva de los dos espectros comparados para el suelo s2	93
Tabla 27 - área bajo la curva de los dos espectros comparados para el suelo s3	94
Tabla 28 – porcentajes de diferencia del área bajo la curva entre el espectro promedio y el espectro de la NTE030-2018 para cada perfil de suelo.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de ondas (QueEsReal, 2019)	9
Figura 2 - Tectónica Peruana - (PREDES, Centro de estudios y prevención de desastres, 2019)	10
Figura 3 - 15 Placas tectónicas mayores - (USGS, 2014)	11
Figura 4 - Falla de Tambomachay - (INGEMMET, 2012)	13
Figura 5 - Terremoto de 1970 - (VadilloVila, 2020).....	14
Figura 6 - Terremoto de Pisco 2007 (La República, 2017).....	15
Figura 7 - Distribución de Isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años (Castillo & Alva, 1993).....	16
Figura 8 - Distribución de Isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 100 años (Castillo & Alva, 1993).....	17
Figura 9 - Mapa de Distribución de Epicentros Mapa Sísmico del Perú periodo 1960- 2017 (Tavera, 2018)	18
Figura 10 - Magnitud en la Escala de Richter (Molina, 2017).....	20
Figura 11 - Sismograma - Sísmica Básica, PUCV Chile	21
Figura 12 - Sismógrafo - www.geofisicasismos.blogspot.pe	22
Figura 13 - Acelerógrafo Obsidian - Sigmetric.com.....	22
Figura 14 – Acelerógrafo modelo TOKYO SOKUSHIN CO. LTD. CV-374 A2 - Colegio De Ingenieros Cusco, Redes Acelerográficas en el Perú.....	23



Figura 15 – Acelerógrafo modelo REFEEK - Colegio De Ingenieros Cusco, Redes Acelerográficas en el Perú.....	24
Figura 16 – Acelerógrafo modelo ETNA, KINEMATRICS - Colegio De Ingenieros Cusco, Redes Acelerográficas en el Perú.....	24
Figura 17 - Acelerograma de un sismo en Japón identificado por 3 estaciones acelerométricas diferentes - https://seismic06g.wordpress.com	25
Figura 18 - Error de ceros en el acelerograma - Hudson, 1979	27
Figura 19 - efecto del ruido, izquierda: alta frecuencia. Derecha: baja frecuencia- Hudson, 1979.	29
Figura 20 - Comportamiento de los filtros ideales paso-bajas, paso-altas y paso banda (E. Carreño, 1999).....	30
Figura 21 - Modelo de un grado de libertad sin amortiguamiento a) esquema, b) diagrama de cuerpo libre (GÓMEZ, 2000).....	32
Figura 22 – a), b), c), d), Oscilador a un grado de libertad, sometido a un impulso - (Barbat, Oller, & Vielma, 2005)	34
Figura 23 - Rango elástico, plástico de una estructura - José Cabrera, Comportamiento estructural.....	40
Figura 24 - Respuesta de los osciladores al sismo - Crisafulli & Villafane.....	42
Figura 25 – a) Respuesta de Butterworth y b) Respuesta de Chebyshev	44
Figura26 - Ejemplo de determinación del espectro de diseño a partir de cuatro espectros de respuestas – Crisafulli & Villafane.	46
Figura 27 - Factores del Espectro Elástico en la Base - Alejandro Muñoz.....	48
Figura 28 - Zonificación Sísmica - NT E030-2018, valores de Z en unidades “g”	49
Figura 29 - Diferenciación entre Z y S para el Perú - Alejandro Muñoz.....	51
Figura 30 – Recorte de la página 50 del anexo II de la NTE030-2018.....	64
Figura 31 - acelerograma sismo 16 febrero del 2005 en tres direcciones - Reserva Nacional de Junín, Junín.....	65
Figura 32 – Impresión de pantalla de descarga del archivo zip con los datos del sismo 19. ...	68
Figura 33 – impresión de la pantalla de entrada del software, con la licencia académica activada	70
Figura 34 – impresión de pantalla del SeismoSignal, abrir archivo.....	70
Figura 35 – impresión de pantalla del SeismoSignal, ingresar parámetros del archivo.....	71
Figura 36 - impresión de pantalla del SeismoSignal, ingresar nuevo time step.....	71



Figura 37 – Error de procesamiento para más de 32768 líneas de datos para el sismo 17 en la estación Puente Piedra.....	72
Figura 38 - impresión de pantalla del SeismoSignal después de todos los parámetros ingresados	72
Figura 39 - Impresión de pantalla del SeismoSignal - colocación de parámetros de corrección de línea base y filtrado	73
Figura 40 - Impresión de pantalla del SeismoSignal – registro del sismo 5 en la Estación Parque de la Reserva dirección EO después del escalamiento, la corrección y el filtrado	74
Figura 41 - Impresión de pantalla del SeismoSignal – generación del grafico del espectro de respuesta del registro 5, estación Parque de la Reserva, dirección N-S.....	76
Figura 42 – Impresión de pantalla de los registros exportados en la Estación Parque de la Reserva.....	77
Figura 43 – captura de pantalla: área bajo la curva de los diferentes espectros.....	83
Figura 44 – Curvas de los valores de la Tabla 19 - perfil de suelo s1.....	83
Figura 45 – Área bajo la curva de los 3 tramos del espectro de la norma vs el espectro promedio, para el suelo S1	84
Figura 46 – Curvas de los valores de la Tabla 20- perfil de suelo s2.....	84
Figura 47 – Área bajo la curva de los 3 tramos del espectro de la norma vs el espectro promedio, para el suelo S2	85
Figura 48 – Curvas de los valores de la Tabla 21- perfil de suelo s3.....	85
Figura 49 – Área bajo la curva de los 3 tramos del espectro de la norma vs el espectro promedio, para el suelo S3	86
Figura 50 – Curvas de los valores de la Tabla 22 - Promedio y promedio más desviación estándar del perfil de suelo S4 - perfil de suelo s4.....	86
Figura 51 - Ingreso del promedio de las dos direcciones del sismo 5 original al software SeismoSignal.....	87
Figura 52 - Contenido de frecuencias del sismo 5 estación Decanato FIC-UNI	88
Figura 53 - suma de las funciones trigonométricas a lo largo del tiempo.....	88
Figura 54 - sismo artificial en función de las frecuencias de la fuente	89
Figura 55 - Ingreso del sismo 5 artificial al software SeismoSignal.....	89
Figura 56 - Sismo Original escalado vs Sismo Artificial escalado	90
Figura 57 – Espectro del Sismo Original vs Espectro del Sismo Artificial	91
Figura 58 - Contenido de frecuencias Sismo Original vs Sismo Artificial	91
Gráfico 59 - Estación decanato - s1	105



Figura 60 - Laboratorio Nacional de Hidráulica – UNI – s1	106
Figura 61 - San Antonio marianistas – s1	106
Figura 62 - SENCICO Huancayo s1	107
Figura 63 - SENCICO Trujillo s1	107
Figura 64 - Departamento Académico de estructuras s2.....	108
Figura 65 - Estación FIGMM - UNI	108
Figura 66 - Parque de la reserva – s2	109
Figura 67 - Villa el salvador – s2	109
Figura 68 - Bomberos 65 SMP – S3	110
Figura 69 - Cerro UNI – S3.....	110
Figura 70 - Puente piedra – s3.....	111
Figura 71 - SENCICO Ayacucho s3	111
Figura 72 - SENCICO Iquitos – s3	112
Figura 73 - SENCICO Piura – s3	112
Figura 74 - SENCICO Cusco – s4	113
Figura 75 - SENCICO Ica – s4.....	113
Figura 76 - UNAP – Puno – s4	114



1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación Del Problema

1.1.1 Descripción Del Problema

La norma peruana idea una sollicitación sísmica en base a estudios dinámicos del suelo y de la zona, también compara los resultados de la demanda sísmica con la de otros países cuya sismo tectónica puede parecerse a los de Perú o la aplicación de sus parámetros funcionan con eficacia para lo que estos países esperan, sin embargo, la constante actualización de la misma aun no llega a valores exactos, siempre sucede un sismo que no se esperaba y la tecnología con la que el Perú cuenta es incipiente, aun no se pueden determinar valores máximos de velocidad, o de desplazamiento, tampoco factores de amplificación para las diferentes zonas sísmicas o los variados perfiles de suelo de nuestro territorio. Estas zonas sísmicas tampoco diferencian la geología de cada lugar del Perú porque consideran el porcentaje de aceleración a recibir de acuerdo con su cercanía a la división de la placa sudamericana y la placa de nazca.

La zona sísmica Z2 de acuerdo con lo antes mencionado probablemente tendrá una respuesta frente a un sismo muy distinta a solo un porcentaje mayor o menor de las aceleraciones esperadas en la costa, es así como la incertidumbre de los valores reales de esta sollicitación sísmica durante la vida útil de las estructuras que se encontraran en Z2, está siempre presente.

Se predice la sollicitación sísmica mediante diferentes tipos de análisis, uno de ellos es el análisis modal espectral el cual aplica un espectro inelástico de pseudo- aceleraciones para las direcciones (norte - sur, este – oeste) de análisis de la estructura requeridas, generando así un valor para la probable fuerza que deberá resistir la estructura. El espectro de diseño que representa esta sollicitación o como se conoce en la norma: Fuerza cortante basal, vista en la ecuación (1) se erige mediante una fórmula construida a partir de varios parámetros que la norma indica:

$$V = \frac{ZUCS}{R} \cdot P \quad (1)$$

- Z: zonificación sísmica
- U: uso del edificio (condiciones particulares del edificio)
- C: factor de amplificación
- S: parámetros del suelo



- R: coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (condiciones particulares del edificio)
- P: peso de la estructura (condiciones particulares del edificio)

Decimos que el espectro es inelástico pues considera los valores referidos estrictamente a la configuración estructural del edificio, sin embargo, mientras el espectro del sismo no haya sido modificado por las condiciones particulares del edificio que se pretende diseñar: como los materiales que lo conforman, su diseño regular o no, o el uso que se le vaya a dar a la edificación, se le considera como elástico.

El espectro elástico representaría entonces el sismo en forma de espectros o valores máximos de aceleración del suelo antes de interactuar con la configuración de la estructura. Este en la NTE030 (2018) estaría determinado por los factores “Z” de zonificación sísmica y “S” de perfil de suelo, además del factor de amplificación sísmica “C” otorgando un valor diferente de aceleración para cada periodo de vibración, dentro de un rango de periodos durante el cual podría vibrar el suelo debido al sismo.

Esta curva espectral está conformada por diferentes partes: como el primer tramo, la plataforma, la zona curva y la constante final, cuyos puntos de inicio y final se determinan mediante parámetros como “Tp”, “Tl” y “C”.

1.1.2 Formulación Interrogativa Del Problema

1.1.2.1 Formulación Interrogativa Del Problema General

¿Para qué valores de periodo del suelo y su correspondiente aceleración se hallan diferencias entre el espectro de diseño generado a partir de sismos registrados por el CISMID en la zona sísmica z2 respecto al espectro de diseño prescrito por la NTE030 (2018) para la zona sísmica Z2?

1.1.2.2 Formulación Interrogativa De Los Problemas Específicos

- a) ¿Las características de la curva de las aceleraciones de los sismos originales registrados por el CISMID son muy diferentes respecto a sus propios escalados y filtrados?



- b) ¿Son las aceleraciones de los espectros de diseño generados a partir de sismos registrados por el CISMID menores con respecto a las aceleraciones del espectro de diseño prescrito por la NTE030 (2018) para la zona sísmica Z2?
- c) ¿Los valores del segundo 0 de los espectros de diseño generados a partir de sismos registrados por el CISMID son distintos a los indicados por la NTE030 (2018) para la zona sísmica Z2?
- d) ¿En cuánto difieren las magnitudes de S_a en la plataforma de los espectros de diseño generados a partir de sismos registrados por el CISMID tienen comparadas con las plataformas indicadas en la NTE030 (2018) para la zona sísmica Z2?

1.2 Justificación E Importancia De La Investigación

1.2.1 Justificación Técnica

Esta investigación se basa en temas referidos a la ingeniería sismorresistente con énfasis en la sismología y la dinámica estructural, se analiza la fuerza de inercia que depende de la aceleración del suelo y su contenido de frecuencias lo cual está estrictamente relacionado con el efecto de resonancia estructural. El diseño estructural prevé que la edificación sea resistente ante la acción del sismo y el estudio evaluó al sismo como la acción dinámica que podría afectarlo.

1.2.2 Justificación Social

La sismicidad es representativa, es decir si un sismo ocurrió en un lugar se espera la ocurrencia de este en similares magnitudes e intensidades, esta afirmación corresponde a estudios probabilísticos a partir de información sísmica necesaria, por ejemplo, según nuestras normas en el Perú la probabilidad de retorno de los sismos es:

- Sismos de magnitudes altas cada 500 años.
- Sismos de magnitudes entre moderadas y altas cada 50 años.

Determinar los valores más cercanos a la realidad para construir espectros de diseño, ofrece la posibilidad de hacer diseños estructurales que resistan más efectivamente a los sismos que probablemente sucederán en la zona.



1.2.3 Justificación Por Viabilidad

En cuanto a la parte de investigación se cuenta con la NTE030 (2018) para la generación de los espectros elásticos que la misma establece, también se tiene acceso a los acelerogramas de 19 sismos de magnitud media – alta (con una intensidad en la escala de Richter de más de 4.5 grados) ocurridos en la zona sísmica estipulada por la norma como “Z2” para la generación de los espectros elásticos promedio de los perfiles de suelo que se encuentren. obtenidos de la página web del CISMID (Cismid, s.f.) desde el año 1951 en todas sus estaciones acelerométricas.

1.2.4 Justificación Por Relevancia

La investigación da argumentos para entender y opinar técnicamente la NTE030 (2018) de acuerdo a la cual son construidas las edificaciones en las cuales pasamos gran parte de nuestras vidas y son parte de nuestro día a día, dar opinión para afinar la norma que se encarga de salvaguardar la integridad de los peruanos será un gran aporte, ya que normas más reales y precisas brindarán además de seguridad y tranquilidad, parámetros correctos para diseñar y posteriormente estructuras efectivamente sin excesos presupuestarios, ni de tiempo de construcción lo cual deriva en mejores proyectos, mayores inversiones y mejor calidad de vida.

Serán beneficiarios también, todos aquellos estudiantes que usen esta investigación como referencia para realizar más y mejores estudios de nuestra normativa de diseño sísmico, pues el estudio otorgará una enorme posibilidad de ser ampliado, para más zonas sísmicas, más perfiles de suelo o usando otras metodologías.

Otros accesos importantes son el software “SeismoSignal” que facilitará la construcción de los espectros de respuesta de estos sismos, además de mucha bibliografía y experiencia compartida de los elaboradores de 2 de las principales tesis que son antecedentes importantes de la investigación.

1.3 Limitaciones De La Investigación

1.3.1 Geográfico Y Espacial

La investigación conto con acceso a todos los acelerogramas que el CISMID había registrado correspondientes a diferentes sismos ocurridos en el Perú desde el año 1951, sin embargo, se limitó el proceso y análisis de datos a los sismos cuya magnitud en la escala de Richter fuera



igual o mayor a 4.5° y cuyo epicentro se haya encontrado dentro de la zona sísmica identificada como zona 2, la cual es conformada por provincias y distritos de la sierra, principalmente, y de la selva del país. El factor de escalamiento a los acelerogramas de los sismos reales está en función de las aceleraciones máximas esperadas que sugiere la norma es decir $0.25g$.

El principal motivo de un estudio tan amplio fue la falta de más estaciones sísmicas en el país y más registros para poder estudiar la sismicidad de cada región más específicamente.

1.3.2 Teórico

Uno de los métodos más utilizados y eficaces para construir espectros de diseño es el de Newmark & Hall (W.J, 1974), pero debido a que nuestros equipos no reciben aceleraciones limpias y aun no hay estimaciones apropiadas de los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo para una determinada zona geográfica como Z2 por ejemplo, los espectros de diseño fueron construidos a partir de estudiar tendencias y usando regresiones basadas en promedios espectrales de sismos registrados en Z2

Además, para lograr espectros de la manera más certera posible, los acelerogramas correspondientes a cada sismo fueron previamente limpiados, filtrados y escalados mediante un el SeismoSignal, un software que agiliza estos procesos.

Los espectros elásticos hallados a partir de la norma se calculan en base al factor de suelo y de zonificación sísmica despreciando los demás parámetros como uso, coeficiente de reducción, peso de la edificación y coeficiente de ampliación.

1.3.3 Número De Acelerogramas Y Sus Correspondientes Espectros De Respuesta.

El estudio fue realizado para la zona sísmica Z2 a partir de 19 sismos enumerados propiamente para su utilización en la tesis y fueron tomados como representativos por ser de más de 4.5 grados en la escala de Richter.

Se usaron acelerogramas de todas las estaciones que registraron los sismos elegidos para el estudio es así que un mismo sismo.

El número de acelerogramas con los que trabajo se redujo pues se consideraron las aceleraciones obtenidas en las direcciones norte sur y este oeste y no los valores de aceleración registrados para el componente vertical.



1.3.4 Alcance

1.3.4.1 Suelo

Del procesamiento de los datos obtenidos de los sismos, de acuerdo con lo indicado en la NTE030 (2018), la mayoría de estos sismos se ubicaron en el perfil de suelo S1, S2 y S3, el estudio muestra todos los resultados donde no se encontró en ningún momento un perfil de suelo tipo s0.

1.3.4.2 Zona sísmica

La zona sísmica elegida fue la Z2 ya que esta zona abarca el departamento del Cusco, además de acuerdo a las conclusiones y recomendaciones de la principal tesis tomada como antecedente para la modificación de la norma el año 2018 “Propuesta Para La Modificación Del Espectro Elástico De La Actual Norma Peruana De Diseño Sismorresistente” (J. Angulo, 2013) del año 2013, la cual estudia solamente la zona Z1 (costa del Perú) y deja abierta la posibilidad de ampliar el estudio.

1.3.4.3 Normativa

La normativa de fondo es la NTE030 (2018),

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General Del Estudio

Determinar los valores de periodo en los que se hallan diferencias entre el espectro de diseño generado a partir de sismos registrados por el CISMID en la zona sísmica Z2 respecto al espectro de diseño prescrito por la NTE030 (2018) para la zona sísmica Z2.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar y comparar las características de la curva de las aceleraciones de los sismos originales registrados por el CISMID con la curva de aceleraciones de sus propios registros escalados y filtrados.
- b) Hallar las aceleraciones de los espectros de diseño generados a partir de sismos registrados por el CISMID menores y los valores de las aceleraciones del espectro de diseño prescrito por la NTE030 (2018) para la zona sísmica Z2



- c) Hallar y comparar los valores del segundo 0 de los espectros de diseño generados a partir de sismos registrados por el CISMID con los valores indicados por la (NTE030, 2018) para la zona sísmica Z2
- d) Encontrar la diferencia de las magnitudes de Sa en la plataforma de los espectros de diseño generados a partir de sismos registrados por el CISMID y las plataformas indicadas en la NTE030 (2018) para la zona sísmica Z2

2 MARCO TEÓRICO DE LA TESIS

2.1 Antecedentes De La Tesis

2.1.1 Antecedentes A Nivel Nacional

A nivel nacional existen estudios previos a la actualización de la norma, y también comparaciones entre la antigua y la actual, basados en metodologías que serán utilizadas en la investigación.

2.1.1.1 Propuesta Para La Modificación Del Espectro Elástico De La Actual Norma Peruana De Diseño Sismorresistente.

La tesis concluye identificando incoherencias entre los espectros elásticos obtenidos de sismos reales y los espectros obtenidos de la antigua NTE030-2010 para la zona costera del Perú y propone la modificación del parámetro T para mejorar la relación entre las dos variables. (Angulo & Azañedo, 2013)

2.1.1.2 Diseño De Un Edificio Con Amortiguadores De Fluido Viscoso En Disposición Diagonal

Tesis de pregrado, en la cual utilizan el método del análisis tiempo historia para generar el probable espectro de aceleraciones al cual será sometida la estructura a diseñar a partir del proceso de los acelerogramas en el software “SeismoSignal”. (D. Guevara Huatuco, P. Torres Arias, 2008) De esta investigación, que hace un diseño sísmico manipulando sismos registrados, se obtuvo información acerca de la manipulación de los sismos para utilizarlos en el diseño estructural mediante el software mencionado.



2.1.1.3 Comportamiento Estructural De Edificaciones Medianas Irregulares De Sistema Dual Aplicando La Nte030 Del 2003 Y El Proyecto De Norma 2014 En Lima Metropolitana

Tesis donde se exponen las diferencias entre los parámetros utilizados para construir el espectro de diseño y cómo estos influyen en el posterior diseño estructural y costos de la estructura. De esta tesis se obtiene información externa sobre la NTE030-2003 y se visualiza la importancia del continuo afinamiento de las normas de diseño. (J. Ramirez Villalva, J. Sanches Obregon , 2014)

2.1.2 Antecedentes A Nivel Internacional

2.1.2.1 Influência de um Amortecedor Magnetoreológico no Isolamento de Base de Edifícios sob Ação Sísmica.

En español: influencia de un amortiguador magnetoreológico en el aislamiento de base de edificio sobre la acción sísmica, tesis de postgrado donde se obtiene información sobre la dinámica de suelos, dinámica de estructuras, contenido de frecuencias y sismos artificiales para ampliar la información aquí presentada y entender el fenómeno del sismo como acción dinámica sobre una estructura (Pezo Zegarra, 2012).

2.1.2.2 Análisis De Interacción Dinámica Suelo – Estructura De Un Edificio Desplantado En La Zona De Lago De La Ciudad De México

Tesis de postgrado que analiza a profundidad la interacción del suelo y la estructura, periodos y frecuencias de interés, también trata espectros de sismos ocurridos en la zona y los manipula para obtener posibles fuerzas sísmicas a las que resistir. La investigación resalta la importancia de analizar el periodo efectivo modificado por la Interacción Dinámica Suelo – Estructura y compararlo con el periodo Dominante del suelo, pues concluye que el periodo efectivo se incrementa y de ese análisis se determina si existe o no el fenómeno de Resonancia entre la estructura y el suelo. (Hernandez Velazco, 2013)

2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes

2.2.1 Sismo

Es un fenómeno natural cuyo movimiento brusco y pasajero, sacude la corteza terrestre. Ocurre por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas, esta energía se acumula



naturalmente debido a movimientos subterráneos de las placas geológicas, movimiento de gases bajo la superficie y actividad volcánica, aunque también el hombre puede ocasionar estas vibraciones en el suelo debido a explosiones, movimientos de vehículos pesados, etc. Los más fuertes se producen por la actividad de fallas geológicas.

El punto de origen de un terremoto se denomina foco o hipocentro. El epicentro es el punto de la superficie terrestre que se encuentra directamente sobre el hipocentro. Dependiendo de su intensidad y origen, un terremoto puede causar desplazamientos de la corteza terrestre, corrimientos de tierras, maremotos (o tsunamis).

2.2.1.1 Propagación Del Sismo

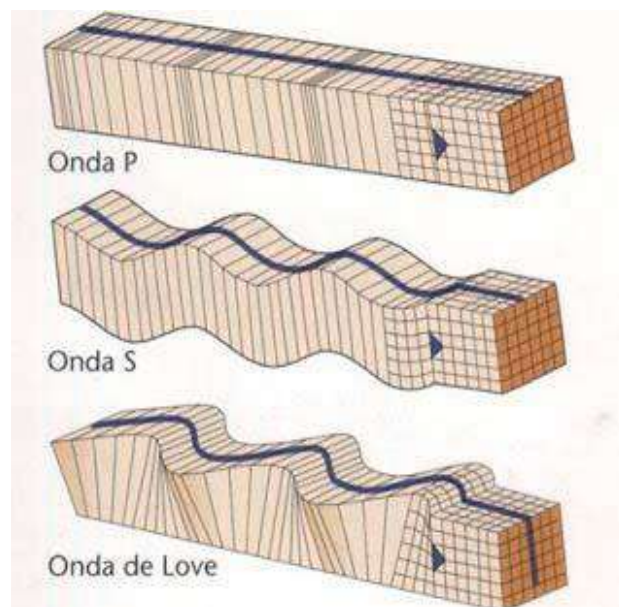


Figura 1 - Tipos de ondas (QueEsReal, 2019)

La energía de un sismo se propaga como sonido y movimiento en vibraciones que se liberan en forma de ondas elásticas, los tipos principales de las ondas de movimiento, causantes del probable daño estructural, se dividen en 3 grupos principales.

Ondas Longitudinales O Primarias.

Son ondas de cuerpo que se propagan a velocidades de 8 a 13 km/s en el mismo sentido que la vibración de las partículas. Circulan por el interior de la Tierra, donde atraviesan líquidos y sólidos. Son las primeras que registran los aparatos de medición o sismógrafos. De ahí su nombre "P".



Ondas Transversales O Secundarias

Son ondas de cuerpo más lentas que las anteriores (entre 4 y 8 km/s). Se propagan perpendicularmente en el sentido de vibración de las partículas. Atraviesan únicamente sólidos. En los sismógrafos se registran en segundo lugar. Se identifican como ondas "S".

Ondas Superficiales

Son las más lentas: 3,5 km/s. Resultan de interacción de las ondas P y S a lo largo de la superficie terrestre. Son las que causan más daños. Se propagan a partir del epicentro. Son similares a las ondas (olas) que se forman sobre la superficie del mar. Las más conocidas son las ondas tipo Love y las ondas tipo Rayleigh.

2.2.2 Sismología En El Perú

2.2.2.1 Sismología

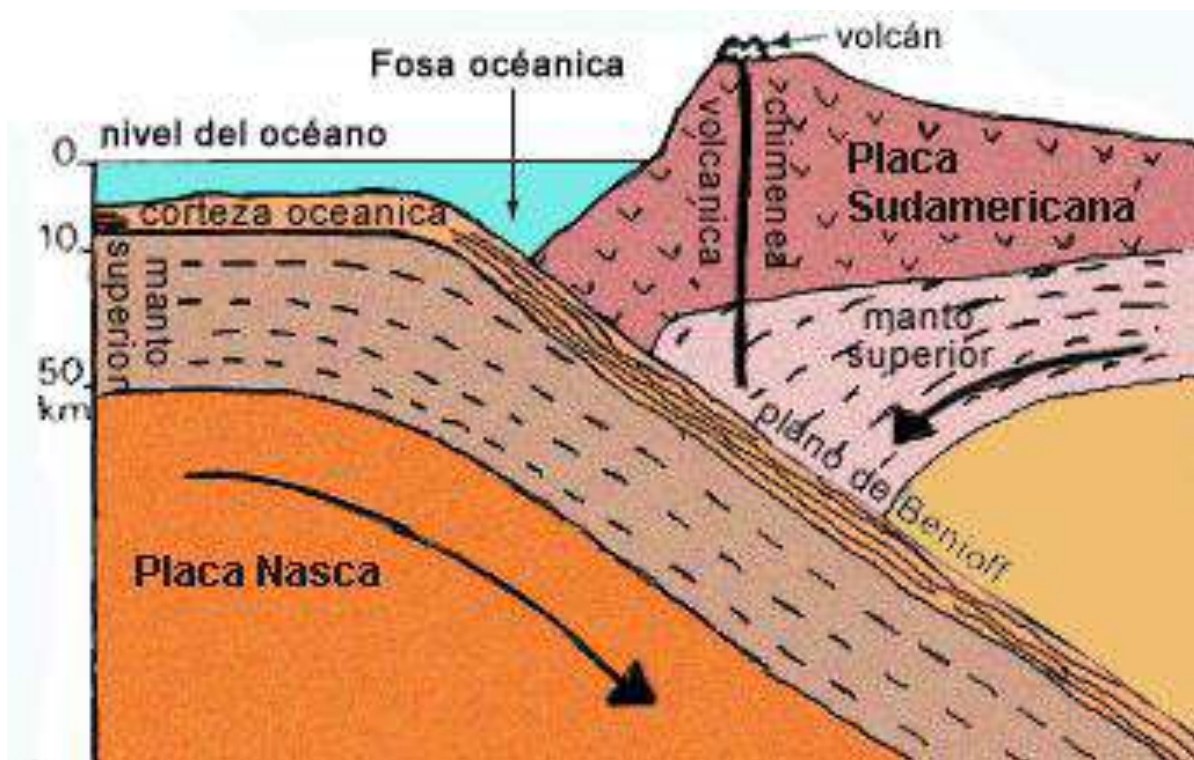


Figura 2 - Tectónica Peruana - (PREDES, Centro de estudios y prevención de desastres, 2019)

La sismología es una rama de la geofísica que se encarga del estudio de terremotos y de la propagación de las ondas mecánicas mediante las cuales transmite su energía determinando el hipocentro o foco de ellas, donde se localizan y la duración de la vibración de estas. También



estudia a las placas tectónicas, las fallas geológicas y las formaciones volcánicas donde principalmente se produce este fenómeno.

2.2.2.2 Sismotectónica En El Perú

“La actividad sísmica en el país es el resultado principalmente de la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana y de los reajustes que se producen en la corteza terrestre como consecuencia de la interacción y la morfología alcanzada por el Aparato Andino”. (Castillo & Alva, 1993)

La región Andina es una de las regiones con más actividad sísmica de la Tierra, debido a la estructura tectónica de su territorio el Perú está expuesto a frecuentes sacudidas como terremotos, sismos y erupciones volcánicas además el margen occidental de América del Sur se localiza encima de dos placas sísmicas lo que en sismología se llama faja sísmica y se encuentra en la línea del cinturón Circumpacífico.

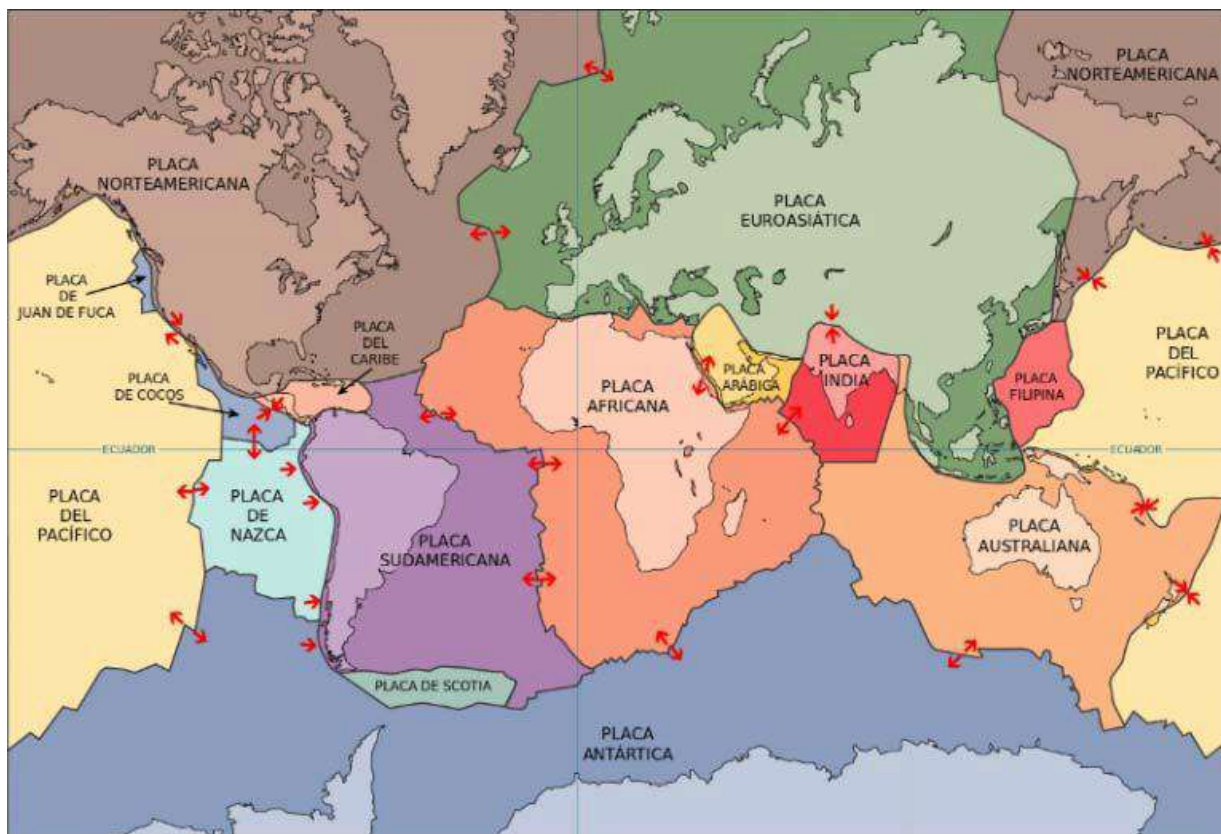


Figura 3 - 15 Placas tectónicas mayores - (USGS, 2014)

El interior de la tierra está formado de la siguiente manera:



- a) Núcleo interno en estado líquido, densidad de 12 a 18 T/m³ y Temperatura 4000 a 5000°C.
- b) Núcleo externo en estado líquido, densidad de 10 a 12 T/m³ y Temperatura de 4000 a 5000°C.
- c) Manto en estado líquido, densidad de 3.3 a 6.0 T/m³ y Temperatura de 1200 a 4000°C.
- d) Corteza que tiene un espesor de 40 km en la zona continental y de 10 km en la parte más delgada bajo los océanos, se encuentra en estado sólido y densidad promedio de 2.70 T/m³ en la corteza se encuentran 15 placas tectónicas mayores y 43 menores que forman la superficie de la Tierra,

Los continuos deslizamientos de las placas tectónicas en su movimiento sobre el manto terrestre fluido se deben a corrientes de materiales (líquidos o gases) que suceden en el mismo manto, a corrientes de convección, y, sobre todo, a la fuerza de la gravedad. Las corrientes de convección ocurren por las diferencias de temperatura y densidad en las diferentes capas de la tierra, así, los materiales más calientes que pesan menos ascienden y los materiales más fríos que son más densos y pesados, descienden.

El constante movimiento de las placas, aproximadamente 2.5cm/año, explica la formación de las cadenas montañosas, “el por qué los terremotos y los volcanes se concentran en regiones concretas del planeta (como el Cinturón de Fuego del Pacífico) o por qué las grandes fosas submarinas están junto a islas y continentes y no en el centro del océano” (Baron, 2013).

2.2.2.3 Sismicidad Por Fallas Geológicas En El Perú

“Los sismos locales y regionales tienen su origen en la existencia de fallas geológicas locales. Estos movimientos telúricos son de menor magnitud, pero al producirse muy cerca de la superficie, tienen un gran poder destructor.” (PREDES Perú, 2012)

Se sabe, que resolver la cuestión sobre la forma de las deformaciones sismogénicas ayudaría a proponer la zona y tamaño del próximo evento. Harry Fielding Reid en 1911 lo logró utilizando datos geodésicos obtenidos por medio de mediciones repetitivas sobre los vértices geodésicos de redes de triangulación, llevadas a cabo sobre la zona epicentral del gran sismo de California en 1906.

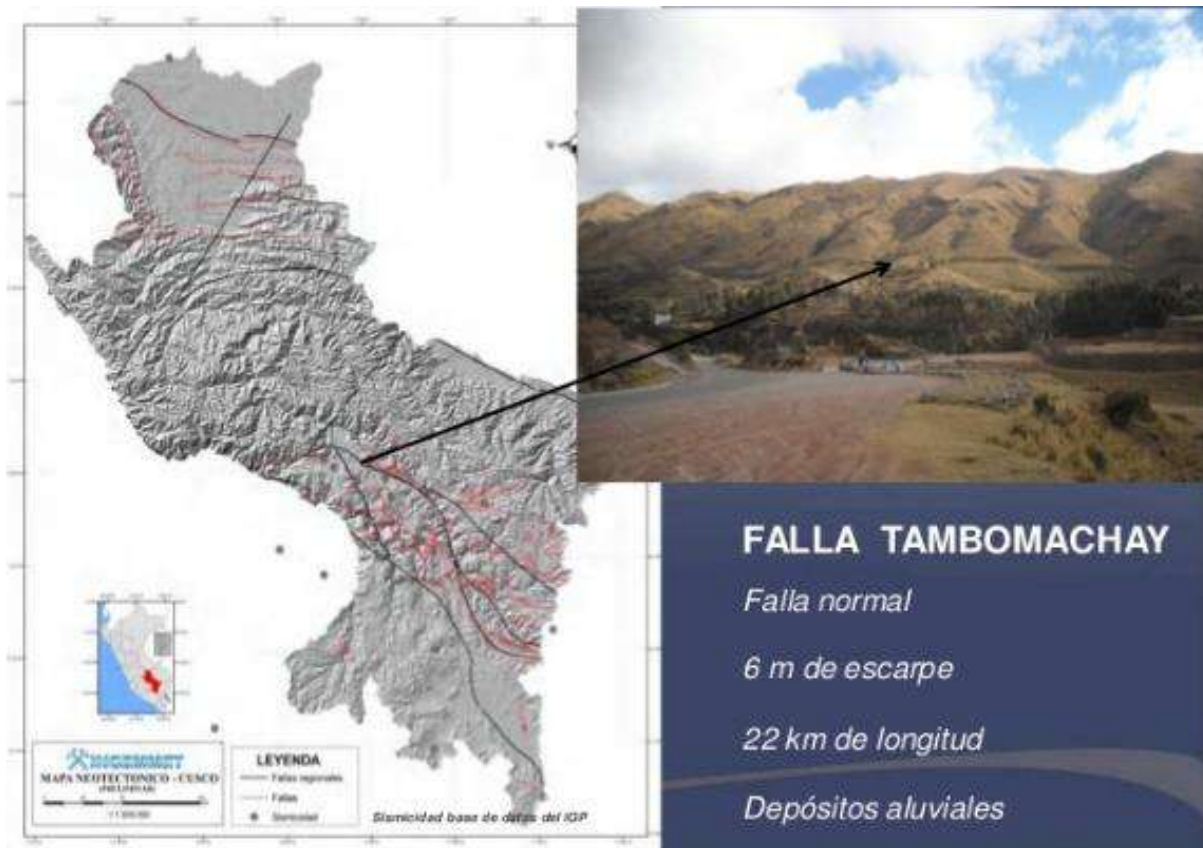


Figura 4 - Falla de Tambomachay - (INGEMMET, 2012)

La sismicidad por fallas geológicas en el Perú está dominada por la cordillera de los Andes, abarcando zonas de sierra y selva; la zona andina cuenta con montañas elevadas y altas mesetas, que se encuentran bordeadas de profundas quebradas por las que pasan los ríos, formando valles y cañones que llegan a la selva y costa del Perú.

Por ejemplo, la región de Cusco está caracterizada por ser una zona de fallamiento de la corteza terrestre.

En total se identificaron 55 estructuras Plio - cuaternarias, a esta región la cruzan los sistemas de fallas geológicas activas: Zurite – Cusco – Urcos - Sicuani, Casacunca – Acomayo – Langui - Layo, Chinchaypujio – Paruro - Acomayo y Ocongate (Benavente, C.; Delgado, G.; Taipe, E.; Audin, L. & Pari, W, 2013)

2.2.2.4 Sismicidad Histórica En El Perú

“El terremoto más destructivo en la historia peruana se produjo en mayo de 1970 en Ancash, el cual causó alrededor de 70 000 víctimas, entre muertos y desaparecidos. Lima tiene una larga historia de sismos. El más grande terremoto fue el de 1746. De 3 000 casas existentes en la



ciudad, sólo quedaron 25 en pie. En el puerto del Callao, debido al tsunami ocurrido después del sismo, de un total de 4 000 personas sólo sobrevivieron 200. Otro terremoto importante ocurrió en 1940, de 8,2 grados Richter, causó 179 muertos y 3 500 heridos.” (PREDES Perú, 2012).



Figura 5 - Terremoto de 1970 - (VadilloVila, 2020)

“La historia más desoladora de Pisco se escribió un 10 de agosto del 2007. A las 18:40 horas, y durante los siguientes dos minutos, la tierra que sostiene Ica hizo un paréntesis para ver pasar sobre sus ojos la furia de la naturaleza. Un terremoto de 7,9 grados en la escala de Richter azotó esta región, así como Chincha, Yauyos, Huaytara, Castrovirreyna y Cañete. Fue el movimiento telúrico más grande que soportó el país después del registrado en 1970. El epicentro del fenómeno se ubicó en las costas del Pacífico, a 40 kilómetros al oeste de Chincha Alta y a 150 kilómetros al suroeste de Lima. Las consecuencias de la energía liberada por la superposición de placas tectónicas fueron brutales”. (La República, 2017)



Figura 6 - Terremoto de Pisco 2007 (La República, 2017)

2.2.2.5 Peligro Sísmico En El Perú

El peligro sísmico es la probabilidad de que ocurra un movimiento sísmico dentro del rango de ciertas intensidades en un lugar determinado. Cuando se habla de intensidad se habla además de varias características del sismo como su aceleración máxima, su contenido de frecuencias, los valores espectrales de velocidad del suelo, desplazamiento del suelo, su magnitud, o cualquier otro parámetro de interés.

“Dentro de la metodología para el cálculo del peligro sísmico se considera que los eventos sísmicos presentan una distribución de Poisson, que se caracteriza por suponer independencia entre los tiempos de ocurrencia, ya que cada uno de los sismos se considera como un evento aislado e independiente. Por ello es necesario depurar del catálogo todas las réplicas y premonitores, quedando los sismos como eventos principales”. (Castillo & Alva, 1993)

En la Figura 7 y la Figura 8 se ve que los valores más altos de aceleración se concentran a lo largo de la costa peruana y van disminuyendo a medida que se avanza hacia el oriente. Estos valores en las figuras se consideran a nivel de roca o suelo firme sin considerar la influencia de las condiciones locales, ni los efectos de interacción suelo – estructura debido a alguna estructura en particular.

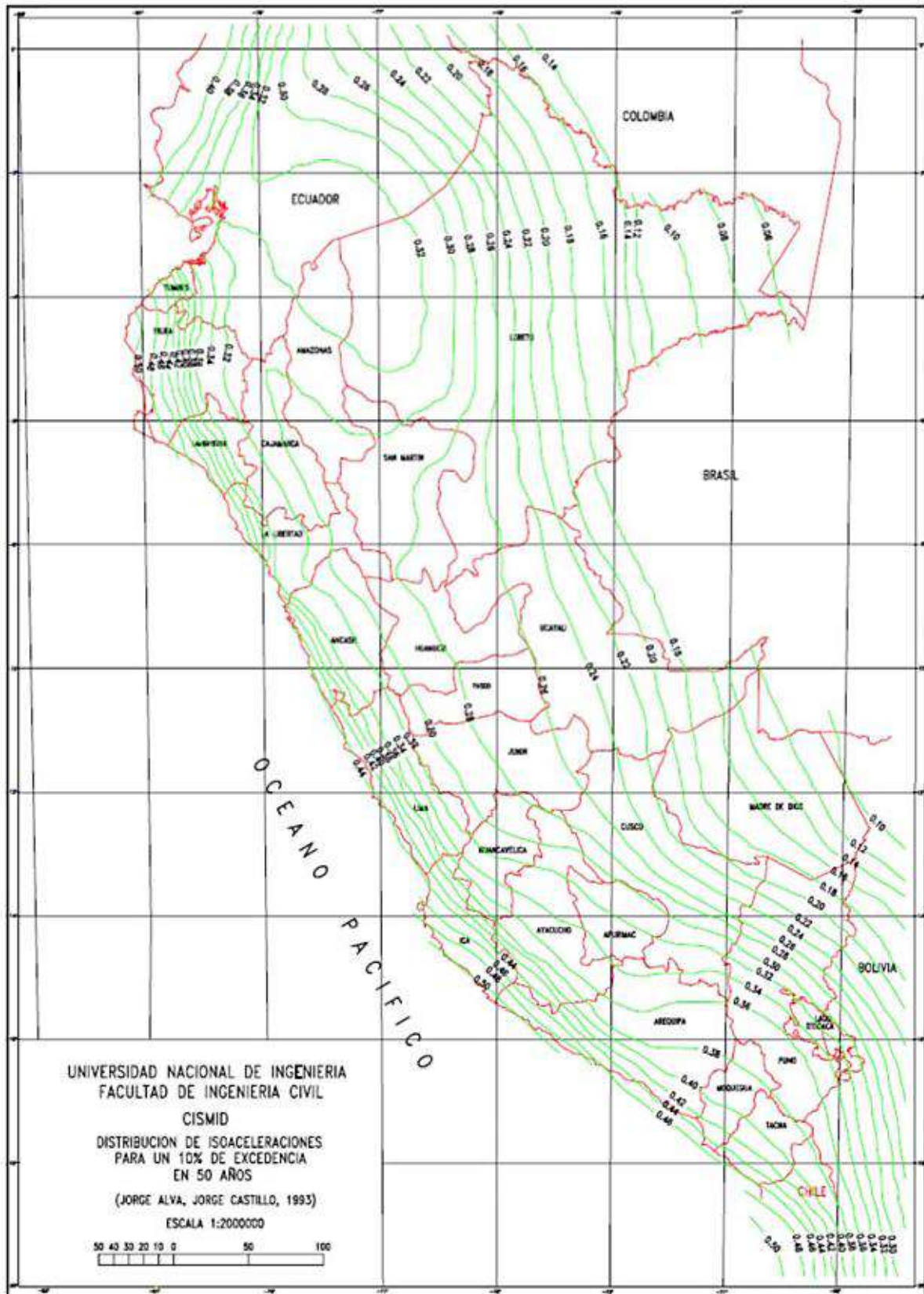


Figura 7 - Distribución de Isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años (Castillo & Alva, 1993)

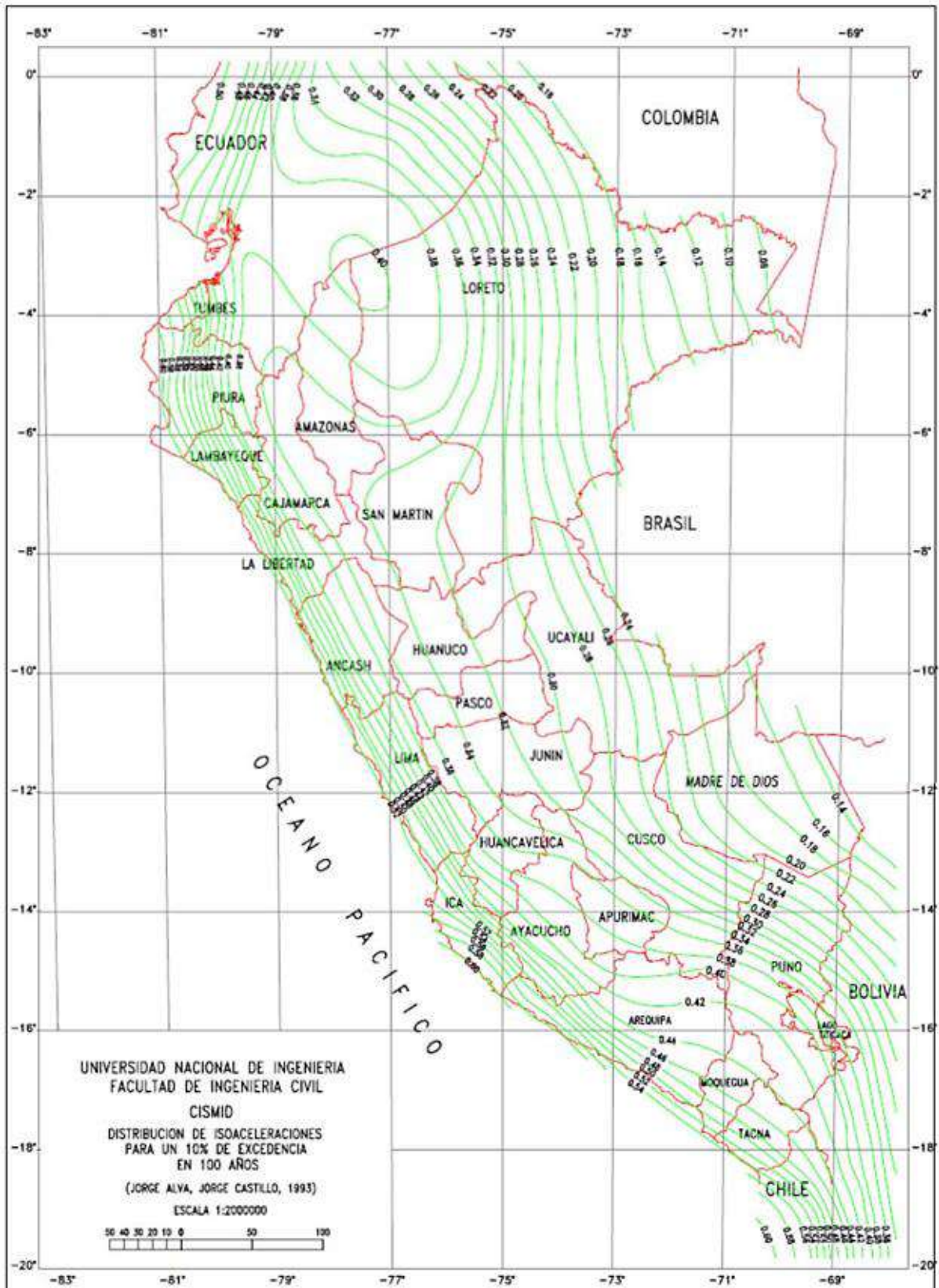


Figura 8 - Distribución de Isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 100 años (Castillo & Alva, 1993)

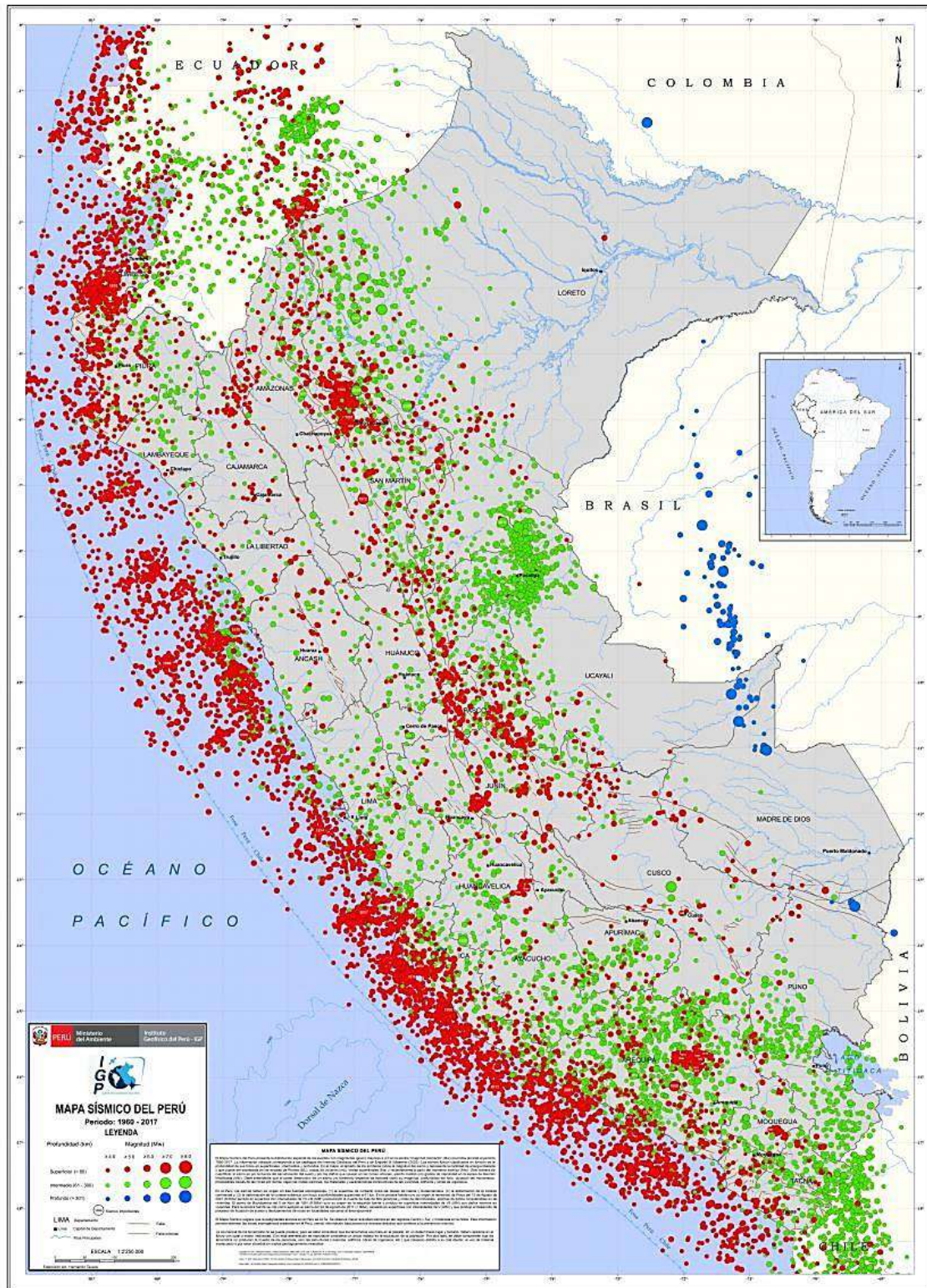


Figura 9 - Mapa de Distribución de Epicentros Mapa Sísmico del Perú periodo 1960- 2017 (Tavera, 2018)



2.2.2.6 Amenaza Sísmica

“Se entiende por amenaza o peligrosidad sísmica de una zona cualquier descripción de los efectos provocados por terremotos en el suelo de dicha zona” (Bertero, 1992). Estos efectos pueden ser la aceleración, velocidad o desplazamiento y la intensidad macro sísmica de la zona se podría hallar probabilísticamente entonces se definiría como: la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico dentro de un área y un período de tiempo específicos con una intensidad determinada.

“En las normativas de diseño sísmico de estructuras se adopta una severidad de la acción de acuerdo con el período de vida de la estructura, llamado también tiempo de exposición; durante este tiempo se espera que la acción de diseño no sea excedida para un determinado nivel de probabilidad de ocurrencia.” (Barbat & Canas, 1994)

El tiempo de exposición varía de acuerdo con la configuración de la estructura y por ello, es de gran interés relacionarlo con el período de retorno de los terremotos, que es el tiempo medio transcurrido entre la ocurrencia de sismos con la misma característica específica, cuando la característica de los sismos a determinar es la aceleración máxima, al período de retorno se le puede denominar $T_r(a_{max})$. Si “t” es el tiempo de exposición, la probabilidad de alejamiento en “t” años de un sismo de tamaño asociado al período de retorno dado, puede expresarse de la siguiente manera:

$$P_t(a_{max}) = 1 - \left[1 - \frac{1}{T_r(a_{max})} \right]^t \quad (2)$$

Con la ayuda de esta ecuación se obtienen mapas de peligrosidad sísmica de toda una región o de un país entero para terremotos con distintas intensidades esperadas (o distintas aceleraciones máximas), asociadas a un período de retorno determinado.

2.2.3 Tamaño De Un Sismo

2.2.3.1 Intensidad

La intensidad de un sismo es una apreciación cualitativa de los efectos de un movimiento sísmico basados en tres criterios básicos:

- Cómo es percibido por las personas.
- Sus efectos sobre las edificaciones e infraestructuras.

- Sus efectos sobre el terreno y el medioambiente.

“Estos, varían con la cantidad de energía liberada (magnitud) y se encuentra condicionada por parámetros tales como la proximidad al epicentro, las características geológicas y la calidad y naturaleza de edificaciones e infraestructuras como carreteras, puentes, túneles”. (Geología de Segóvia, 2010)

2.2.3.2 Magnitud

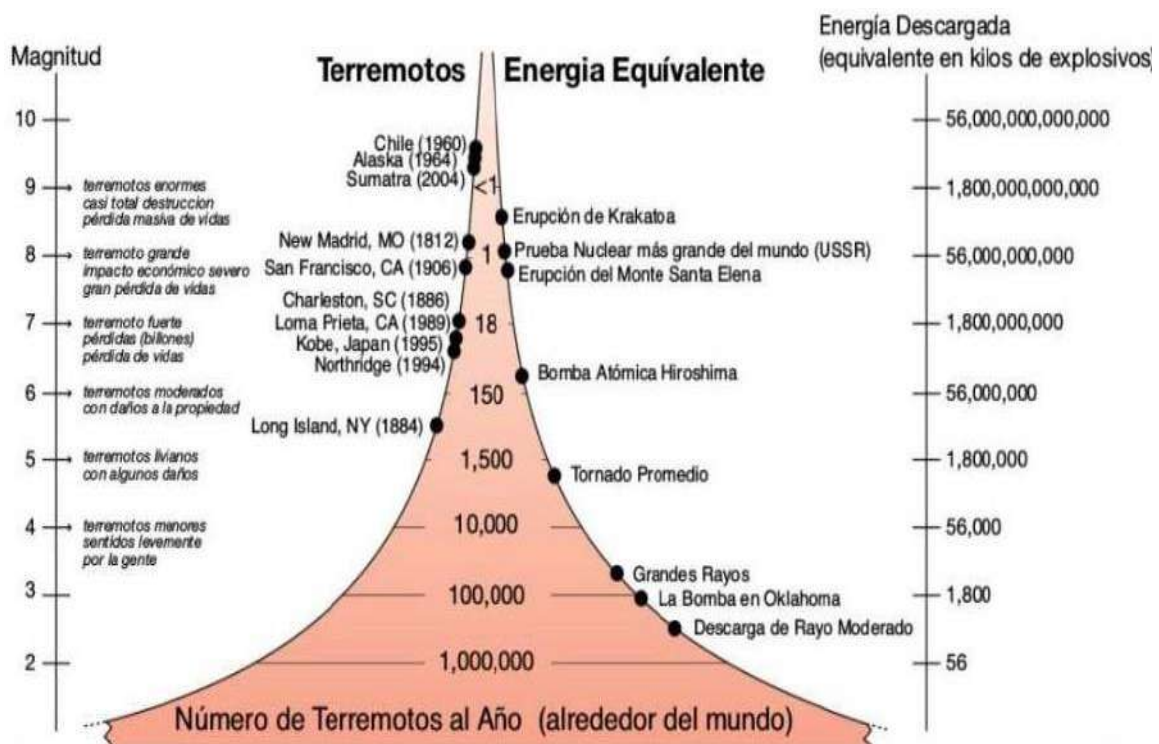


Figura 10 - Magnitud en la Escala de Richter (Molina, 2017)

Se entiende como magnitud de un sismo a un número que representa el tamaño del sismo de acuerdo con la energía liberada durante su ocurrencia.

“La magnitud en la escala de Richter que es la más conocida y utilizada a nivel mundial se mide en una escala logarítmica, de tal forma que cada unidad de magnitud corresponde a un incremento de raíz cuadrada de 1000, o bien, de aproximadamente 32 veces la energía liberada. Es decir que, un sismo de magnitud 8 es 32 veces más grande que uno de magnitud 7, 1000 veces más grande que uno de magnitud 6, 32,000 veces más grande que uno de magnitud 5, y así sucesivamente.” (IGEOF, 1998)



En la Figura 10 se compara la energía descargada por un sismo con kilos de explosivos detonados y se nombra la magnitud de ellos de acuerdo con la escala de Richter.

2.2.4 Registro De Un Sismo

2.2.4.1 Sismógrafo

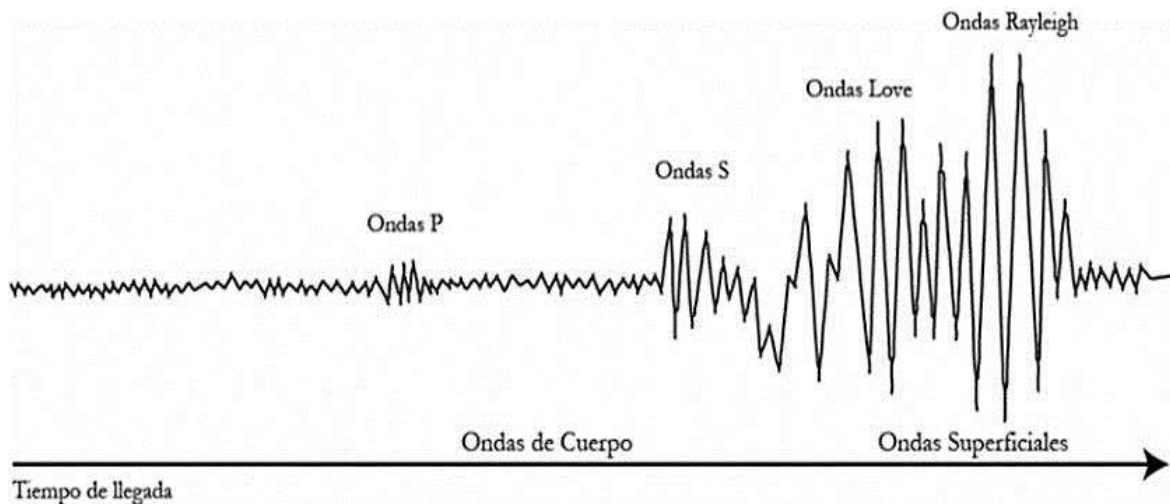


Figura 11 - Sismograma - Sísmica Básica, PUCV Chile

El sismógrafo es un equipo que registra la velocidad de un sismo y lo imprime en un sismograma.

Dado que las ondas “P” se propagan a mayor velocidad que otros tipos de ondas, son las primeras en ser registradas en un sismograma. Después llegan las ondas “S” y finalmente las ondas superficiales.

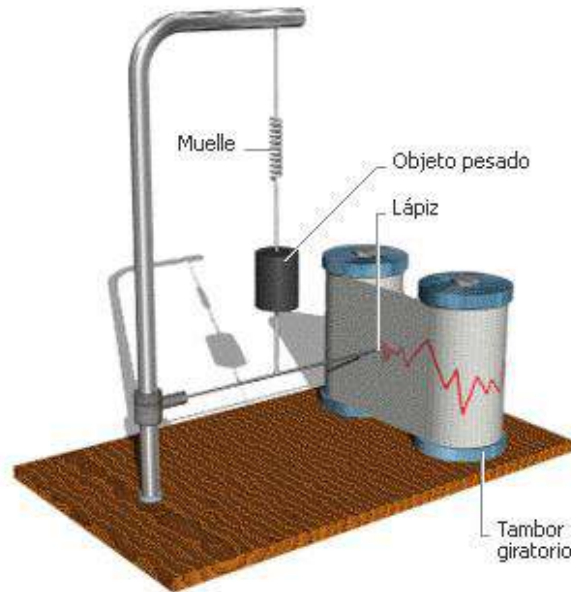


Figura 12 - Sismógrafo - www.geofisicasismos.blogspot.pe

En el pasado, los sismogramas eran registrados en tambores de papel rotativos. Algunos usaban carretes en papel común, y otros utilizaban papel fotosensible expuesto a rayos de luz. Actualmente, prácticamente todos los sismógrafos registran la información de forma digital, de modo de hacer un análisis automático más fácilmente. Algunos sismógrafos de tambor aún son utilizados. (Britanica, 2019)

2.2.4.2 Acelerógrafo



Figura 13 - Acelerógrafo Obsidian - Sigmetric.com

“Un acelerógrafo puede referirse tanto a un sismógrafo de movimientos fuertes como a un acelerómetro de terremotos. Son normalmente construidos en una caja autónoma, y ahora



suelen ser conectados de forma directa al Internet. Dentro del acelerógrafo, existe un conjunto de 3 cabezales de sensor de acelerómetro. Estos suelen ser chips micro electromecánicos (MEMS) que son sensibles en una dirección. De este modo, el acelerómetro puede medir el movimiento completo del dispositivo en tres dimensiones.” (Wayback Machine, 2005)

El movimiento de un punto del terreno por la acción de un sismo se divide en 3 componentes de traslación y 3 componentes de rotación. En la práctica, la componente de rotación es despreciada y solo las 3 componentes ortogonales de traslación son medidas.



Figura 14 – Acelerógrafo modelo TOKYO SOKUSHIN CO. LTD. CV-374 A2 - Colegio De Ingenieros Cusco, Redes Acelerográficas en el Perú

Básicamente un acelerógrafo consta de 3 sensores que detectan el movimiento en dos componentes horizontales (N-S y E-W) y una vertical, un sistema de discriminación de señales y un equipo de registro. El movimiento del suelo es transformado en impulsos eléctricos los cuales, después de ser amplificados, pasan al sistema de discriminación. Si la señal reúne las condiciones programadas previamente, el sistema se activa generando un acelerograma analógico o digital. (Sarachaga, 1997) los modelos que podemos encontrar en el Perú se observan en la Figura 14, la Figura 15 y la Figura 16.



Figura 15 – Acelerógrafo modelo REFEEK - Colegio De Ingenieros Cusco, Redes Acelerográficas en el Perú

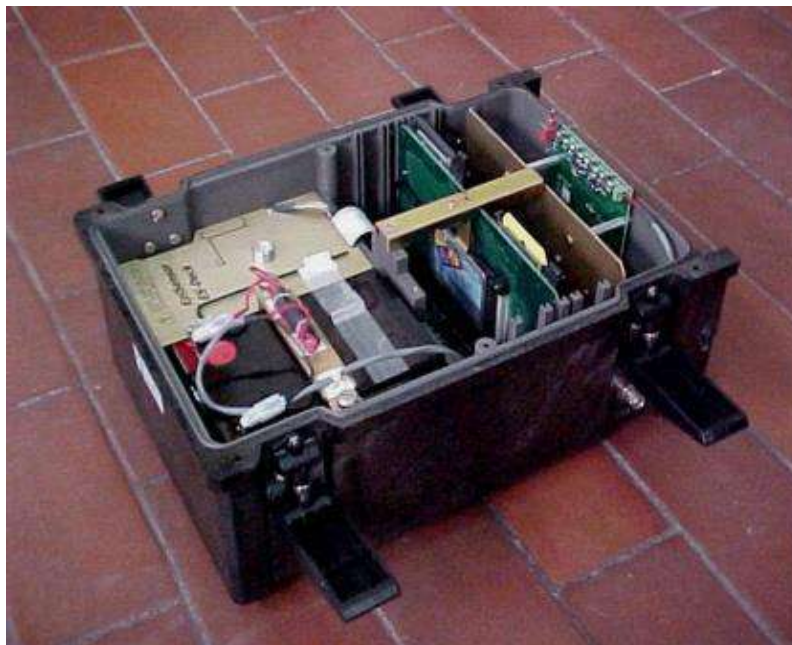


Figura 16 – Acelerógrafo modelo ETNA, KINEMATRICS - Colegio De Ingenieros Cusco, Redes Acelerográficas en el Perú

2.2.4.3 Acelerogramas

Un acelerograma es un gráfico que representa las aceleraciones registradas durante un terremoto, aceleraciones que experimenta en suelo en un punto determinado por cada instante de tiempo.



Estos gráficos son muy irregulares, cambiantes y oscilatorios, al inicio tienen amplitudes muy pequeñas y van creciendo rápidamente hasta alcanzar los valores máximos para luego decrecer hasta que se el movimiento se detiene.

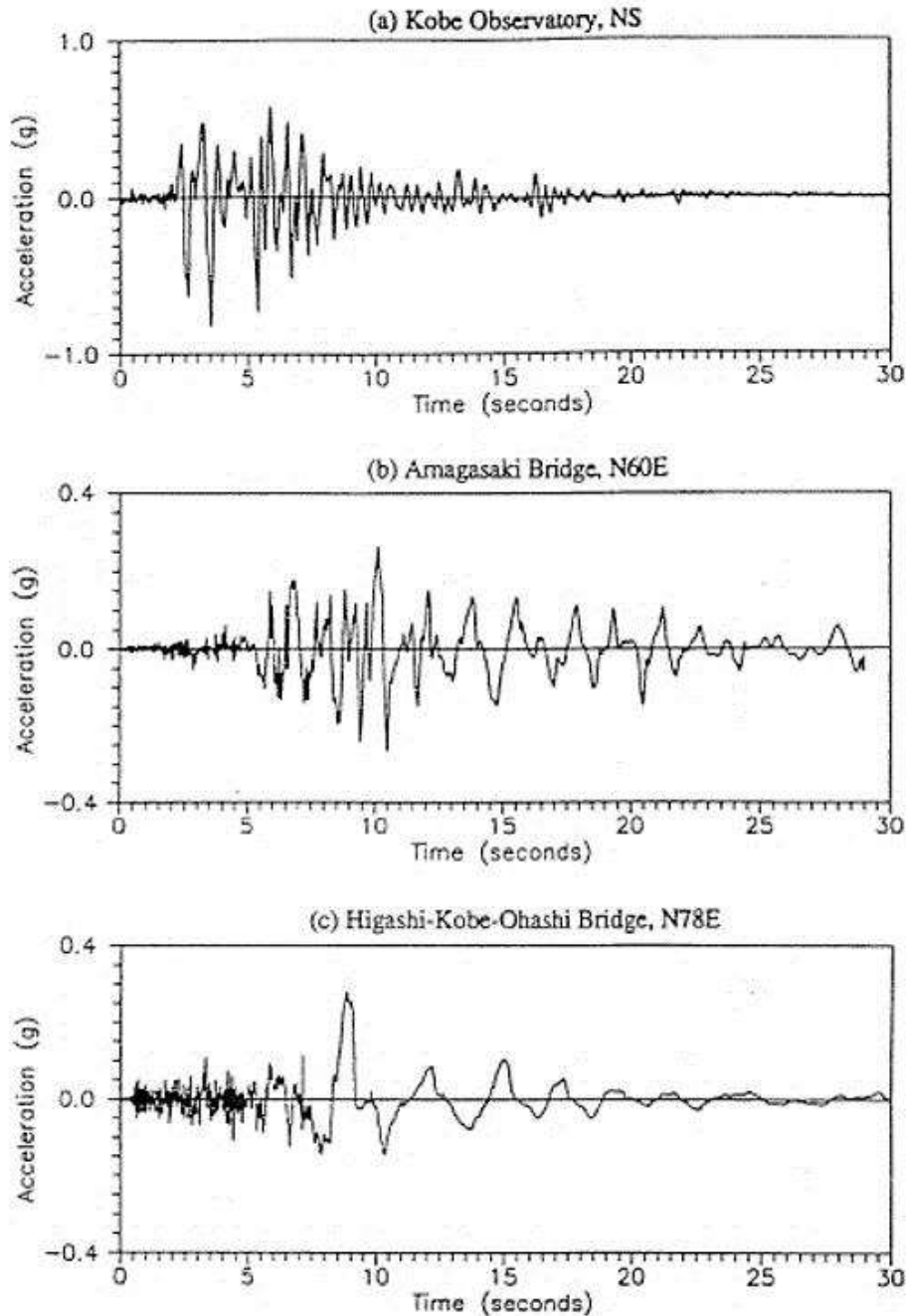


Figura 17 - Acelerograma de un sismo en Japón identificado por 3 estaciones acelerométricas diferentes - <https://seismic06g.wordpress.com>

En la Figura 17 se muestran tres acelerogramas del mismo terremoto registrado por 3 diferentes estaciones sísmicas en Japón. Se puede observar fácilmente las diferencias entre ellos que



pueden deberse a la configuración del acelerómetro, el punto inicial de medición de las aceleraciones, el tipo de terreno existente entre el epicentro y el punto de observación, etc.

“Debido a que la variación de la aceleración es muy irregular en el tiempo, es necesario que la toma de datos se realice en intervalos muy pequeños de tiempo, utilizándose generalmente valores de 0.01 o 0.02 s. “ (Seismic, 2012)

Una de las características principales de un acelerograma es la aceleración máxima registrada, pero no la única, nos interesan también de un acelerograma informaciones como: la duración, la configuración del inicio (instante en el que se empieza a registrar el evento), el contenido de frecuencias también es importante para caracterizar el sismo y así como también conocer la estructura que se expuso al movimiento debido a que la respuesta de una estructura puede ser más desfavorable al someterla a un acelerograma con aceleraciones máximas menores que otra si es que sus configuraciones son distintas.

2.2.5 Tratamiento De Un Acelerograma Para Generar Un Espectro

“Para obtener una determinación lo más exacta posible de los valores de aceleración que se han producido durante el terremoto en el lugar de registro, es necesario hacer un cuidadoso tratamiento de los registros.” (E. Carreño, 1999)

El acelerograma así obtenido, presenta una serie de errores que deberán ser corregidos para que dicho registro sea apto para ser utilizado; dado que las aplicaciones modernas de la teoría de vibración estructural en el diseño sísmo resistente de estructuras e investigaciones en sismología requieren datos precisos de aceleración sobre una banda ancha de frecuencias, es necesario hacer correcciones a los acelerogramas sin corregir.

2.2.5.1 Escalamiento De Los Acelerogramas Para Generar Un Espectro

Es un procedimiento al que se recurre para ubicar los espectros creados dentro del rango del porcentaje de aceleración que se requiera según la normativa utilizada, así, los valores obtenidos no sobrepasan las curvas que arroja cada normatividad y los diseños son compatibles. La norma peruana establece que solo un porcentaje de la aceleración “g” impacta a cada suelo firme dentro de la zonificación z_1 , z_2 , z_3 , z_4 , cual sea, durante la ocurrencia de un sismo.

Para hallar la aceleración a la cual será sometida cada estructura se multiplica este factor a todos los otros factores obtenidos de acuerdo con los parámetros en los cuales estaría ubicada la



estructura, entonces decimos que ningún valor de aceleración, en la zona sísmica Z2, por ejemplo, sería mayor a 0.25(c)(s), sin considerar los parámetros estrictamente estructurales.

El factor de escalamiento, cuyas siglas en ingles PGA significan punto de aceleración máxima o “point grand acceleration”, se entiende como:

$$\text{Factor de escala} = \frac{\text{PGA Suelo}}{\text{PGA registro acelerográfico}} \quad (3)$$

2.2.5.2 Corrección Instrumental

“Consiste en la convolución del registro con la función de transferencia del instrumento (un operador matemático que transforma dos funciones f y g en una tercera función que en cierto sentido representa la magnitud en la que se superponen f y una versión trasladada e invertida de g). Debemos conocer para ello las constantes de calibración del instrumento, como son la sensibilidad del acelerómetro, la frecuencia natural y el amortiguamiento, obteniéndose así un acelerograma corregido.” (E. Carreño, 1999)

2.2.5.3 Corrección De La Línea Base O Corrección De Ceros

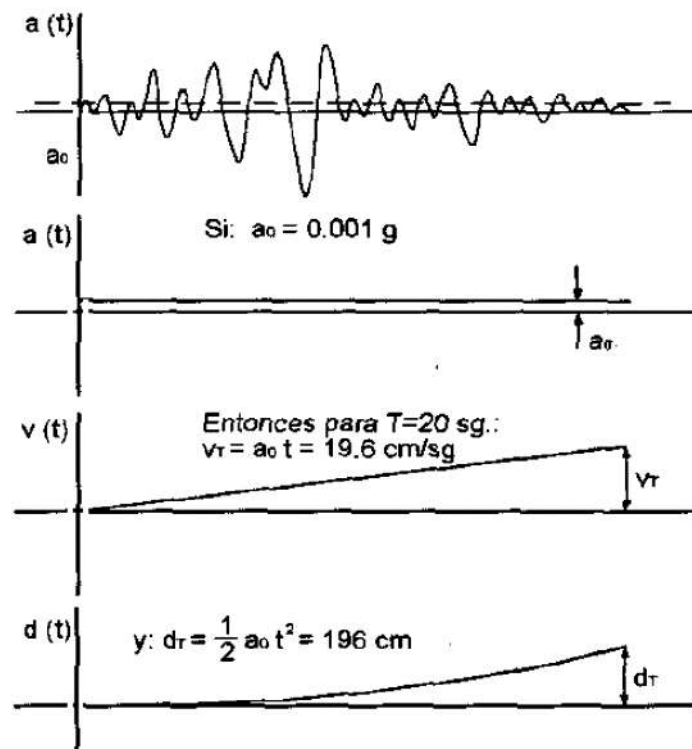


Figura 18 - Error de ceros en el acelerograma - Hudson, 1979



Los acelerogramas iniciales suelen estar desplazados con respecto a la línea base o línea cero de aceleración. Este error puede ocurrir por muchos motivos, el acelerógrafo puede no estar perfectamente nivelado, por alguna manipulación del instrumento durante el registro, una mala configuración del sistema de registro que provoca el deslizamiento de los datos respecto a la línea base, son de los principales motivos, aunque hay muchos otros.

Generalmente de los acelerogramas se obtienen también la velocidad y el desplazamiento integrando una o dos veces el área bajo la curva entre el registro acelerométrico y la línea base, es por eso por lo que es importante corregir la línea base, aunque en el acelerograma el error parezca pequeño e incluso sea inapreciable.

CORRECCIÓN NORMAL

La corrección de la línea base consiste en obtener un promedio de todos los valores del registro comprendidos entre los máximos elegidos y restar este promedio como una constante a todo el registro sísmico. Después de aplicada el nuevo promedio de los valores comprendido entre los máximos elegidos debería ser cero.

Corrección Del Ruido

Después de haber hecho la corrección instrumental y corrección de línea base del registro acelerométrico es de suma importancia considerar la repercusión que el ruido tiene sobre él. El ruido puede estar causado tanto por fenómenos naturales externos a la estación, o dentro de ella, como por el tratamiento grotesco de los datos. Se entiende así que el acelerograma es la suma de la señal sísmica más el ruido.

$$a(t) = s(t) + r(t) \quad (4)$$

Siendo $a(t)$ el acelerograma sin corregir, $s(t)$ la señal sísmica y $r(t)$ el ruido. El ruido que afecta al acelerograma, puede ser de dos tipos:



Ruido De Alta Frecuencia

El acelerograma se trata en una banda de frecuencias dada, cuando el ruido aparece por encima de este rango de frecuencias se denomina ruido de alta frecuencia y afecta los picos de aceleración y aceleraciones máximas del registro principalmente. Sin embargo, no afecta mucho en el proceso de integración, ya que el área bajo la curva es prácticamente la misma que para la señal corregida, entonces las desviaciones por encima y por debajo de la línea cero se compensan.

Ruido De Baja Frecuencia

Cuando el ruido está por debajo de la banda de frecuencias elegidas afecta al proceso de integración básicamente, ya que, se reducen considerablemente los valores al integrar los datos de aceleración para obtener primero velocidad y después desplazamiento, a este ruido le llamamos ruido de baja frecuencia.

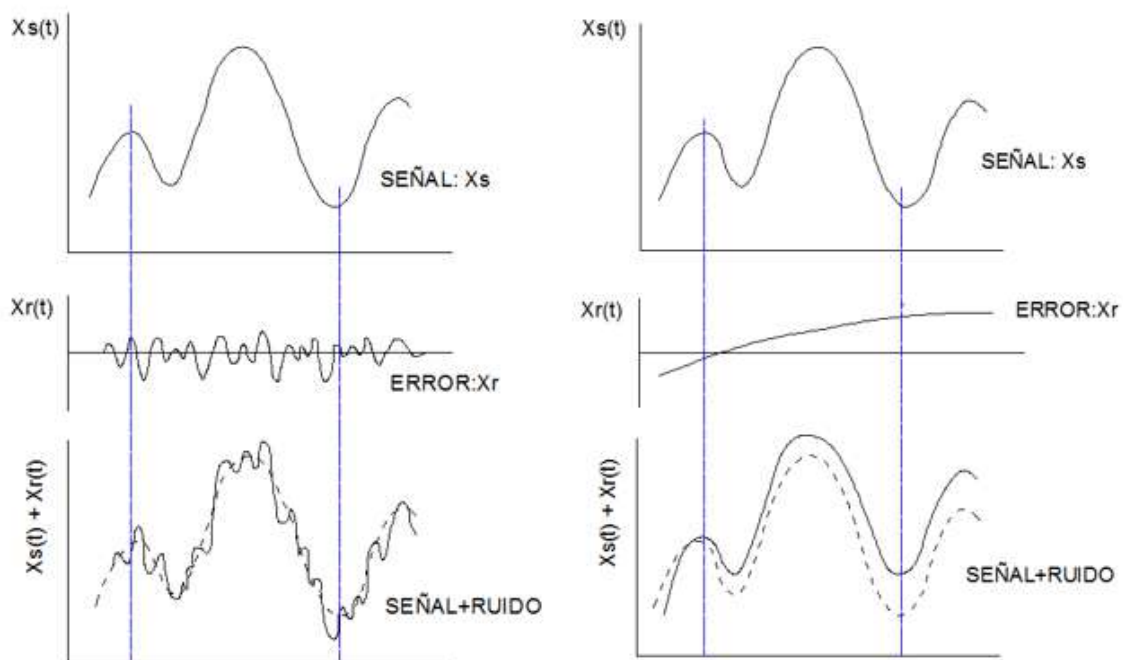


Figura 19 - efecto del ruido, izquierda: alta frecuencia. Derecha: baja frecuencia- Hudson, 1979.

Para obtener un espectro que considere solo los valores de la aceleración correspondientes al sismo debemos filtrar también los valores que corresponden al ruido para esto limitaremos la información del acelerograma a la banda de frecuencias deseada. Los filtros paso-baja eliminan

altas frecuencias, y los filtros paso-alta para eliminar las bajas. Para eliminar el ruido de alta y baja frecuencia simultáneamente se usa el filtro del tipo paso banda.

Es así como entendemos que es importante elegir la frecuencia de corte adecuada, ya que una elección de menor frecuencia puede suponer eliminar parte de la señal que nos interesa, o por el contrario mantener frecuencias correspondientes a otros fenómenos.

2.2.5.4 Filtros Ideales

Los filtros ideales para eliminar el ruido son aquellos que están definidos como una función escalón.

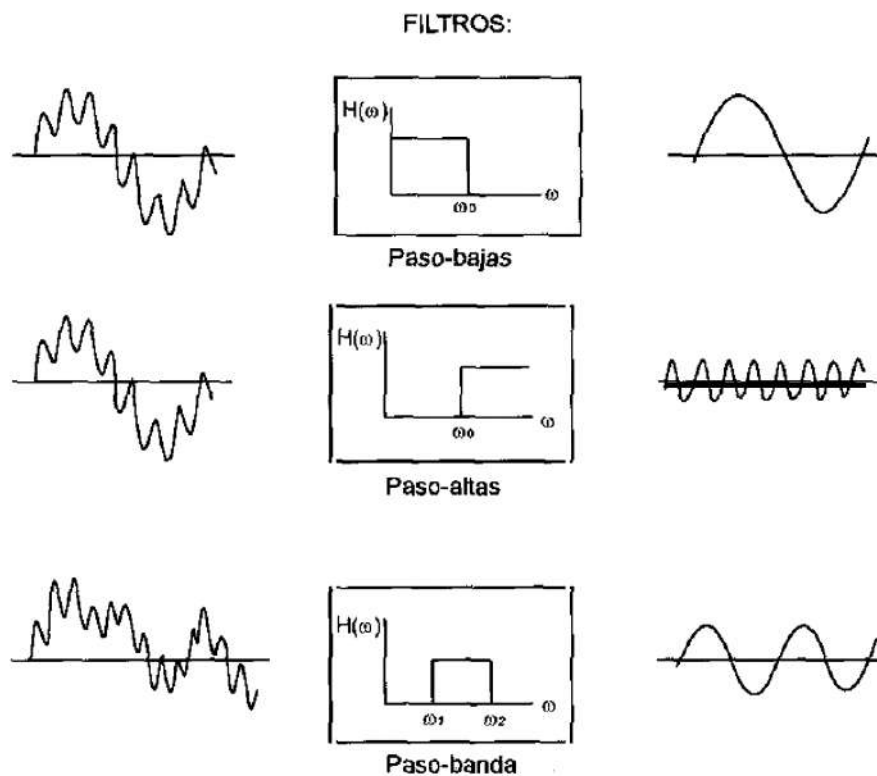


Figura 20 - Comportamiento de los filtros ideales paso-bajas, paso-altas y paso banda (E. Carreño, 1999)

- Filtro ideal paso-bajas: Elimina todas las frecuencias superiores a una frecuencia dada ω_0 y deja pasar sin atenuación las frecuencias inferiores.
- Filtro ideal paso-altas: Elimina todas las frecuencias inferiores a una frecuencia dada ω_0 y deja pasar sin atenuación las frecuencias superiores.
- Filtro ideal paso-banda: Elimina todas las frecuencias inferiores a una frecuencia dada ω_1 y las superiores a ω_2 , y deja pasar sin atenuación las comprendidas entre ω_1 y ω_2 .
En la Figura 20 se muestra un ejemplo gráfico de cómo funcionan estos filtros.



2.2.6 Análisis Sísmico.

El análisis sísmico, comprende para el modelamiento de la estructura además de las fuerzas normalmente comprendidas, la fuerza que podría producir un sismo, la cual podría perjudicar el desempeño del mismo; “la estructura de un edificio ubicado en un área sísmica difiere solo que en su análisis considera la acción de las cargas que genera el sismo, modificando los elementos y características que definen la estructura antisísmica, la configuración, escala, simetría, altura, etc., y adicionando amortiguamiento o sistemas resistentes al diseño.” (Varios, 2020)

2.2.6.1 Comportamiento Sísmico De Las Estructuras

Comportamiento De Una Estructura En Equilibrio

La segunda ley de Newton dice que la resultante de un sistema de fuerzas que actúan en un cuerpo en movimiento es igual al cambio del momento de este. El momento o momentum μ , se define en física como la multiplicación de la masa m por la velocidad v :

$$\mu = mv = m \frac{du}{dt} \quad (5)$$

Donde u es el desplazamiento del cuerpo. Si llamamos f a la fuerza resultante, la ley de Newton se expresaría matemáticamente así:

$$f(t) = m \frac{du}{dt} = \frac{d}{dt} \left(m \frac{du}{dt} \right) \quad (6)$$

Vamos a considerar que la masa es constante en el tiempo, como es común en mecánica de sólidos, así se tiene que:

$$f(t) = m \frac{d^2u}{dt^2} = m\ddot{u}(t) \quad (7)$$

Donde \ddot{u} es la aceleración del cuerpo.

La ecuación (7) es una de las expresiones más conocidas de la segunda ley de la mecánica de Newton, que sólo es válida para sistemas cuya masa permanece constante en el tiempo. La fuerza $f_I = m\ddot{u}(t)$ es la fuerza de inercia, lo que denota la tendencia del cuerpo a conservar su estado de movimiento o de reposo.

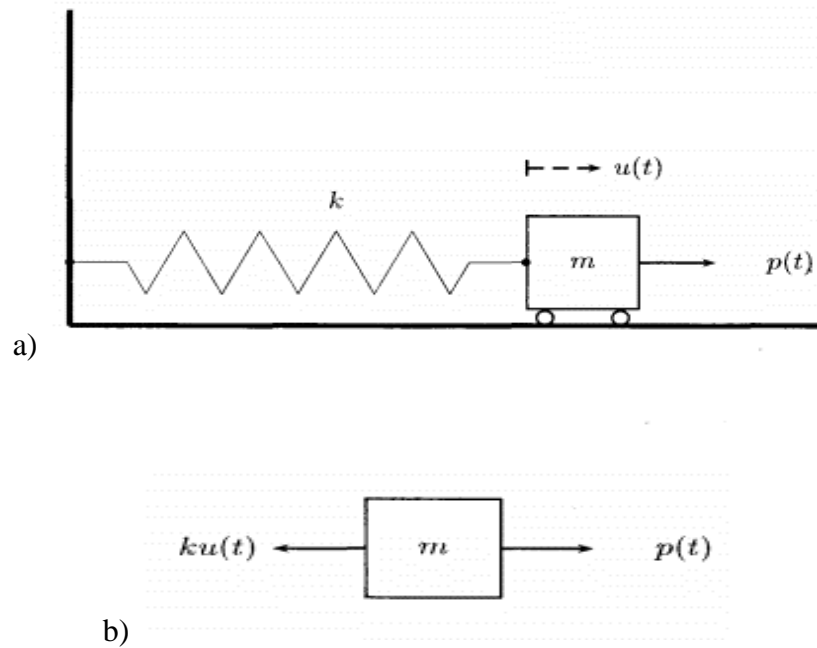


Figura 21 - Modelo de un grado de libertad sin amortiguamiento a) esquema, b) diagrama de cuerpo libre (GÓMEZ, 2000)

Observemos el sistema de la Figura 21 donde se tiene una fuerza externa inconstante en el tiempo $p(t)$, también cuenta con una masa de valor m y un resorte elástico de rigidez k que fija al sistema a un apoyo fijo. El diagrama de cuerpo libre de la figura indica que la resultante de las fuerzas aplicadas a la masa es:

$$f(t) = p(t) - ku(t) \quad (8)$$

Como ya sabemos esta fuerza es igual al producto de la masa por la aceleración de acuerdo con la ley de Newton mostrada en la ecuación (5), entonces reemplazando, tenemos:

$$f(t) = p(t) - ku(t) = m\ddot{u}(t) \quad (9)$$

Y despejando nos queda la siguiente ecuación diferencial:

$$m\ddot{u}(t) + ku(t) = p(t) \quad (10)$$

La solución de la ecuación (10) permite conocer las historias de desplazamiento y aceleración del sistema, a partir de las cuales pueden calcularse las historias temporales de las fuerzas internas, tales como la desarrollada en el resorte en este caso sencillo” (GÓMEZ, 2000) de lo representado en la ecuación:



$$f_R(t) = ku(t) \quad (11)$$

La fuerza $f_R(t)$ igual a $ku(t)$ es la conocida como fuerza de restitución, pues tiene tendencia a restituir la forma original de la estructura.

PRINCIPIO D'ALEMBERT

Es una representación diferente de la segunda ley de Newton propuesta por el matemático D'Alembert que la asimilo con la primera ley de Newton, esto indica que todo cuerpo se encuentra en estado de reposo o de movimiento uniforme a menos que una fuerza externa actúe sobre él. Esta ley rige el análisis estático de estructuras y comprueba que la resultante de fuerzas es nula, es decir corresponde a un estado de equilibrio. D'Alembert propuso lo siguiente: la primera ley de Newton abarca la segunda si se toma como resultante a la fuerza $f(t) - m\ddot{u}$ en lugar de la fuerza $f(t)$. Descrito en una ecuación tendríamos:

$$f(t) - m\ddot{u}(t) = 0$$

Que es lo mismo que el resultado observado en la ecuación (11) solo que obtenido de una manera distinta.

El Sismo Como Acción Estructural Dinámica

Los sismos son una de las acciones dinámicas que afectan a las estructuras más severamente debido al movimiento ocasionado en el suelo de sus cimientos

En la Figura 22 se representa al sismo como la acción externa $p(t)$, mediante las aceleraciones del suelo, que nombraremos como \ddot{u}_s . Se considera hasta hoy que el sismo no tiene ley matemática, es decir, un proceso de características aleatorias.

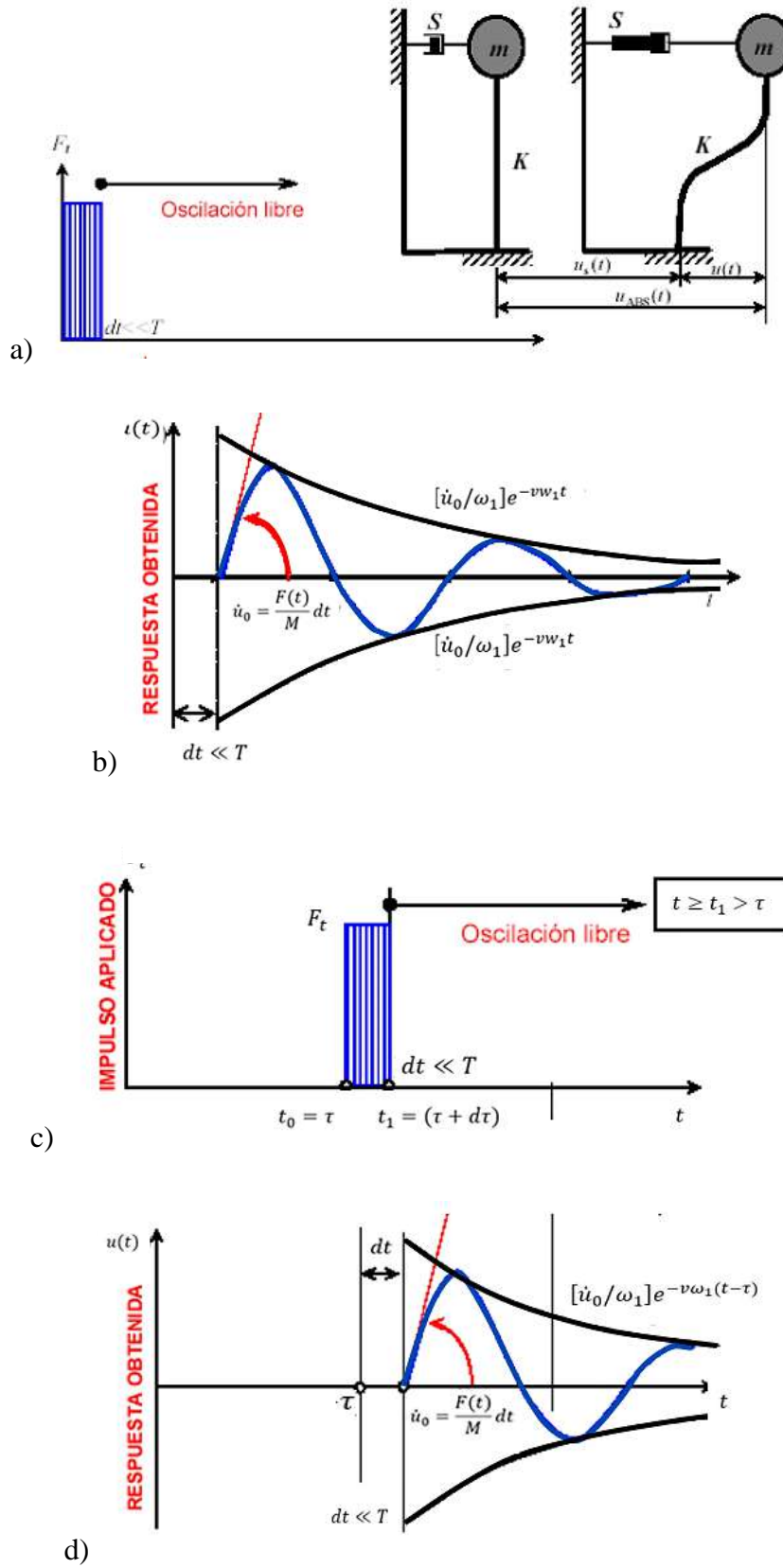


Figura 22 – a), b), c), d), Oscilador a un grado de libertad, sometido a un impulso - (Barbat, Oller, & Vielma, 2005)



En la parte (a) de la Figura 22 se ve que el eje vertical usado como referencia está desplazado hacia la derecha una cantidad de $u_s(t)$ debido a la fuerza que produce la aceleración, la fuerza que la produce se puede deducir fácilmente. Por otra parte, la estructura, representada por el resorte de rigidez k sólo sufre un desplazamiento de valor $u(t)$, Esto indica que la masa del sistema sufre un desplazamiento total $u(t) + u_s(t)$, por lo que la aceleración total vale $\ddot{u}(t) + \ddot{u}_s(t)$ (hallada mediante la derivación doble del desplazamiento). Así, como no hay fuerzas externas aplicadas, la ecuación de equilibrio del diagrama reemplazado en la ecuación (9) nos quedaría:

$$f(t) = -ku(t) = m[\ddot{u}(t) + \ddot{u}_s(t)] \quad (13)$$

Despejando tendríamos:

$$m\ddot{u}(t) + ku(t) = m\ddot{u}_s(t) \quad (14)$$

INTEGRAL DE DUHAMEL

Como breve recordatorio, se presentan a continuación los conceptos fundamentales de la integral de Duhamel que es una manera de calcular la respuesta de los sistemas lineales y estructuras expuestos a una perturbación externa que varía en el tiempo. Esta integral considera un oscilador libre a un sólo grado de libertad sometido a una fuerza $f(t)$, aplicada como una sucesión de impulsos en el tiempo (ver Figura 22).

Para ello se aplica un impulso al oscilador y se deja oscilar libremente, resultando:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = 0$$

Cuyas condiciones iniciales son:

$$u(t=0) = u_0 \Rightarrow \dot{u}(t=0) = \dot{u}_0 = \frac{dI}{m}$$

$$u(t=0) = u_0 = 0$$



Aplicando los principios de la integral de Duhamel para el caso en que la fuerza $f(t) = -ma(t)$, y provenga de una aceleración del terreno $a(t)$ provocada por un sismo, el cuerpo se encontraría desplazado y si se quisiera determinar la fuerza que lo desplazó, la respuesta de la ecuación quedaría:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -ma(t) \quad (18)$$

O escrita en aceleraciones:

$$\ddot{u}(t) + 2v\omega\dot{u}(t) + \omega^2u(t) = -a(t) \quad (19)$$

Esta es la ecuación diferencial de todas las estructuras elásticas de frecuencia circular ω y amortiguamiento v . En consecuencia, toda esta familia de estructuras tendrá la misma respuesta para el desplazamiento, velocidad y aceleración si son producidos por una aceleración arbitraria en el suelo de su fundación.

2.2.6.2 Amortiguamiento

“Se define como la capacidad de un sistema o cuerpo para disipar energía cinética en otro tipo de energía. Típicamente los amortiguadores disipan la energía cinética en energía térmica y/o en energía plástica (erg. atenuador de impactos), es decir, la función de un amortiguador es recibir, absorber y mitigar una fuerza tal de forma que la fuerza inicial, se haya hecho menor, ya sea porque se ha dispersado o porque la energía se ha transformado. Cuanto mejor sea la amortiguación de la fuerza inicial, menor será la fuerza recibida sobre el punto final” (W.J, 1974).

Si consideramos una estructura con un grado de libertad, vemos que el valor crítico de su amortiguamiento es:

$$c = 2m\omega \quad (20)$$

Donde “m” es la masa del sistema y “ ω ” su frecuencia.

Se define también que la razón de amortiguamiento es la relación entre el amortiguamiento del sistema y su valor crítico.



2.2.6.3 Frecuencia Circular

La frecuencia es una magnitud que mide el número de oscilaciones de un evento durante una unidad de tiempo. Para calcular la frecuencia de un suceso cualquiera se cuenta el número de ocurrencias durante un intervalo de tiempo, estas repeticiones después se dividen entre el tiempo transcurrido, y se denomina frecuencia circular cuando la magnitud indica el retorno al estado de equilibrio del sistema.

La frecuencia circular de una estructura durante un evento sísmico sería entonces el número de oscilaciones del sistema en un determinado periodo de tiempo antes de retornar al equilibrio.

2.2.7 Espectro De Respuesta

Se puede definir espectro de respuesta como un gráfico de la respuesta máxima de una estructura de un grado de libertad u oscilador de un grado de libertad debido a una acción dinámica determinada que impacta al sistema, esta respuesta puede ser expresada en cualquier parámetro de interés, como aceleración, velocidad, desplazamiento, etc. "En estos gráficos, se representa en abscisas el periodo propio de la estructura (o la frecuencia) y en ordenadas la respuesta máxima calculada."

Un espectro asociado a un acelerograma es una curva que representa la aceleración máxima que experimentaría una estructura de 1 grado de libertad y de periodo T_i . Un oscilador de periodo T_1 experimentaría una aceleración a_1 ; otro de T_2 tendría a_2 y así sucesivamente. La representación de todas estas parejas de valores $[T, a]$ constituye un espectro de respuesta. (Crisafulli & Villafane, 2002)

Existen diferentes tipos de espectros de respuesta según la reacción que se quiera comparar: espectro de respuesta de velocidad, espectro de respuesta de deformación, etc. El más habitual en cálculos sísmicos es el espectro elástico de respuesta que relaciona la aceleración y el desplazamiento.

Se denomina de respuesta ya que lo que mide es cómo responde el sistema a las acciones inducidas desde el exterior.

Una de las herramientas más útiles para evaluar la severidad de la respuesta máxima de una estructura ante un sismo, es el ESPECTRO DE RESPUESTA. Un espectro de respuesta es la representación gráfica de la respuesta máxima en función del período natural de vibración del



sistema. Esto es, el espectro de respuesta nos da información de la respuesta máxima para toda una familia de sistemas de un grado de libertad.

La respuesta de un sistema de un grado de libertad a un movimiento de terreno se puede obtener a partir de la ecuación (19)(2) utilizando diferentes métodos:

- En el dominio del tiempo por medio de la solución de la integral de Duhamel.
- En el dominio del tiempo por medio de una integración numérica de la ecuación del movimiento.
- En el dominio de la frecuencia obteniendo la transformada de Fourier de la historia de aceleraciones, multiplicándola por la función de transferencia del sistema y obteniendo la transformada inversa de Fourier de dicho producto.

TRANSFORMADA DE FOURIER

Es un artificio matemático usado para transformar señales entre del dominio del tiempo (o espacial) al dominio de la frecuencia o viceversa, que tiene muchas aplicaciones en la física y la ingeniería. El propio término se refiere tanto a la operación de transformación como a la función que produce.

“En el caso de una función periódica en el tiempo (por ejemplo, un sonido musical continuo, pero no necesariamente sinusoidal), la transformada de Fourier se puede simplificar para el cálculo de un conjunto discreto de amplitudes complejas, llamado coeficientes de las series de Fourier. Ellos representan el espectro de frecuencia de la señal del dominio-tiempo original.”
(John H. Mathews, 2006)

La transformada de Fourier hace corresponder a una función f con otra función g definida, de esta manera:

$$g(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{-i\xi x} dx$$

Donde f y g tienen que ser funciones integrables y las variables x y ξ suelen ser asociadas a parámetros como frecuencia y tiempo.



Para cada período se calcula la historia de aceleraciones y sólo se selecciona la máxima respuesta, que es la que se gráfica para el período natural de vibración correspondiente, si este proceso se repite para toda una familia de sistemas de un grado de libertad con diferentes periodos de vibración y todos con el mismo amortiguamiento, entonces se obtiene el espectro de respuesta.

2.2.7.1 Parámetros De Movimiento Del Terreno

“Los parámetros del movimiento del suelo son esenciales para describir las características importantes del movimiento fuerte del suelo, en forma compacta y cuantitativa. Muchos parámetros se han propuesto para caracterizar la “Amplitud, el Contenido de frecuencia, y la Duración” del movimiento fuerte del suelo; algunos describen solamente una de estas características, mientras que otros pueden reflejar dos o tres. Debido a la complejidad del movimiento del suelo originado por el sismo, la identificación de un sólo parámetro que describa exactamente todas las características importantes del movimiento del suelo se considera como imposible” (Boore & Joyner, 1988)

Aceleración

De acuerdo con la mecánica newtoniana, una partícula no puede seguir una trayectoria a menos que sobre ella actúe una cierta aceleración como consecuencia de la acción de una fuerza, ya que, si esta no existiese, su movimiento sería rectilíneo.

Asimismo, una partícula en movimiento rectilíneo solo puede cambiar su velocidad bajo la acción de una aceleración en la misma dirección de su velocidad (dirigida en el mismo sentido si acelera; o en sentido contrario si desacelera). En mecánica clásica se define la aceleración como la variación de la velocidad respecto al tiempo (común a todos los observadores):

$$a = \frac{dV}{dt} \quad (21)$$

Para un cuerpo con masa constante, su aceleración medida por un observador inercial es proporcional a la fuerza que actúa sobre el mismo (segunda ley de Newton):

$$F = ma \rightarrow a = \frac{F}{m} \quad (22)$$



Donde F es la fuerza resultante que actúa sobre el cuerpo, m es la masa del cuerpo, y a es la aceleración. La relación anterior es válida en cualquier sistema de referencia inercial.

Desplazamiento

El desplazamiento es la variación de la posición de un cuerpo. En física, el desplazamiento es un vector cuyo origen es la posición del cuerpo en un instante de tiempo que se considera inicial, y cuyo extremo es la posición del cuerpo en un instante considerado final.

Cabe señalar, que el desplazamiento no depende de la trayectoria seguida por el cuerpo sino sólo de los puntos donde se encuentre en los instantes inicial y final; es decir, la distancia entre ellos.

2.2.7.2 Espectro De Respuesta Elástica

Representan parámetros de respuesta máxima del oscilador de un grado de libertad frente a un movimiento sísmico y usualmente incluyen varias curvas. Los espectros de respuesta presentan variaciones bruscas del parámetro a evaluar con respecto al tiempo con numerosos picos y valles que representan la complejidad del registro de aceleraciones que corresponde a un terremoto. Idealmente el sistema tiene un movimiento correspondiente al movimiento del suelo sin modificarse, este punto ideal de respuesta que puede perfectamente aplicarse a partir de la Ecuación (19) nos permite conocer o simular de una manera bastante cercana a la realidad la fuerza a la cual será sometida la estructura, obviando estudios de mecánica de suelos.

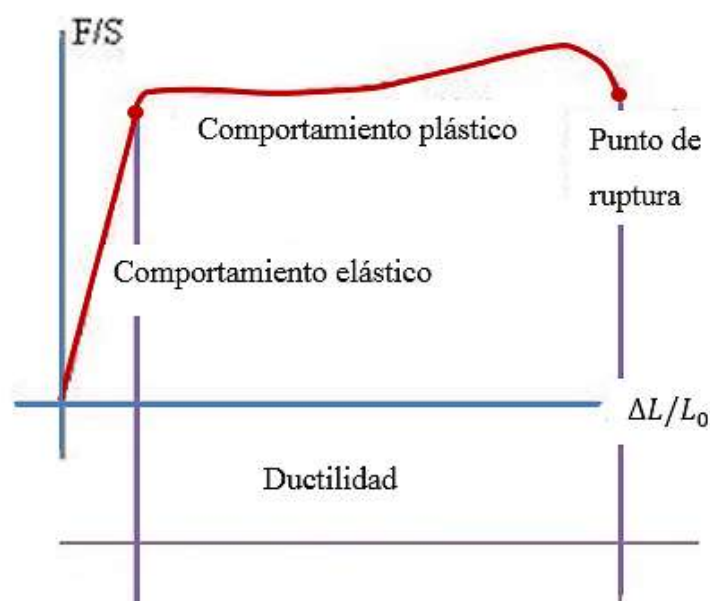


Figura 23 - Rango elástico, plástico de una estructura - José Cabrera, Comportamiento estructural.



“Para aclarar esta definición elástica se compara, por ejemplo: Antes de venir un sismo de determinada magnitud, lo más probable es que la edificación está cargada con mobiliario, personas, etc. trabajando en lo que llamamos rango elástico de los materiales, al retirar las cargas, estos elementos que se deformaron según el nivel de las cargas aplicadas vuelven a su posición original; se pretende que la estructura responda de la misma manera para una sollicitación sísmica.” (CHOPRA, 2004)

2.2.7.3 Espectro De Respuesta Inelástica

Son similares a los anteriores, sin embargo, podríamos ubicar el espectro inelástico del sistema dentro de la curva representada en la línea del “comportamiento plástico” de la Figura 23. En este caso el oscilador de un grado de libertad exhibe comportamiento no-lineal, es decir la fuerza elástica del suelo se amplía y/o reduce de acuerdo con la estructura a diseñar, la cual podrá experimentar deformaciones en rango plástico por acción del terremoto.

Este tipo de espectros que surgen a partir del espectro elástico, son los usados en el diseño sismorresistente, dado que, por razones prácticas, pero sobre todo económicas la gran mayoría de las edificaciones se diseñan para que incursionen en campo plástico antes del punto de ruptura.

“En el diseño se utilizan espectros de respuesta elástica multiplicados por un factor de reducción que depende de las características de la estructura garantizando que el sistema sea resistente a sismos en el rango inelástico y generando un espectro llamado inelástico.” (Grases, 2010)

2.2.7.4 Construcción De Un Espectro De Respuesta

Para explicar con mayor practicidad el concepto de construcción de un espectro de respuesta consideraremos una serie de estructuras con un grado de libertad cada una con un valor de periodo de vibración T distinto, si sometemos estos osciladores a la acción de un mismo terremoto (utilizando un acelerograma), cada estructura tendrá una respuesta diferente la cual se puede representar a través de la historia de aceleraciones.

Una vez que hemos calculado la respuesta de los osciladores es posible determinar el máximo de cada uno de ellos (en valor absoluto, ya que no importa si el dato es positivo o negativo) y volcarlos en un gráfico en función del periodo de vibración, para obtener así un espectro de respuesta.



Es decir, que la respuesta máxima de cada oscilador con periodo T representa un punto en el espectro del sismo. El software que se utilizara en la investigación realiza este mismo procedimiento para osciladores con diferentes periodos de vibración que vibran a partir de ser expuestos a las mismas aceleraciones.

El mecanismo se puede observar en la Figura 24 en la cual se ven diferentes osciladores expuestos a un mismo fenómeno y como a partir de la lectura de estas vibraciones se va construyendo el espectro de respuesta.

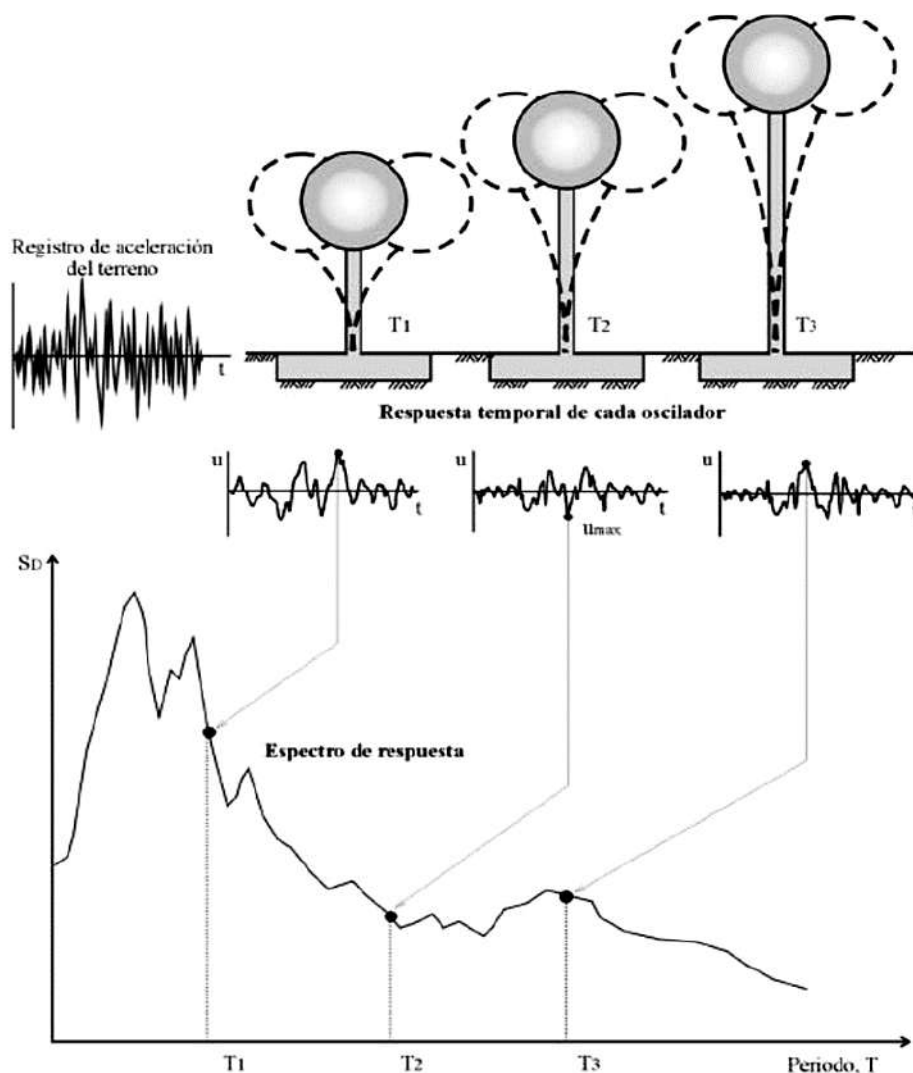


Figura 24 - Respuesta de los osciladores al sismo - Crisafulli & Villafane

“Como se ha explicado, la determinación del espectro de respuesta elástica e inelástica requiere el cálculo de los valores de respuesta máxima de osciladores un grado de libertad con diferentes períodos de vibración que están sometidos a la aceleración de historia de tiempo considerado. Por lo tanto, el análisis dinámico lineal y no lineal tiene que ser llevado a cabo, y un esquema



de integración numérica directa se emplea con el fin de resolver el sistema de ecuaciones de movimiento” (Chopra, 1995).

2.2.7.5 SeismoSignal Para La Construcción De Un Espectro De Respuesta

SeismoSignal versión 2016 es un software gratuito especializado en el procesamiento y análisis de señales sísmicas. “SeismoSignal constituye una herramienta fácil y eficiente para procesar datos de movimiento fuerte, presentando una interfaz visual de fácil manejo para obtener un número apreciable de parámetros de movimiento fuerte que a menudo son requeridos en ingeniería sísmica y en diseño sismo resistente” (SeismoSoft, 2016)

Correcciones Y Filtros En SeismoSignal

Debido a que el software SeismoSignal utiliza el método de la integración para determinar velocidad y desplazamiento a partir de la aceleración, si la línea base no se corrige, aumenta el área bajo la curva de modo que los valores obtenidos de velocidad y desplazamiento no corresponden a los reales, lo cual da resultados incorrectos de los parámetros de intensidad y de los espectros de respuesta y de Fourier obtenidos. Para la mayor parte de los registros basta con una corrección de tipo lineal del a línea base.

Los tipos de configuración que se pueden utilizar en los filtros son cuatro (SeismoSoft, 2016)

- Filtro lowpass: Suprime las frecuencias que son mayores a una frecuencia que es definida por el usuario.
- Filtro highpass: Permite frecuencias mayores a una frecuencia que es definida por el usuario.
- Filtro Bandpass: Permite frecuencias comprendidas en un rango definido por el usuario.
- Filtro Bandstop: Suprime las frecuencias comprendidas en un rango definido por el usuario.

El software SeismoSignal permite la utilización de tres tipos de filtros basados en filtros clásicos de tipo infinite-impulse-response (IIR) que son:

- Butterworth: “El filtro de Butterworth es uno de los filtros electrónicos básicos, diseñado para producir la respuesta más plana que sea posible hasta la frecuencia de corte. En otras palabras, la salida se mantiene constante casi hasta la frecuencia de corte,



luego disminuye a razón de $20n$ dB por década (o $\sim 6n$ dB por octava), donde n es el número de polos del filtro.” (Butterworth, 1930)

- Chebyshev: los filtros de Chebyshev poseen mejor respuesta para las frecuencias cercanas a la frecuencia de corte (ω_c), a diferencia un filtro Butterworth. esto es debido a que en la banda de transición de la curva que la caracteriza tiene una pendiente mayor que la que corresponde a Butterworth. Sin embargo, este filtro presenta rizado (ripples) en la banda pasante
- Bessel: Los filtros de Bessel son filtros que aseguran la fase lineal en toda la banda pasante, ya que los filtros anteriores la degradaban progresivamente.

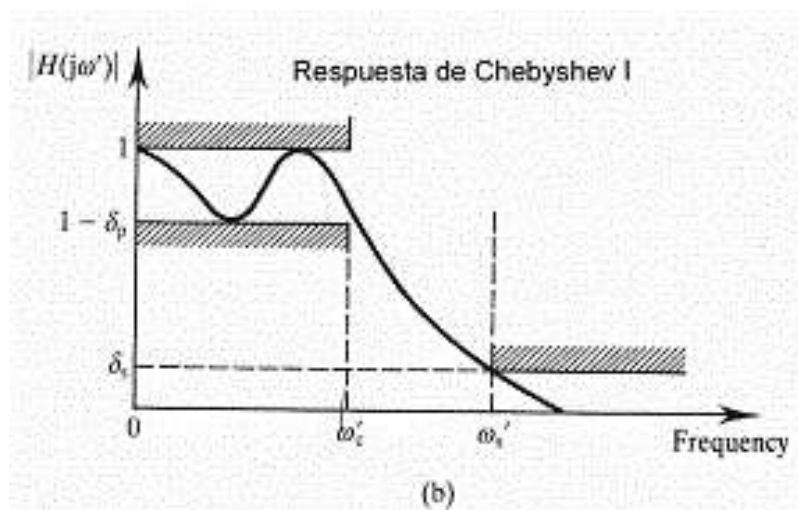
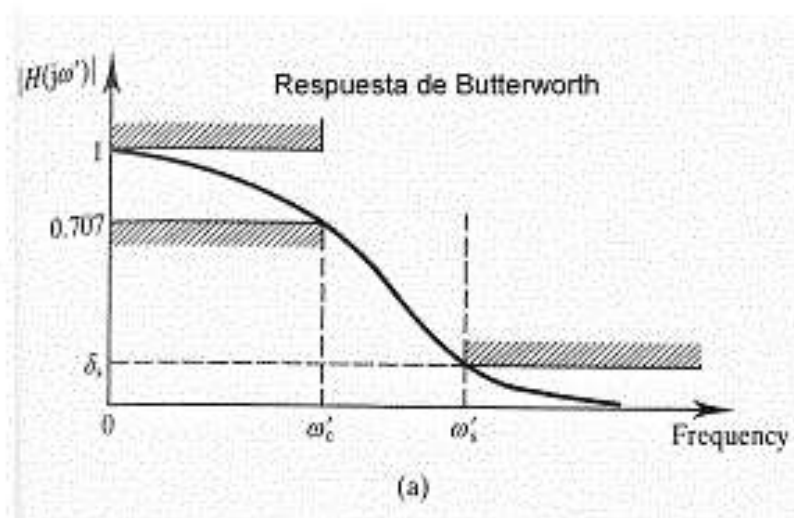


Figura 25 – a) Respuesta de Butterworth y b) Respuesta de Chebyshev

Finalmente, además de elegir el tipo de filtro que se usará (el valor predeterminado es 'Butterworth', por los motivos descritos anteriormente) y su configuración ('bandpass' es el valor



predeterminado), los usuarios también pueden definir el orden (el valor predeterminado es 4) y el rango de frecuencia a adoptar ($Freq1 = 0.10$ Hz y $Freq2 = 25$ Hz, por defecto), observando que, para una mayor precisión, los valores pueden ser ingresados directamente por el usuario. “También se resalta que el rango de filtrado predefinido corresponde, con alguna aproximación, a la configuración de filtrado generalmente utilizada por las bases de datos de movimiento fuerte en el mundo para obtener registros de acelerogramas corregidos (ver por ejemplo European Strong Motion Database)”. (SeismoSoft, 2016)

Espectro De Respuesta En SeismoSignal

Un espectro de respuesta de una señal sísmica es el máximo valor de la respuesta tanto de aceleración, velocidad y desplazamiento versus el periodo de vibración del sistema.

El software SeismoSignal se destaca además de servir para tratar los acelerogramas para generar datos elásticos del movimiento sísmico, los espectros se calculan mediante la integración temporal de la ecuación de movimiento de una serie de sistemas de un solo grado de libertad a partir de los cuales se obtienen las máximas respuestas de desplazamiento, velocidad y aceleración y se grafican en un período vs. amplitud, comúnmente conocidos como espectros de respuesta de la aceleración del suelo para un sistema compuesto por un oscilador con un grado de libertad.

Además, y solo para el caso de espectros elásticos, también se dan los valores de respuesta de pseudovelocidad y pseudo-aceleración, obtenidos mediante la multiplicación de los valores de respuesta de desplazamiento por ω y ω^2 , respectivamente (" ω " significa frecuencia angular).

2.2.8 Espectro De Diseño

Las construcciones no pueden diseñarse para resistir un solo terremoto para una zona dada debido a que probablemente el próximo terremoto presentara características distintas, por lo tanto, los espectros de respuesta elástica o inelástica, cuya teoría ha sido desarrollada previamente, no pueden utilizarse para el diseño sismorresistente.

Las curvas de los espectros de respuesta tienen fuertes discontinuidades en sus derivadas, debido a que en muchos puntos se está cerca a la resonancia (incremento de amplitud debido a una frecuencia perdidamente aplicada es muy cercana a la frecuencia natural del sistema en el cual actúa). Esto produce máximos y mínimos cuyos períodos son bastante cercanos, entonces un espectro de este tipo no puede ser adoptado como espectro de diseño. “Por esta razón y a los



fin de proyecto, se deben utilizar los espectros medios, que se obtienen a partir del estudio de varios terremotos ocurridos en una zona determinada, durante un tiempo también pre-establecido.” (Barbat, Oller, & Vielma, 2005)

“En resumen, la verificación de las construcciones sismorresistente se realiza a partir de espectros que son suavizados (no tienen variaciones bruscas) y que consideran el efecto de varios terremotos” (Crisafulli & Villafane, 2002), es decir que representan una envolvente de los espectros de respuesta de los terremotos típicos de una zona.

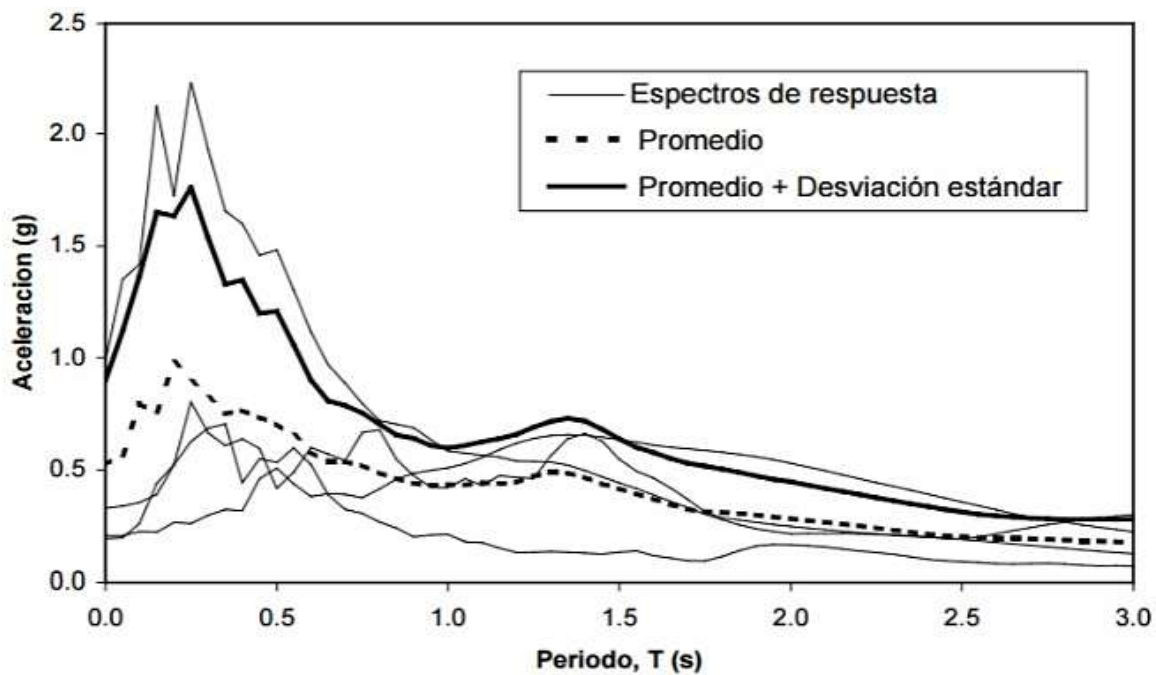


Figura26 - Ejemplo de determinación del espectro de diseño a partir de cuatro espectros de respuestas – Crisafulli & Villafane.

Se han desarrollado muchas metodologías estadísticas para obtener los espectros de diseño sin embargo el procedimiento más usual es considerar el espectro de diseño como el valor promedio más la desviación estándar de los espectros de respuesta de varios terremotos representativos, como se puede deducir, si los valores de los espectros de respuesta son similares, es decir los terremotos tienen un comportamiento y características similares en la misma zona, la desviación estándar es baja y la curva espectral se asemeja al promedio. “Por el contrario, si los valores presentan diferencias significativas, la desviación estándar es alta y la curva espectral se acerca al valor máximo, o incluso puede superarlo. De modo que este procedimiento tiene en cuenta la mayor o menor dispersión de los datos y conduce a resultados confiables”. (Crisafulli & Villafane, 2002)



“...una vez construidos los espectros de respuesta, estos fueron normalizados para eliminar el factor de intensidad. Posteriormente se determinó un espectro promedio con una desviación estándar, o sea, un “espectro de respuesta de la media + una desviación estándar” al que se llama “espectro de diseño”. Adicionalmente, se determinó la envolvente de todos los espectros normalizados.” (A. Jaime, S. Juarez, F. Flores , 2012)

2.2.8.1 Espectro De Diseño Basados En Fuerzas

“Se define la pseudo-aceleración “ $pa(t)$ ”, como la fuerza restitutiva por unidad de masa que como se ve a continuación es una función directa del desplazamiento y de la frecuencia de la estructura:

$$pa(t) = \frac{Fr(t)}{M} = \omega^2 x(t) \quad (23)$$

El valor máximo de $pa(t)$ se denomina pseudo-aceleración espectral “ S_a ” y depende solamente de la frecuencia o periodo de la estructura este espectro muestra valores para diferentes periodos.” (ASCE, 2010)

Considerando que las edificaciones son osciladores de un grado de libertad y tienen un comportamiento dinámico similar, se dice que toda esta familia de osciladores llamados edificaciones tendrá la misma respuesta para el desplazamiento, velocidad y aceleración.

2.2.8.2 Construcción Del Espectro De Diseño

El espectro de diseño se basa en un análisis estadístico de varios espectros de respuesta de un conjunto de movimientos del suelo. El análisis estadístico de estos datos provee la distribución de probabilidades para las ordenadas espectrales, el valor de la media y la desviación estándar para cada periodo

“El espectro de diseño sería entonces el promedio de “ n ” espectros de respuesta. Su construcción se obtiene como envolvente de los espectros ocurridos y se los suaviza para evitar los picos y valles. Este nuevo espectro garantiza, con cierta probabilidad, que su utilización para el diseño cubre un porcentaje bien definido de sismos ocurridos en el lugar durante un determinado tiempo.” (Barbat, Oller, & Vielma, 2005)



Al conectar los valores medios se obtiene entonces el espectro de respuesta medio de manera normalizada, y este espectro de respuesta más una desviación estándar se obtiene de forma similar, a este le llamaríamos espectro de diseño.

2.2.9 Espectro De La NTE030-2018

Esta parte de la investigación se centró en analizar y comparar los parámetros mediante los cuales se obtiene el espectro de aceleración elástico en la norma vigente del año 2018, el cual por supuesto es considerado un espectro de diseño.

Hay factores que responden al diseño estructural exclusivamente, (espectro de diseño inelástico) como el factor U que corresponde al uso que se le dará a la estructura o el factor de reducción R que está relacionado a la configuración, el sistema y la regularidad estructural, el análisis de estos factores no será necesario para la investigación.

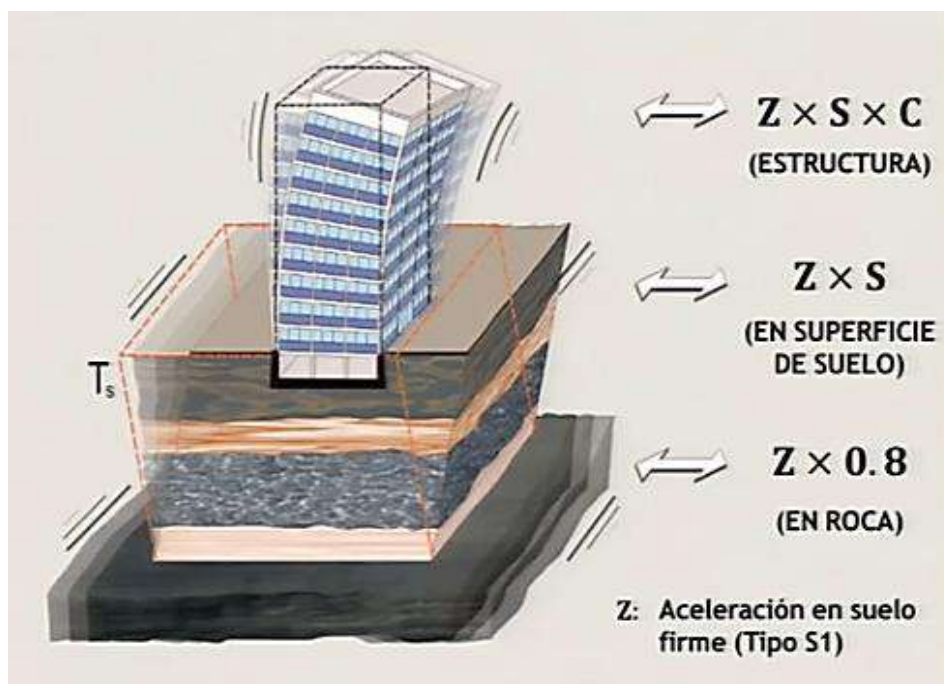


Figura 27 - Factores del Espectro Elástico en la Base - Alejandro Muñoz

Los factores en los que se centró el trabajo son los que representan la fuerza del sismo que será sentida por la estructura antes de ser reducida por la configuración de la edificación, lo cual la haría trabajar en un escenario elástico:

La sismicidad de la zona o el suelo a estudiar, $Z \times S$ vendría a ser la aceleración, velocidad o desplazamientos del suelo en el que está la estructura.

Y el factor de amplificación sísmica “C” el cual responderá mediante el espectro respectivo a los terremotos representativos de la zona en que lo construyan.

2.2.9.1 Factor De Zonificación “Z”

El factor de zonificación sísmica es un número que representa las aceleraciones máximas esperadas en una zona cada 500 años.

El territorio nacional está dividido en cuatro zonas sísmicas las cuales se diferenciaron de acuerdo con la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica.



Figura 28 - Zonificación Sísmica - NT E030-2018, valores de Z en unidades “g”



Los 4 valores para la nueva zonificación estipulada en la norma actualizada responden a estudios de peligro sísmico en el Perú como el representado en las ilustraciones 12 y 13, las cuales se consideran aceleraciones decrecientes de costa a selva suponiendo que los sismos sentidos en la zona 2 y 1 son un porcentaje de la sismicidad observada en la costa.

2.2.9.2 Factor De Suelo “S”

Tabla 1 – “Clasificación de perfiles de suelo” – (NTE030, 2018)

Clasificación de los perfiles de suelo			
S	V	N	S_u
S ₀	>1500 m/s	-	-
S ₁	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
S ₂	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S ₃	<180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S ₄	Clasificación basada en el EMS		

“El factor de suelo representa objetivamente el comportamiento del sismo en un tipo de suelo específico, la diferencia en las aceleraciones esperadas en la zona “Z” para cada tipo de suelo.” (Muñoz, 2010)

Tabla 2 – “Factor de suelo “S”” - (NTE030, 2018)

Factor de suelo “S”				
	S₀	S₁	S₂	S₃
Z₄	0.8	1	1.05	1.1
Z₃	0.8	1	1.15	1.2
Z₂	0.8	1	1.2	1.4
Z₁	0.8	1	1.6	2

Este factor se determina según el estudio del estrato correspondiente a los 30 primeros metros por debajo de la superficie, obteniendo el ponderado de los 30 metros entre todos los tipos de



suelo que se encuentren hasta esta profundidad de acuerdo con el valor de la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, el promedio ponderado de los ensayos de penetración estándar y promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada. Una vez ubicado el perfil de suelo, el factor S se determina de acuerdo con la zona sísmica en la que ocurriría el sismo.

En suelo malo (arenas, arcillas, etc.), que la norma considera como S3 y S4 de acuerdo con sus propias características, las aceleraciones son más grandes que en un suelo bueno (roca dura) que la norma considera como s0 o s1, sin embargo, es muy diferente tener un suelo bueno en la costa que un suelo bueno en la sierra.

El perfil de suelo de la costa recibe una aceleración tan grande que se daña durante el terremoto y recibe la aceleración directa sin ser amplificada en los demás estratos, en cambio en la selva las ondas sísmicas llegan con un valor muchísimo menor y este estrato puede amplificar hasta por dos el valor de esa aceleración.

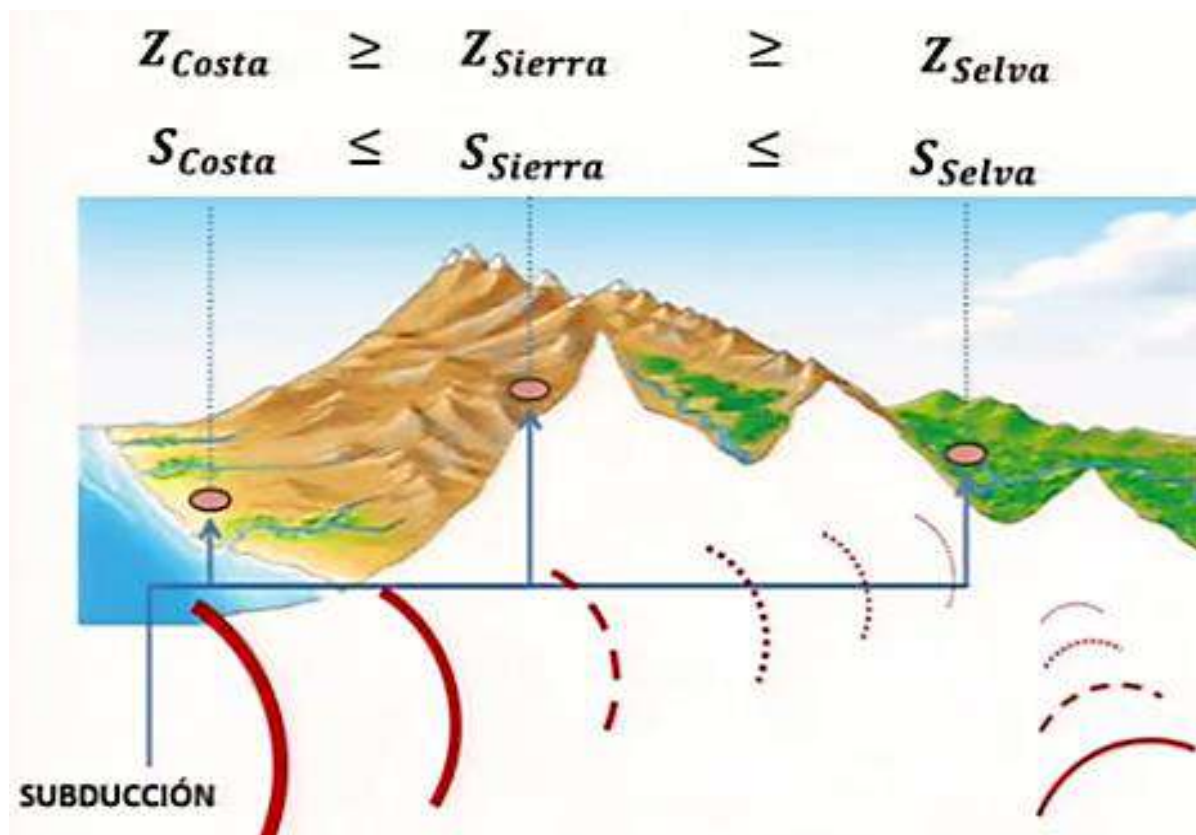


Figura 29 - Diferenciación entre Z y S para el Perú - Alejandro Muñoz



El perfil de suelo determina también valores de los periodos de diseño del espectro de diseño de la norma con los valores T_p y T_L :

Tabla 3 - Periodos T_p y T_L - NT E030 2018

Periodos				
	S_0	S_1	S_2	S_3
T_P (S)	0.3	0.4	0.6	1
T_L (S)	3	2.5	2	1.6

- T_p : valor del fin de la plataforma, a medida que el suelo empeora la plataforma máxima del espectro de amplifica, y mientras más larga la plataforma del espectro son mayores los tipos de edificio que se dañan durante el sismo abarcando las estructuras de 1, 2, 3, etc. segundos de periodo de vibración.
- T_L : valor que se introdujo en la norma actualizada y define el inicio de la zona espectral con desplazamiento constante.

2.2.9.3 Factor De Amplificación “C”

Es el factor de amplificación sísmica en la estructura, que depende del periodo de vibración de esta, (Muñoz, 2010) es decir cuánto se amplifica la aceleración estructural con respecto a la recibida en el suelo de la base de una estructura de acuerdo con el periodo de vibración de esta.

Tabla 4 - Factor de Amplificación “C” – NTE030 – 2018

Factor de amplificación “C”	
$T < T_P$	2,5
$T_P < T < T_L$	$2,5 \cdot \frac{T_P}{T}$
$T < T_L$	$2,5 \cdot \frac{(T_P \cdot T_L)}{T^2}$



2.2.10 Sismos Artificiales

2.2.10.1 Contenido De Frecuencias: Espectros Del Movimiento Del Suelo

Solamente se requiere un análisis simple para mostrar la respuesta dinámica de objetos sensibles, ya sean ellos edificios, puentes, o depósitos de suelos. El contenido de frecuencia describe cómo la amplitud del movimiento del suelo se distribuye entre las diversas frecuencias. Puesto que el contenido de frecuencia de un movimiento sísmico influenciará fuertemente en los efectos del movimiento del suelo, la caracterización del movimiento no puede ser completa sin la consideración de su contenido de frecuencia.

Según (Boore D. M., 2003) las frecuencias de interés para la ingeniería sísmica están en el rango de 20-0.1Hz. otros autores como (CHOPRA, 2004) indican que el contenido de frecuencias que importa para la ingeniería sísmica aplicada a las estructuras esta entre 25-0.1Hz. como también sugiere el European Strong Motion Center de acuerdo con un estudio del promedio de los abundantes registros sísmicos que contiene su archivo.

2.2.10.2 Importancia Y Uso De Los Sismos Artificiales

Comúnmente para el análisis de estructuras sometidas a un sismo, se usa como datos de entrada sismos cercanos al lugar de interés, muchas veces la cantidad de estos sismos no cubre lo estipulado en las normativas para hallar un espectro de diseño, otras veces el registro no cuenta con información de los máximos parámetros que se buscan en el rango de interés de frecuencias, estas cuestiones generan incertidumbre sobre la respuesta estructural.

“La generación de acelerogramas artificiales compatibles con un espectro de respuesta es una excelente herramienta para este tipo de análisis que permite obtener un rango amplio de frecuencias y se ajustan a las amplitudes espectrales especificadas en las diferentes normativas.”
(Bonett & Pujades, 2002)

2.2.10.3 Generación De Los Sismos Artificiales

En general hay muchísimos métodos para generar los sismos o acelerogramas artificiales y la teoría es amplia y robusta, suficiente para una nueva investigación, sin embargo el método siempre es regido por un mismo principio o fundamento: tomar un acelerograma y mediante funciones y operaciones matemáticas (como la transformada de Fourier, capítulo 2.2.7.) generar



otro acelerograma usando el contenido de frecuencias de interés y transformando esta función de la frecuencia a la aceleración.

Los métodos en general se basan en el hecho de que cualquier función que use las características de las señales sísmicas bajo determinadas condiciones, puede ser representada como una superposición de ondas moduladas por una función temporal envolvente que definiría la forma del acelerograma que se hallara:

Uno de los métodos más conocidos para generar sismos artificiales es el de la superposición de osciladores:

“Sea la función:

$$x_i(t) = A_i \sin(\omega_i t + \alpha_i) \quad i = 1, 2, 3 \dots \infty \quad (24)$$

Donde $x_i(t)$ = es la i -ésima función senoidal para superponer, A_i = amplitud del i -ésimo lugar, ω_i = es la frecuencia circular en i y α_i = es el i -ésimo ángulo de fase.

Estas funciones sinusoidales se superponen, Ecuación (25), para obtener el proceso aleatorio que sirve de base para caracterizar el acelerograma de un terremoto.

$$X(t) = \sum_{i=1}^n x_i(t) \quad (25)$$

$$\alpha_{n+1} = (a \cdot \alpha_n + c) \text{mod} m \quad (26)$$

α_n = Semilla para generar números aleatorios

donde, a es el multiplicador; c es el incremento y m el módulo

$$R_n = \frac{\alpha_n}{m} \quad (27)$$

Donde R_n es la razón entre el ángulo de fase y el módulo.

Estos valores tienen las siguientes condiciones:

$$0 \leq \alpha_n \leq m \quad y \quad 0 \leq R_n < 1 \quad (28)$$

Los armónicos con frecuencia circular $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ tienen las correspondientes amplitudes $A_1 = 2 | C_1 |$, $A_2 = 2 | C_2 |$, $A_3 = 2 | C_3 |$, donde los valores “ C_i ” corresponden a las amplitudes de



Fourier. Estos valores se obtienen de la media de los cuadrados de la función “ $x_i(t)$ ”, en el rango $-s/2 < t < s/2$, donde “ s ” es la duración de la fase de terremoto intenso, en segundos.

La correspondencia entre los cuadrados medios de la función “ $x_i(t)$ ” y la función densidad del espectro de potencia del proceso, se logra mediante la siguiente relación:

$$S(\omega_i) = \frac{A_i^2}{2\Delta\omega} \quad (29)$$

Esta relación cumple la función de densidad unilateral, es decir, el FDEP tiene toda su potencia concentrada solo en el semieje positivo de ω

La diferencia entre frecuencias consecutivas es un valor fijo, ω_i, ω_{i-1} , correspondiente a:

$$\Delta\omega = \frac{2\pi}{s} \quad (30)$$

El ángulo de fase α_i es aleatorio, con una función de densidad de probabilidad uniforme entre 0 y 2π . Este ángulo es el que asegura el carácter aleatorio del proceso.” (Pezo Zegarra, 2012)

Hoy en día muchos softwares nos permiten colocar esta sucesión de fórmulas con la transformada de Fourier correspondiente a la caracterización de los sismos que ocurren en cierta localidad.

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis General

El primer tramo, plataforma y tramo curvo del espectro de diseño generado a partir de sismos registrados por el CISMID en la zona sísmica Z2 con la asistencia del software SeismoSignal difiere del primer tramo, plataforma y tramo curvo de descenso del espectro de diseño prescrito por la NTE030 (2018) para la zona sísmica Z2

2.3.2 Sub Hipótesis

- a) Los valores de la curva de las aceleraciones de los sismos originales registrados por el CISMID generan una curva de características muy diferentes respecto a sus propios escalados y filtrados.



- b) Las aceleraciones de los espectros de diseño generados a partir de sismos registrados por el CISMID en la zona sísmica Z2 con la asistencia del software SeismoSignal están por debajo del espectro de diseño prescrito por la NTE030 (2018) para la zona sísmica Z2.
- c) Los espectros de diseño generados a partir de sismos registrados por el CISMID en la zona sísmica Z2 con la asistencia del software SeismoSignal tienen un valor en el segundo 0 distinto al espectro de diseño prescrito por la NTE030 (2018) para la zona sísmica Z2.
- d) Las magnitudes de S_a de los espectros de diseño generados a partir de sismos registrados por el CISMID en la zona sísmica Z2 con la asistencia del software SeismoSignal tienen valores de hasta 0.5cm/s^2 de diferencia en el tramo de la plataforma con el espectro de diseño prescrito por la NTE030 (2018) para la zona sísmica Z2.

2.4 Definición De Variables

2.4.1 Variables Independientes

X1: Periodo de Vibración: “T”, Tiempo requerido para dar una oscilación en la dirección que se está considerando; Valor del periodo de vibración del suelo durante un sismo.

X2: Aceleración: “a”, Variación de la velocidad respecto al tiempo; Valor de la aceleración que experimenta en suelo para cada valor de periodo de vibración en el espectro elástico.

2.4.2 Variables Dependientes

Y1: Curva de frecuencias generada a partir de acelerogramas de sismos registrados por el CISMID con la asistencia del software SeismoSignal: gráfico de la cantidad de oscilaciones del movimiento ondulatorio y vibratorio correspondiente al sismo las frecuencias de vibración para cada valor T en segundos en función de:

- w (frecuencia): cantidad de oscilaciones del suelo
- T (tiempo): instante de vibración durante un sismo en el cual se registra una frecuencia.

Y2: Espectro de respuesta generado a partir de acelerogramas de sismos registrados por el CISMID con la asistencia del software SeismoSignal: Gráfico de la respuesta máxima que produce la acción dinámica de un sismo en un oscilador de un grado de libertad ocurridos en la zona sísmica Z2, ubicados en un perfil de suelo en función de:



- Sa (pseudo-aceleración): Aceleraciones máximas. a las cuales puede ser sometido el suelo durante un sismo para cada periodo de vibración “T”.
- T (periodo de vibración): instante de vibración durante un sismo en el cual sucede una pseudo-aceleración “Sa”.

Y3: Espectro de diseño generado a partir de acelerogramas de sismos registrados por el CISMID con la asistencia del software SeismoSignal: Gráfico del promedio más la desviación estándar de los espectros de respuesta correspondientes a un mismo perfil de suelo y misma zona sísmica de acuerdo con la NTE030 (2018) en función de:

- Sa (pseudo-aceleración): Aceleraciones máximas. a las cuales puede ser sometido el suelo durante un sismo para cada periodo de vibración “T”.
- T (periodo de vibración): instante de vibración durante un sismo en el cual sucede una pseudo-aceleración “Sa”.

Y4: Espectro de diseño hallado a partir de la NTE030 (2018): Gráfico de la respuesta máxima que debería producir la acción dinámica de un sismo en un oscilador de un grado de libertad para la zona sísmica Z2 en los diferentes perfiles de suelos en función de:

- Sa (pseudo-aceleración): Aceleraciones máximas a las cuales puede ser sometida una estructura durante un sismo para cada periodo de vibración “T”.
- T (periodo de vibración): instante de vibración durante un sismo en el cual sucede una pseudo-aceleración “Sa”.

2.4.3 Cuadro De Operacionalización De Variables

Tabla 5 – Cuadro de operacionalización de variables

VARIABLE	NOMBRE	SIMBOLO	DEFINICION	NIVEL	INDICADORES	SIMBOLO	UND	INSTRUMENTOS
VARIABLES INDEPENDIENTES								
X1	Periodo de vibración	T	Tiempo requerido para dar una oscilación en la dirección que se está considerando; Valor del periodo de vibración de una onda durante un sismo.	Espectro elástico de diseño	Tiempo	t	seg	Software Seismo Signal + Microsoft Excel + Grapher
X2	Aceleración	a	Variación de la velocidad respecto al tiempo; Valor de la aceleración que experimenta en suelo para cada valor de periodo de vibración en el espectro elástico.	Espectro elástico de diseño	Velocidad	v	cm/seg	
					Tiempo	t	seg	



VARIABLES DEPENDIENTES								
Y1	Curva de frecuencias generada a partir de acelerogramas de sismos registrados por el CISMID con la asistencia del software SeismoSignal:	cw'	Gráfico de la cantidad de oscilaciones del movimiento ondulatorio y vibratorio correspondiente al sismo las frecuencias de vibración para cada valor T en segundos	Acelerograma	Frecuencia	w	Hz	Acelerógrafo + acelerograma CISMID
					Tiempo	t	seg	
Y2:	Espectro de respuesta generado a partir de acelerogramas de sismos registrados por el CISMID con la asistencia del software SeismoSignal	er'	Gráfico de la respuesta máxima que produce la acción dinámica de un sismo en un oscilador de un grado de libertad ocurridos en la zona sísmica Z2, ubicados en un perfil de suelo	Espectro de respuesta	Pseudo aceleración	Sa	cm/seg	Software Seismo Signal
					Periodo de vibración	T	seg	
Y3	Espectro de diseño generado a partir de acelerogramas de sismos registrados por el CISMID con la asistencia del software SeismoSignal	ed'	Gráfico del promedio más la desviación estándar de los espectros de respuesta correspondientes a un mismo perfil de suelo y misma zona sísmica de acuerdo a la NTE030	Espectro de diseño	Pseudo aceleración	Sa	cm/seg	Software Microsoft Excel + Grapher
					Periodo de vibración	T	seg	
Y4	Espectro de diseño hallado a partir de la NTE030:	edn'	Gráfico de la respuesta máxima que debería producir la acción dinámica de un sismo en un oscilador de un grado de libertad para la zona sísmica Z2 en los diferentes perfiles de suelos	Espectro de diseño	Pseudo aceleración	Sa	cm/seg	Norma Técnica E030 2018 + Software Microsoft Excel + Grapher
					Periodo de vibración	T	seg	

3 METODOLOGÍA

3.1 Metodología De La Investigación

3.1.1 Enfoque De La Investigación

“Es una investigación de tipo cuantitativa, pues permitió evaluar un fenómeno en función de parámetros que son medibles y que pueden ser reproducidos con las mismas condiciones en cualquier momento”. (Sampieri, 2010)

Como resultado se maneja una serie de datos numéricos concernientes a las variables que fueron estudiadas; (tal como; el caso de los parámetros dinámicos y los parámetros globales de respuesta estructural), durante el desarrollo del estudio, la obtención de resultados se limitó a responder las preguntas en relación con las hipótesis planteadas, se siguió un proceso probatorio analizando la realidad objetiva.



“Debido a que la investigación trabaja con datos exactos y números se ha calificado como cuantitativa, bajo esta perspectiva, la recolección de datos es equivalente a medir.” (GOMEZ, 2006)

3.1.2 Nivel De La Investigación

La investigación alcanzó un nivel descriptivo, debido a que se expusieron una serie de problemas, planteados sobre la base de una hipótesis con el objetivo de describir fenómenos, situaciones, contextos y eventos específicos.

Para este estudio se evaluó, el comportamiento dinámico de una estructura ante las vibraciones generadas de diversa índole, con el propósito de describir este fenómeno: se han especificado las propiedades, características y rasgos importantes, que hicieron posible entender su naturaleza y explicar las causas y efectos de este fenómeno. (GOMEZ, 2006)

De acuerdo con el nivel de la investigación el estudio se ha dividido en 4 etapas que fueron importantes para mostrar con precisión las dimensiones del fenómeno en estudio.

- Identificar el fenómeno y los sujetos involucrados;
- Definir las variables a medir;
- Recolectar datos;
- Concluir.

De acuerdo con la amplitud de la investigación, se ha enfocado la atención a las variables estudiadas, para lo cual ha sido necesario desarrollar el trabajo con precisión y carácter observador. El nivel descriptivo de la investigación nos ha permitido formar una relación con otros estudios más rigurosos, de esta manera constituye la base para investigaciones correlacionales.

3.1.3 Método De Investigación

El método usado para la presente investigación es el hipotético deductivo, a razón de que se demostró una hipótesis, por medio de la deducción de valores obtenidos, (en cuanto a la magnitud de los parámetros dinámicos y parámetros globales de respuesta estructural) (Sampieri, 2010).



Además, se han realizado los siguientes pasos: se observó el fenómeno a investigar, se creó una hipótesis para explicar el fenómeno en estudio, se dedujeron las consecuencias, y se verificaron los resultados comparando los enunciados con las experiencias. Durante el desarrollo se ha seguido un proceso probatorio en el que se analizó la realidad objetiva con el fin de tener una respuesta clara con respecto a la hipótesis.

Por otro lado, se justifica el uso del método hipotético deductivo, porque las hipótesis planteadas surgen a partir de principios ya descubiertos como es: la segunda ley de Newton, el método Newmark y hall, promedio más desviación estándar de espectros de diseño, etc., se mantuvieron inferencias hipotético – deductivas para obtener conclusiones en relación con las hipótesis planteadas y que además pueden ser comprobadas experimentalmente.

3.2 Diseño De Investigación

3.2.1 Diseño Metodológico Experimental

El diseño metodológico de la investigación es experimental. Porque durante el proceso de recolección de datos se manipularon intencionalmente las variables, filtrándolas, corrigiéndolas y escalándolas de acuerdo con la teoría estudiada, además se obtuvieron promedios y desviaciones estándar para generar las principales herramientas de comparación. Es así como enfocamos el estudio a la observación de fenómenos que involucran variables independientes que ocurren bajo condiciones modificadas.

3.2.2 Tipo Transversal – Descriptivo

Es de tipo transversal. Pues se considera que en el desarrollo de la investigación se evaluó un fenómeno en una circunstancia temporal y geográfica determinada, los datos fueron recolectados en un tiempo único, por lo tanto, los fenómenos en estudio ya habían ocurrido.

Además, es un diseño de tipo transversal descriptivo, pues describiremos los espectros que son las principales variables para entender el contexto, el estudio presentará resultados sobre las diferencias de los datos estudiados: Evaluaremos la correspondencia del espectro generado por la norma vs el espectro generado por el promedio más desviación estándar de los espectros de respuesta de sismos ocurridos en la zona sísmica z2.



3.2.3 Diseño De Ingeniería





3.3 Población Y Muestra

3.3.1 Población

3.3.1.1 Descripción De La Población

Se obtuvo acceso a todos los sismos registrados por los acelerogramas del CISMID en todas las estaciones con las que cuenta el instituto en su página web, ocurridos en cualquier localidad que la NTE030 (2018) considera dentro de la zona sísmica z2 entre los años 1951 y 2019.

3.3.1.2 Cuantificación De La Población

En la Tabla 6 encontraremos un ejemplo de cómo se grabaron todos los registros de la población de la investigación, en total se contaron con 184 sismos registrados.

Tabla 6, acelerogramas registrados por el CISMID, del 2018 al 2019 - <http://cecos.cismid-uni.org/buscar-ultimos-sismos.html>

Fecha y hora local	Lugar	Magnitud	Fecha y hora local	Lugar	Magnitud
2018-11-24 15:20:59	62 km al SO de Huacho, Huaura - Lima	4.5 ML	2019-05-27 22:14:36	57 km al SO de Callao, Callao - Lima	4.8 ML
2018-11-20 01:38:03	96 km al SO de Casma, Casma - Ancash	5.7 ML	2019-05-26 02:41:12	70km al SE de Lagunas, Alto Amazonas - Loreto	7.2 ML
2018-09-27 17:00:07	85 km al SO de Huacho, Huaura - Lima	4.9 ML	2019-04-11 10:50:31	34 km al SO de Pisco, Pisco - Ica	5.3 ML
2018-07-18 17:00:54	31 km al S de Chosica, Lima - Lima	4 ML	2019-03-22 07:50:00	32 km al Oeste-SO de Mala, Cañete - Lima	4.9 ML
2018-05-22 13:08:34	61km al Oeste de Huacho, Huaura - Lima	4.9 ML	2019-02-22 05:17:00	114 km al Nor-Oeste de Pastaza, Alto Amazonas - Loreto	7.7 ML
2018-05-17 06:07:13	30km al SO de Mala, Cañete - Lima	5.5 ML	2019-01-29 18:34:00	11 km al Oeste de Viraco, Castilla - Arequipa	5.4 ML
2018-04-19 15:19:09	35km al O de Chilca, Canete Lima	3.7 ML			
2018-04-05 19:40:15	60km al oeste de San Juan de Marcona, Ica	5.4 ML			
2018-04-05 11:12:12	40km al Oeste de Iquique, Chile	5.6 Mw			
2018-04-05 04:16:53	62km al oeste de San Juan de Marcona, Ica	4.9 ML			
2018-03-15 05:05:07	Moquegua	4.1 ML			
2018-02-13 19:26:45	6 Km S de Tamboraque-Lima	3.6 ML			
2018-02-04 16:47:25	29 km NO de Locumba, Tacna	4.8 ML			
2018-02-01 00:35:49	63km al suroeste de Salaverry, La Libertad	5 ML			
2018-01-30 09:23:49	58km al suroeste de Yauca, Arequipa	5.5 ML			
2018-01-18 20:11:39	40km al sur de Lircay, Huancavelica	5.2 ML			
2018-01-14 09:18:42	56km al sur de Lomas, Arequipa	6.8 Mw			

3.3.2 Muestra

3.3.2.1 Descripción De La Muestra

La muestra, de acuerdo con el principal criterio de la investigación, consiste en verificar la sismicidad en la zona que la NTE030 (2018) considera como z2, entonces había que elegir sismos que mejor denoten las características de aceleración de los sismos allí ocurridos. Autores como Bertero (1992) y Chopra (2004) recomiendan tratar sismos de una intensidad de más de 4.5° o 5° en la escala de Richter para obtener mejores espectros de diseño, así que se eligieron los de igual o más de 4.5° de intensidad como representativos.



3.3.2.2 Cuantificación De La Muestra

Así, se consideraron 19 sismos que cumplían con los criterios correspondientes al estudio.

Tabla 7 - Muestra de la tesis, sismos representativos de la zona 2

Número de Sismo	Distrito/Provincia	Departamento	Fecha	Magnitud en Richter
Sismo 1	Reserva Nacional de Junín	Junín	16/02/2005	5.4
Sismo 2	Yurimaguas	Loreto	25/09/2005	7
Sismo 3	Honoría	Huánuco	27/03/2011	4.8
Sismo 4	Tiruntan	Loreto	7/05/2011	5
Sismo 5	Cayumba	Huánuco	24/08/2011	7
Sismo 6	Ccacho	Cusco	12/03/2012	5.4
Sismo 7	Comunidad De Masisea	Ucayali	2/08/2012	6.4
Sismo 8	Padre Abad	Ucayali	29/08/2012	4.8
Sismo 9	San Alejandro	Ucayali	10/11/2012	6
Sismo 10	Cahuapanas y Jeberos	Loreto	27/11/2012	5
Sismo 11	Nina bamba	Junín	10/04/2013	5
Sismo 12	Nueva Requena	Ucayali	5/06/2013	5.3
Sismo 13	Requena	Loreto	18/04/2017	6.1
Sismo 14	Pampamarca	Apurímac	16/05/2017	5.2
Sismo 15	Puerto Bermúdez	Pasco	1/07/2017	4.5
Sismo 16	la merced	Junín	13/08/2017	6.1
Sismo 17	Pastaza	Loreto	22/02/2019	7.7
Sismo 18	Langui	Cusco	6/01/2019	5
Sismo 19	Lagunas	Loreto	26/05/2019	7.2

3.3.2.3 MÉTODO DE MUESTREO

El método fue de simple elección, se buscaron las coordenadas registradas como epicentro en el sismo en un mapa interactivo y se obtuvo la ubicación; si la ubicación correspondía a lo indicado en la NTE030 (2018) como zona sísmica z2, los sismos anteriormente elegidos por ser de más de 4.5° en la escala de Richter, fueron considerados como los 19 sismo de muestra de esta investigación.

3.3.2.4 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE MUESTRA

Se utilizaron para evaluar las muestras:

- Los registros acelerométricos del sismo: para ubicar las coordenadas del epicentro.
- Mapa interactivo Google Earth: para ubicar exactamente el lugar del epicentro.



- Mapa de las provincias y distritos del Perú: para conocer el nombre del distrito del epicentro.
- NTE030-2018: para elegir la zonificación sísmica del distrito donde tuvo lugar el epicentro de los sismos.

3.3.3 Criterios De Inclusión

El primer criterio para utilizar fue la teoría antes desarrollada que indica que los sismos representativos son los que registraron una magnitud de más de 5° en la escala de Richter, sin embargo, al tener una población tan pequeña y con una representatividad muy amplia (pues aplica en todo el territorio peruano) se decidió bajar medio grado de intensidad y así obtener 19 registros sísmicos para escalar a Z2 y después trabajar para evaluar y comentar.

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
CUSCO	CALCA	CALCA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		COYA		
		LAMAY		
		LARES		
		PISAC		
		SAN SALVADOR		
		TARAY		
	YANATILE			
	URUBAMBA	CHINCHERO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		HUAYLLABAMBA		
		MACHU PICCHU		
		MARAS		
		OLLANTAYTAMBO		
		URUBAMBA		
	YUCAY			
	PAUCARTAMBO	CAICAY	2	TODOS LOS DISTRITOS
		CHALLABAMBA		
		COLQUEPATA		
		HUANCARANI		
KOSRIPIATA				
ANTA	PAUCARTAMBO	2	TODOS LOS DISTRITOS	
	ANCAHUASI			
	ANTA			
	CACHIMAYO			
	CHINCHAYPUJIO			
	HUAROCONDO			
	LIMATAMBO			
	MOLLEPATA			
PUCYURA				
ZURITE				

Figura 30 – Recorte de la página 50 del anexo II de la NTE030-2018

El segundo criterio corresponde a la zonificación que se quiso estudiar, una que comprendiera la ciudad del cusco y una que no haya sido antes estudiada de la manera que sugiere este estudio,

estos dos aspectos convergen en la zona sísmica Z2. La NTE030 (2018) tiene en sus anexos un cuadro con todos los departamentos, provincias y distritos del Perú, cada uno de ellos con su correspondencia en una zona sísmica, basados en este cuadro y la ubicación exacta del epicentro de los sismos de la población, se eligieron solamente los que correspondían a esta zona sísmica.

El tercer criterio corresponde a tener la mayor cantidad de acelerogramas posibles para obtener mejores resultados, es por eso por lo que si bien es cierto se trata de un solo sismo, este pudo haber sido registrado por varias estaciones del CISMID, como por ejemplo el caso del sismo 9 que fue registrado en 7 estaciones distintas.

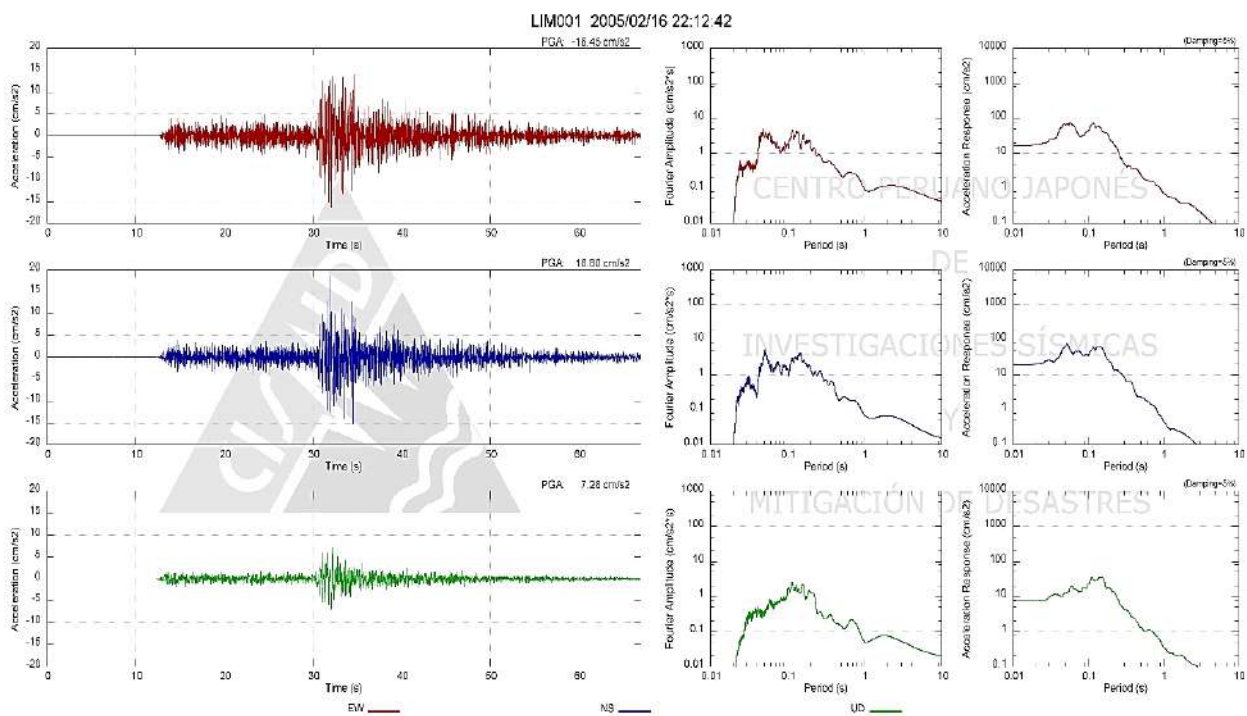


Figura 31 - acelerograma sismo 16 febrero del 2005 en tres direcciones - Reserva Nacional de Junín, Junín

Tabla 8 - Estaciones CISMID versus sismos muestra de la investigación.

Así se obtuvieron 70 registros sísmicos para el estudio después de haber aplicado este tercer criterio y considerando que se deben utilizar los sismos en sus dos direcciones principales NS-EO como recomienda la NTE030 (2018) la tesis contó con 140 registros para hacer el estudio, un número importante en comparación a lo que indica la norma como mínimo para hacer este tipo de análisis modal espectral que son 7 registros sísmicos, en dos direcciones, es decir 14 acelerogramas.



	Bomberos	Cerro UNI	Dec FIC-UNI	Estructuras	FIGMM	A Hurtado	Hidráulica	P Reserva	P Piedra	Marianistas	S Ayacucho	S Cusco	S Huancayo	Sencico Ica	S Iquitos	S Lima	S Piura	S Trujillo	UNAP Puno	V Salvador
Aceleración máxima del registro en cm/s ²																				
Sismo 1						18.80														
Sismo 2						14.66														
Sismo 3				0.37																
Sismo 4				0.29	0.33															
Sismo 5			5.90	6.93		10.61	6.71	5.75		6.07										21.97
Sismo 6									1.73											
Sismo 7	2.54		3.10		4.89		2.87	2.07	4.72	1.82										
Sismo 8			1.02		1.30		1.12													2.26
Sismo 9	2.60		3.19	2.75	4.06	2.28		2.48	3.59	1.49										7.88
Sismo 10					1.00				2.17											
Sismo 11	1.27	1.09	1.50					1.17												
Sismo 12	0.34	0.31					0.42													1.09
Sismo 13															15.40					
Sismo 14											0.56	0.64		2.21						
Sismo 15													2.28							
Sismo 16											6.47		27.32							
Sismo 17			1.72			2.01			8.01	4.70			1.37		10.63	0.95	8.56	7.12		
Sismo 18																				0.33
Sismo 19			22.43			31.41			32.73	13.60			8.00	6.76	81.08	8.08	20.84	44.67		

La Tabla 8 muestra las estaciones que registraron cada sismo y las aceleraciones máximas por sismo (entre las aceleraciones de las direcciones NS y EO) y por estación.

3.4 Instrumentos

3.4.1 Instrumentos De Recolección De Datos

Tabla 9 – Instrumento de recolección y tratamiento de registro acelerográfico.

Número del sismo:	5
Nombre de la estación:	Villa el Salvador
Frecuencia de muestreo:	200
Unidades del registro:	cm/s ²

	PGA	AbsMáx (-)	AbsMáx (+)
EO	13.142	16.82	18.64
NS	11.150	21.80	21.97

Nuevo time step	
28200	0.005
32000	0.004

Registro Original - SISMO 1			Registro Corregido			T	Esp. Aceleracion "cm/s ² "		Esp. Aceleracion "g"		Promedio EO-NS	
T	EO	NS	T	EO	NS		EO	NS	EO	NS	seg	g
0.000	0.44450	-1.09640				0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.005	1.84980	-1.35810				0.02	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.010	2.66400	-1.38470				0.04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.015	2.59830	-1.25580				0.06	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.020	1.49720	-0.24850				0.08	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.025	0.79260	0.59900				0.10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.030	-0.53380	0.45590				0.12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.035	-0.41810	-0.46750				0.14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.040	0.59660	-1.70790				0.16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.045	0.14490	-2.00290				0.18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.050	0.37930	-1.12030				0.20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.055	-0.18100	0.15320				0.22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.060	-0.55280	0.59360				0.24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.065	-0.51060	0.61800				0.26	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.070	-0.36340	1.27690				0.28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.075	-0.33020	2.14660				0.30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000



Se recolectaron los datos a partir de la página oficial del CISMID: <http://ceмос.cismid-uni.org/ceмос-redacis.html>, en la cual se pueden descargar los acelerogramas de los sismos que se eligieron para ser estudiados.

La frecuencia de muestreo original de todos los acelerogramas es distinta, varía entre 200 y 100 muestras por segundo, estos registros también registran aceleraciones hasta el segundo 598 en algunos casos (como el sismo 17). SeismoSignal no puede procesar espectros elásticos en más de 37000 líneas entonces como se ve en la Tabla 9 se va calculando si es necesario cambiar el time step de los registros, a continuación en la Tabla 10 se puede ver cuales registros cambiaron de time step.

Tabla 10 – time step de los sismos corregidos y sus correspondientes espectros de respuesta

N° Sismo		Dec FIC-UNI	A Hurtado	P Piedra	Marianistas	S Ayacucho	S Cusco	S Huancayo	Sencico Ica	S Iquitos	S Lima	S Plura	S Trujillo	V Salvador
7	Time step original			0.005										
	N° de datos			36000										
	Nuevo time step			0.006										
9	Time step original							0.005						
	N° de datos							38000						
	Nuevo time step							0.006						
12	Time step original													0.005
	N° de datos													39800
	Nuevo time step													0.006
14	Time step original					0.005	0.005		0.005					
	N° de datos					71863	71863		71863					
	Nuevo time step					0.011	0.011		0.011					
15	Time step original							0.005						
	N° de datos							47867						
	Nuevo time step							0.007						
17	Time step original	0.005	0.005	0.005	0.005			0.005		0.005	0.005	0.005	0.005	
	N° de datos	119605	119605	119605	119605			87997		90000	87603	90000	90000	
	Nuevo time step	0.019	0.019	0.019	0.019			0.014		0.014	0.014	0.014	0.014	
19	Time step original	0.005	0.005	0.005	0.005			0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	
	N° de datos	87602	64000	87602	87602			87602	87602	87602	87602	87602	87602	
	Nuevo time step	0.014	0.010	0.014	0.014			0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	

3.4.2 Instrumentos De Ingeniería

- a) Acelerómetro: el acelerómetro es el principal instrumento para registrar un sismo en sus parámetros más importantes para un estudio de sismoresistencia que es la aceleración. Los acelerógrafos que registraron los acelerogramas del estudio son de los modelos CV-374A2 Tokyo Sokushin, 130-SMA REFTEK, por ejemplo.



- b) SeismoSignal: es el software del grupo seismosoft con el que se pueden tratar los acelerogramas, corregir la línea base, y filtrarlos, después, se puede con el también evitar el largo proceso iterativo de obtener el espectro de respuesta de un registro acelerográfico y obtenerlo con mayor facilidad.
- c) Microsoft Excel: es el software de Microsoft que permite la manipulación de datos que procesa fórmulas matemáticas para obtener promedios, desviaciones estándar, etc.
- d) Grapher: es un software en el que se introducen tablas de datos y con ellos se genera con gran precisión curvas de estos datos para poder compararlos en un gráfico claro y de buena resolución.

3.5 Procedimiento De Recolección De Datos

3.5.1 Obtención De Los Registros Sísmicos CISMID

← → ↻ No es segura ceois.cismid-uni.org/red/

Red de Acelerógrafos del CISMID/FIC/UNI

MAPA DETALLES

Referencia:
70km al SE de Lagunas, Alto Amazonas - Loreto

Datos	
Fecha	2019-05-26
Hora	02:41:12
Latitud	-5.7
Longitud	-75.27
Magnitud	7.2 ML
Profundidad	141 km
Fuente	IGP

Estaciones donde se registraron señales:

[Descargar archivo ZIP con todos los datos](#)
Código: UJ2Wad6LlKo

Figura 32 – Impresión de pantalla de descarga del archivo zip con los datos del sismo 19.

- a) Equipos utilizados en la prueba: página web del CISMID – REDACIS: <http://ceois.cismid-uni.org/red/>
- b) Procedimiento: descarga de los registros sísmicos como se muestra en la Figura 32
- c) Toma de datos: se tomaron los datos de los 19 sismos en todas las estaciones que los registraron en las direcciones este-oeste y norte-sur:



3.6 Procedimiento Del Análisis De Datos

3.6.1 Obtención Del Factor De Escalamiento

Como ya sabemos, el escalamiento de los sismos se consigue aplicando la fórmula (3).

El PGA del suelo a escalar correspondería a lo indicado en la Figura 28 cuyos valores están en función de g , donde para z_2 tenemos $0.25g$, debemos igualar las unidades, este valor es para todos los registros sísmicos, pues queremos escalarlos todos al valor de la zonificación sísmica Z_2

$$0.25g \rightarrow 0.25 \cdot 980 \rightarrow 245cm/s^2 \quad (31)$$

El PGA del registro se identifica como el máximo absoluto de las aceleraciones del registro.

Entonces para el sismo 5, por ejemplo, se tiene el registro de la Tabla 9 en una frecuencia de muestreo de 150 datos por segundo (la original es de 200 datos por segundo) y se obtuvieron los siguientes valores máximos de aceleración:

Tabla 11 – Máximo negativo y máximo positivo del registro acelerométrico del sismo 5 en la estación Parque de la Reserva, en las direcciones EO y NS

i	PGA	AbsMáx (-)	AbsMáx (+)	Máx
EO	42.640	5.08	5.75	5.746
NS	43.936	5.47	5.58	

Se reemplaza la ecuación (31) en la ecuación (3) y se usa el PGA del registro hallado, así tendremos en la dirección EO:

$$Factor\ de\ escala_{EO} = \frac{PGA\ Suelo}{PGA\ registro\ acelerográfico} = \frac{245}{5.7458} = 42.6398 \quad (32)$$

Y en la dirección NS:

$$Factor\ de\ escala_{NS} = \frac{PGA\ Suelo}{PGA\ registro\ acelerográfico} = \frac{245}{5.5763} = 43.9359 \quad (33)$$



3.6.2 Escalamiento, Corrección Y Filtrado Del Sismo.

3.6.2.1 Cargar Datos

El primer paso para cargar datos en el programa es tener los datos en una versión compatible con el mismo, esto corresponde a tener los datos en una hoja de texto (.txt) y se sigue así:

- Abrir el software SeismoSignal



Figura 33 – impresión de la pantalla de entrada del software, con la licencia académica activada

- Abrir el archivo en formato .txt

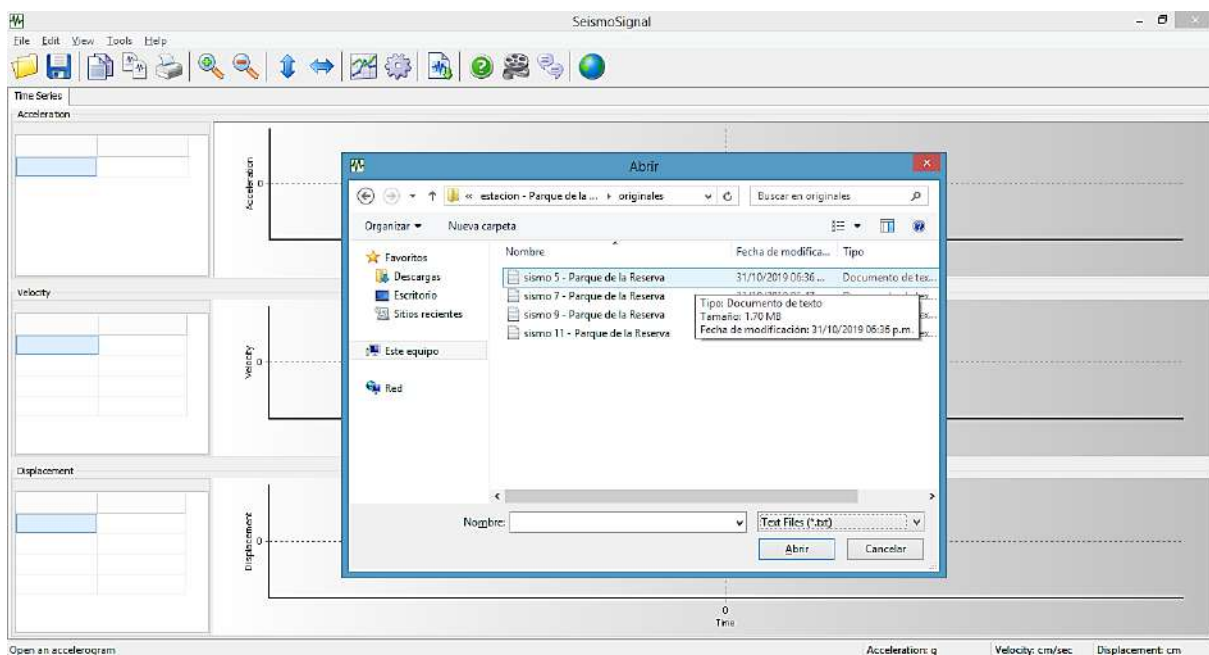


Figura 34 – impresión de pantalla del SeismoSignal, abrir archivo

3.6.2.2 Escalado Del Registro

- Colocar todos los parámetros del archivo que cargamos como se muestra en la Figura 35: el número de la primera y última fila donde se encuentran los datos (a), las unidades del archivo (b) y la disposición de los datos (c), el factor de escalamiento ya hallado para todos los registros (d) y la frecuencia del muestreo original (e).

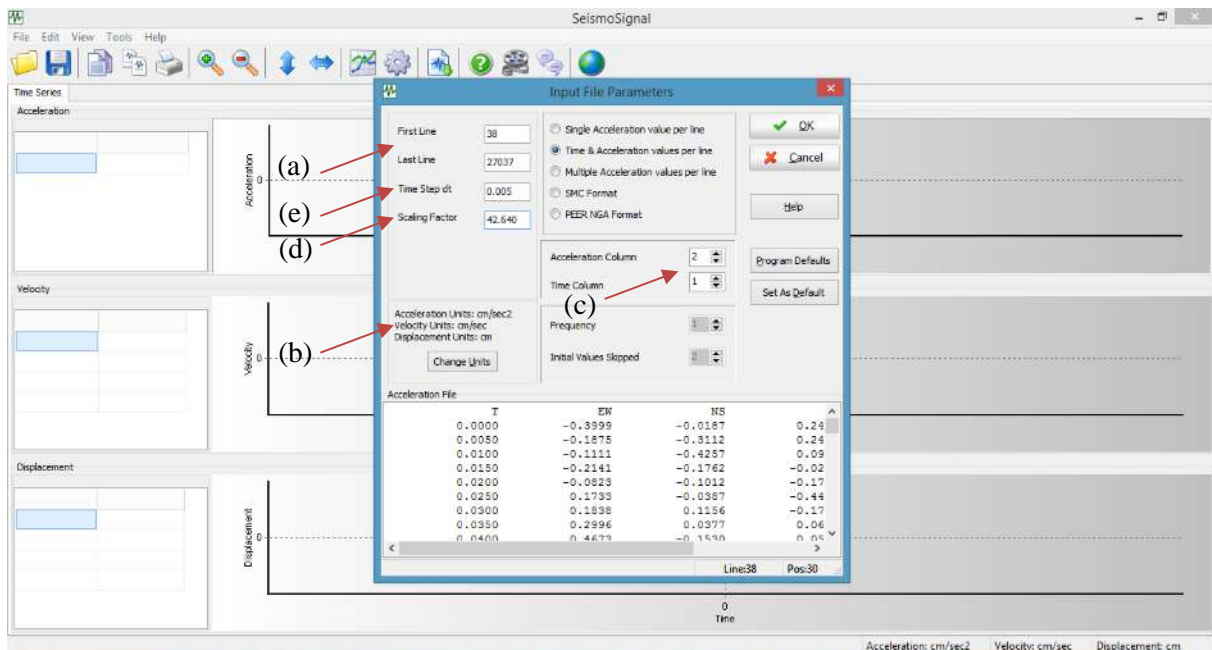


Figura 35 – impresión de pantalla del SeismoSignal, ingresar parámetros del archivo.

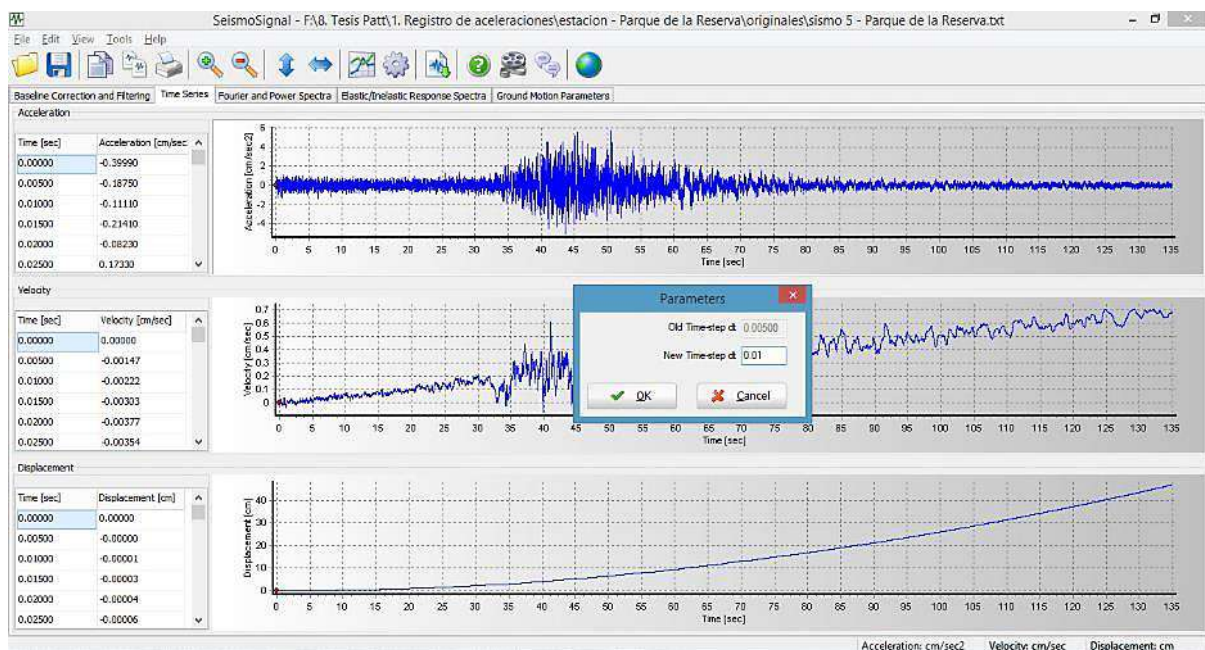


Figura 36 - impresión de pantalla del SeismoSignal, ingresar nuevo time step.



El SeismoSignal permite obtener espectros de registros con una cantidad de datos no mayor a 32760 líneas, y en el CISMID se encontraron registros que duplicaban, triplicaban, y hasta cuadruplicaban este límite, por lo cual se cambió el time step (paso de datos) de acuerdo con lo necesario para tener la mayor cantidad de datos del registro.

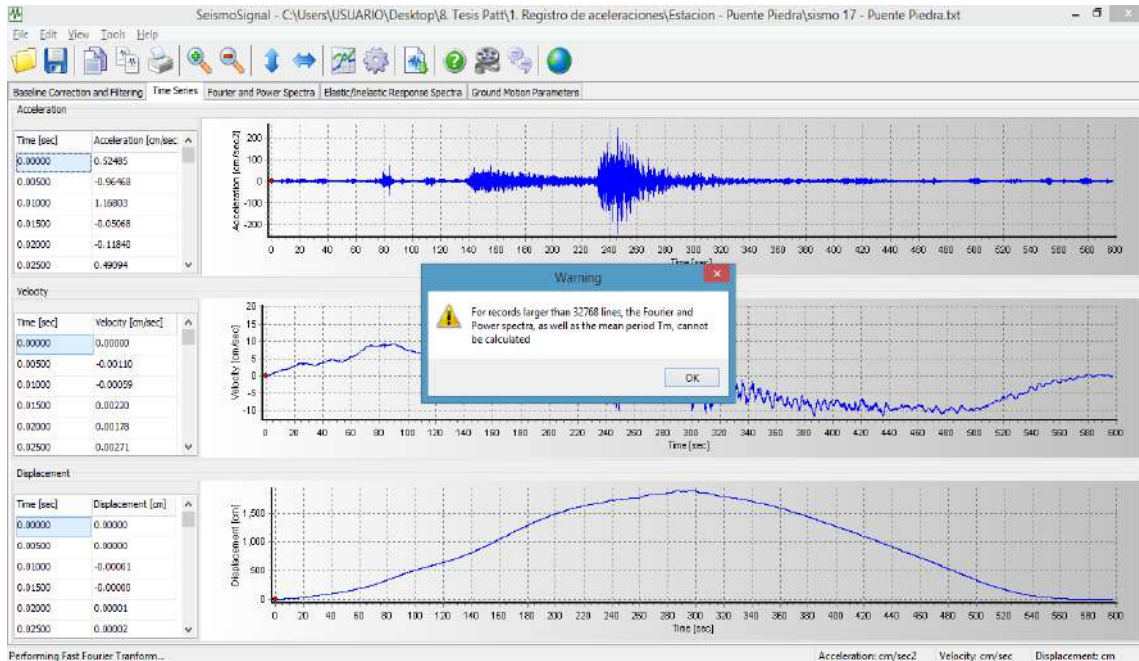


Figura 37 – Error de procesamiento para más de 32768 líneas de datos para el sismo 17 en la estación Puente Piedra

Para el sismo 5 - estación parque de la reserva no fue necesario hacer este cambio de time step.

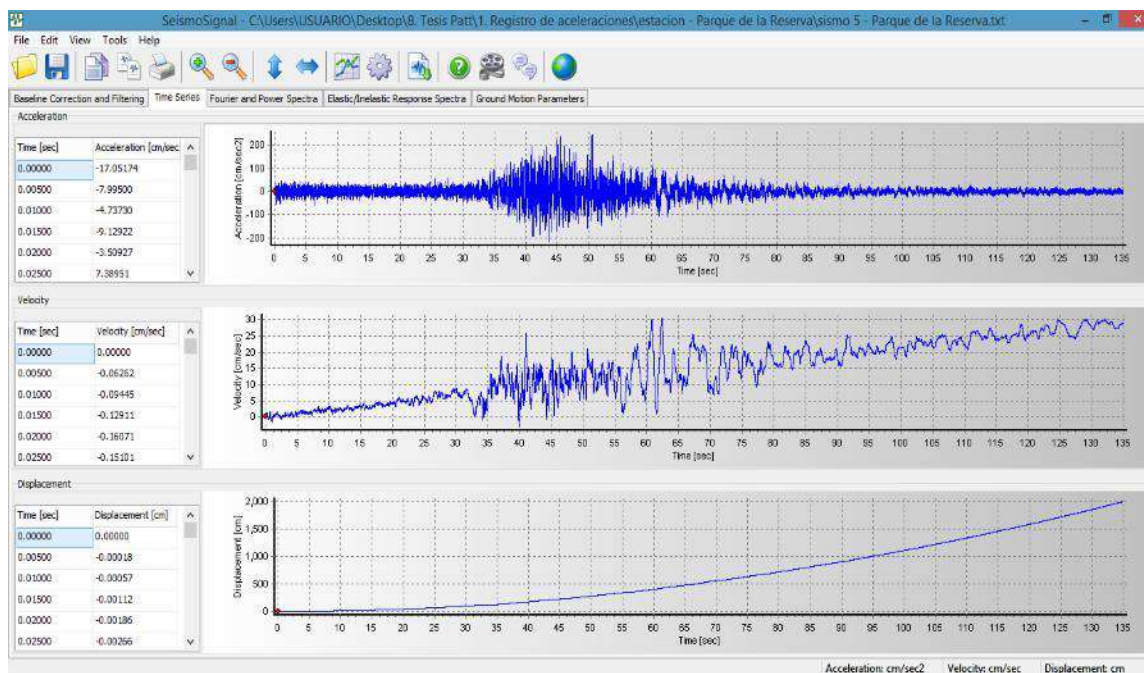


Figura 38 - impresión de pantalla del SeismoSignal después de todos los parámetros ingresados

La impresión de pantalla de la Figura 38 muestra el registro del sismo 5 en la estación Parque de la reserva en la dirección EO escalado antes de ser corregido y filtrado, en este punto se exportó el registro para hacer comparaciones y comentarlas.

3.6.2.3 Corrección Y Filtrado Del Registro

Se colocan los parámetros para hacer las correcciones que pide el programa, aplicamos la corrección de línea base y los filtros a utilizar de acuerdo con la teoría desarrollada en el ítem 2.2.5

Elegimos una corrección lineal, todos los registros tenían más o menos la misma disposición de datos: los datos de la aceleración estaban muy cerca de la línea base, a diferencia de la velocidad y el desplazamiento, la corrección lineal es suficiente pues lo que más nos interesa es corregir la línea base de la aceleración sin dejar de lado los otros parámetros.

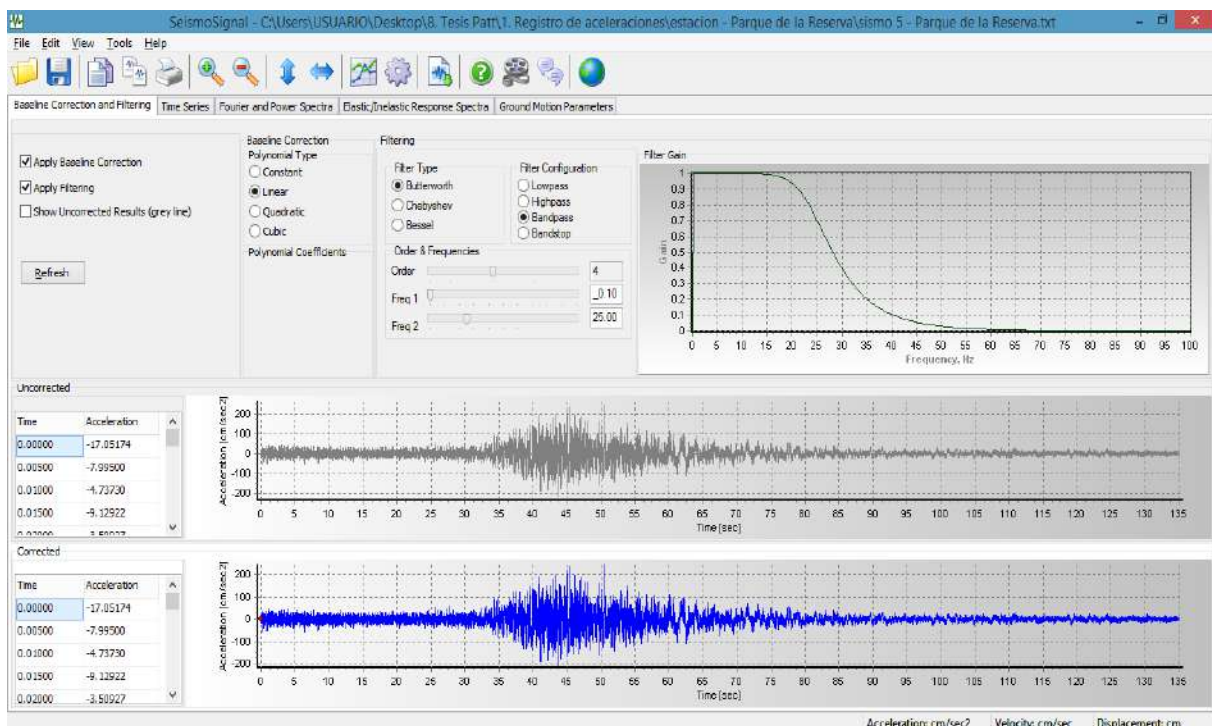


Figura 39 - Impresión de pantalla del SeismoSignal - colocación de parámetros de corrección de línea base y filtrado

El tipo de filtro utilizado fue el Butterworth y la configuración bandpass para eliminar datos superiores e inferiores que exceden al sismo y un orden 4 y un rango de frecuencias entre 0.10hz y 25hz como recomienda el European Strong Motion Institute de acuerdo con los estudios de los millones de registros sísmicos con los que cuentan para identificar las frecuencias más cercanas que comprenden este tipo de onda, la onda sísmica.

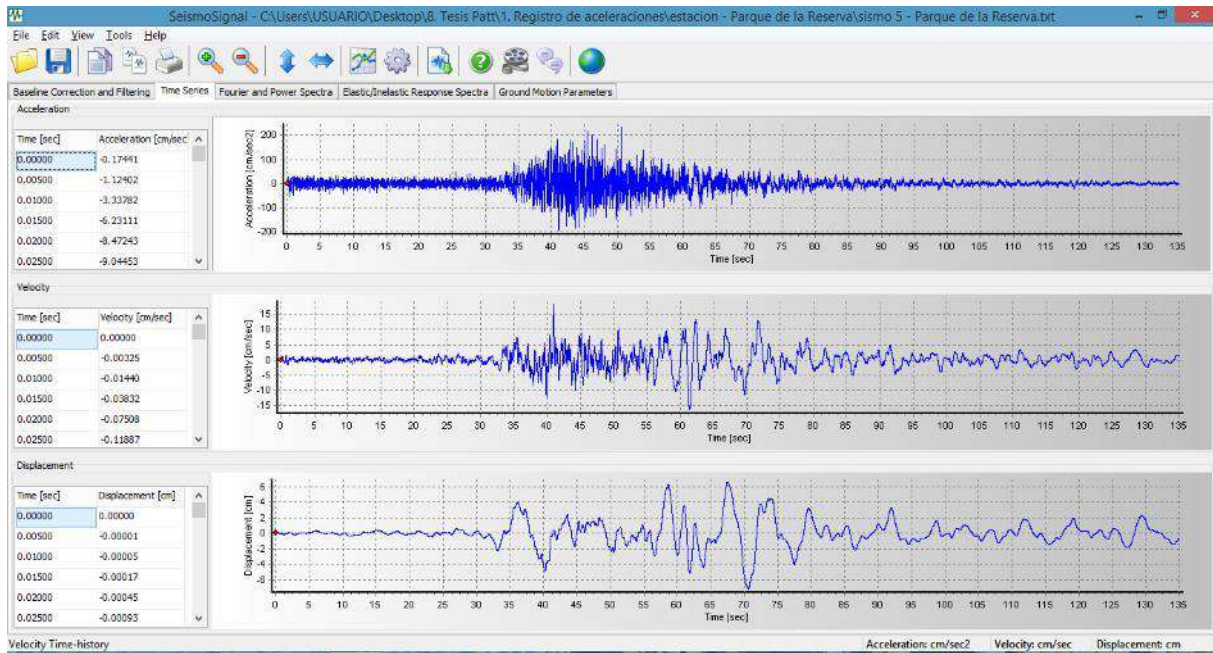


Figura 40 - Impresión de pantalla del SeismoSignal – registro del sismo 5 en la Estación Parque de la Reserva dirección EO después del escalamiento, la corrección y el filtrado

Como se ve en la Figura 40, el registro ha sido corregido en su línea base para todos los parámetros: aceleración, velocidad y desplazamiento. En este punto también se exportó el registro para hacer comparaciones y comentarlas.

Tabla 12 - Procesamiento del sismo 5 estación Parque de la Reserva (datos después de 0.1t en los anexos)

Número del sismo:	5									
Nombre de la estación:	Parque de la Reserva									
Frecuencia de muestreo:	200									
Unidades del registro:	cm/s ²									

	PGA	AbsMáx (-)	AbsMáx (+)		Nuevo time step	
EO	42.640	5.08	5.75		27000	0.005
NS	43.936	5.47	5.58		32000	0.004

Registro Original			Registro Corregido			T	Esp. Aceleracion		Esp. Aceleracion "g"		Promedio EO-NS	
T	EO	NS	T	EO	NS		EO	NS	EO	NS	seg	g
0.000	-0.39990	-0.01870	0.000	-1.12402	-0.01092	0.00	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.005	-0.18750	-0.31120	0.005	-3.33782	-0.20571	0.02	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.010	-0.11110	-0.42570	0.010	-6.23111	-1.20501	0.04	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.015	-0.21410	-0.17620	0.015	-8.47243	-3.75484	0.06	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.020	-0.08230	-0.10120	0.020	-9.04453	-7.53274	0.08	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.025	0.17330	-0.03870	0.025	-7.45726	-10.74000	0.10	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.030	0.18380	0.11560	0.030	-3.69588	-11.43459	0.12	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.035	0.29960	0.03770	0.035	1.60704	-8.99919	0.14	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.040	0.46730	-0.15300	0.040	7.36238	-4.52624	0.16	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.045	0.27150	-0.00800	0.045	12.19190	-0.24311	0.18	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.050	0.00070	-0.11640	0.050	14.43807	1.90109	0.20	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.055	-0.01880	-0.22920	0.055	12.99438	1.40190	0.22	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.060	-0.00810	-0.13710	0.060	8.52995	-1.01283	0.24	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.065	0.15260	-0.04070	0.065	3.55863	-4.07949	0.26	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.070	0.42820	-0.02140	0.070	1.15287	-6.36015	0.28	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.075	0.54000	-0.13520	0.075	3.12400	-6.85199	0.30	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.080	0.42870	-0.02070	0.080	8.65943	-5.67081	0.32	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.085	0.21610	-0.05730	0.085	14.57376	-3.80786	0.34	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.090	0.08330	-0.50500	0.090	17.27817	-2.42144	0.36	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.095	-0.15060	-0.75260	0.095	14.84079	-2.85691	0.38	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.100	-0.34230	-0.38300	0.100	7.73233	-6.38969	0.40	-	-	0.000	0.000	0.0000	0.0000



Los máximos de los acelerogramas en su respectiva estación se muestran en la Tabla 13

Tabla 13 – Aceleración máxima de los registros escalados, corregidos y filtrados.

Sismo	Bomberos	Cerro UNI	Dec FIC-UNI	Estructuras	FIGMM	A Hurtado	Hidráulica	P Reserva	P Piedra	Marianistas	S Ayacucho	S Cusco	S Huancayo	Sencico Ica	S Iquitos	S Lima	S Piura	S Trujillo	UNAP Puno	V Salvador
Aceleración máxima absoluta del registro en cm/s ²																				
1	original					18.80														
	corregido					245.90														
2	original					14.66														
	corregido					216.04														
3	original				0.37															
	corregido				247.08															
4	original				0.29	0.33														
	corregido				254.99	247.67														
5	original			5.90	6.93		10.61	6.71	5.75		6.07									21.97
	corregido			264.16	256.02		195.90	237.56	234.41		251.54									230.98
6	original									1.73										
	corregido									248.83										
7	original	2.54		3.10		4.89		2.87	2.07	4.72	1.82									
	corregido	251.07		223.28		224.28		205.43	232.93	252.70	248.84									
8	original			1.02		1.30		1.12												2.26
	corregido			208.94		225.11		224.14												257.27
9	original	2.60		3.19	2.75	4.06	2.28		2.48	3.59	1.49									7.88
	corregido	250.74		204.57	245.91	221.58	233.49		242.87	246.58	237.43									218.55
10	original					1.00				2.17										
	corregido					254.35				247.53										
11	original	1.27	1.09	1.50					1.17											
	corregido	237.41	239.43	219.06					222.50											
12	original	0.34	0.31					0.42												1.09
	corregido	241.80	221.10					215.14												229.92
13	original														15.40					
	corregido														244.58					
14	original									0.56	0.64			2.21						
	corregido									244.74	249.82			250.79						
15	original												2.28							
	corregido												250.71							
16	original									6.47			27.32							
	corregido									237.99			249.17							
17	original			1.72		2.01			8.01	4.70			1.37		10.63	0.95	8.56	7.12		
	corregido			231.36		250.00			244.20	156.44			269.68		236.70	237.58	253.70	262.20		
18	original																			0.33
	corregido																			257.14
19	original			22.43		31.41			32.73	13.60			8.00	6.76	81.08	8.08	20.84	44.67		
	corregido			246.38		186.15			250.59	248.47			254.05	256.23	250.40	235.07	235.54	233.09		

3.6.3 Espectro De Respuesta

Después de definir los parámetros de entrada definidos a continuación, los usuarios solo necesitan hacer clic en el botón Actualizar para iniciar los cálculos requeridos, señalando que estos pueden tomar algunos segundos si se ha solicitado el cálculo de espectros inelásticos para varios valores de ductilidad. Una vez completado, los espectros elásticos y/o inelásticos se muestran automáticamente en la ventana de trazado, donde se ponen a disposición del usuario varias combinaciones de trazado diferentes, incluida la posibilidad de trazar el espectro de respuesta de aceleración frente a desplazamiento. Además, los valores espectrales



correspondientes se proporcionan en las tablas 'Desplazamiento', 'Velocidad', 'Aceleración', 'Pseudo-velocidad' y 'Pseudo-aceleración', listas para ser seleccionadas y copiadas a otras aplicaciones de Windows, si es necesario.

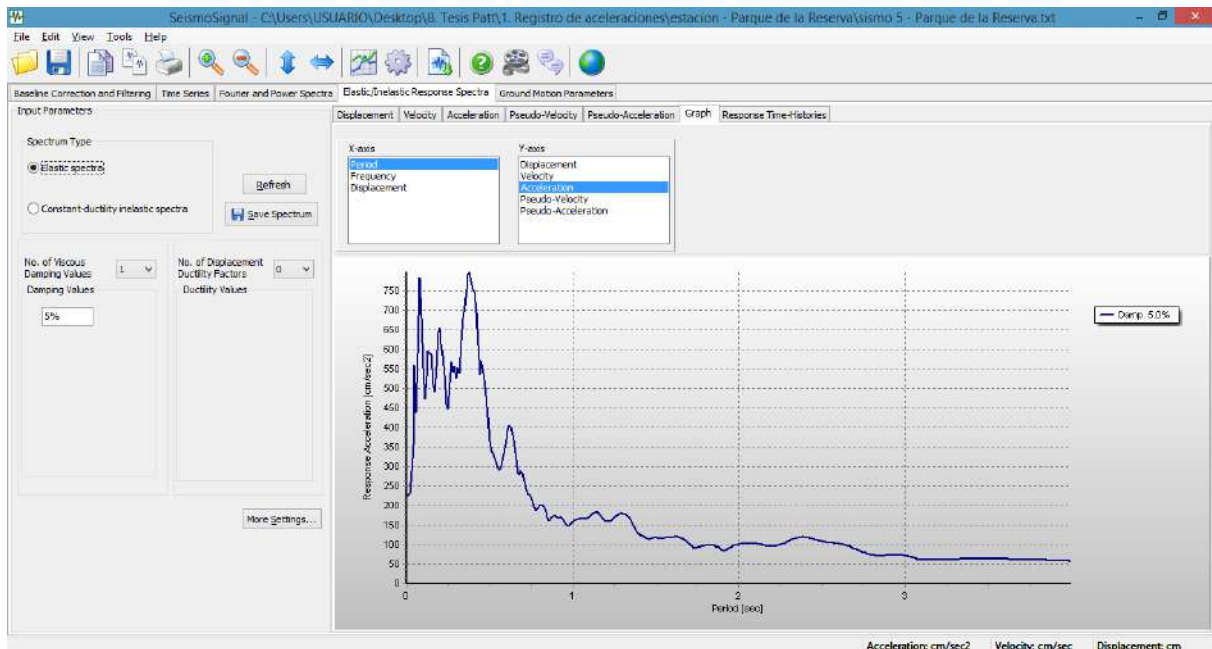


Figura 41 - Impresión de pantalla del SeismoSignal – generación del grafico del espectro de respuesta del registro 5, estación Parque de la Reserva, dirección N-S

“Existe la posibilidad de cambiar el nivel de amortiguamiento viscoso asociado con dicho espectro elástico, definido aquí como un porcentaje del valor crítico de amortiguamiento, y generalmente tiene valores que van del 0 al 5%. Al definir valores relativamente grandes de amortiguamiento viscoso equivalente, también se pueden obtener fácilmente los espectros elásticos sobre amortiguados” (Chopra, 1995). Por ejemplo, la NTE030 (2018) recomienda un valor de amortiguación del 5% para espectros de diseño, sin embargo, debemos recordar que la amortiguación sirve solamente para generar los espectros de pseudo-aceleración o pseudovelocidad, multiplicando el valor del espectro de respuesta de desplazamiento por ω o por ω^2 (frecuencia angular) como corresponda, lo cual no aplica para este caso, pues queremos exclusivamente el espectro de respuesta.

En este punto se exportaron los datos del espectro de respuesta, con una frecuencia de muestreo (time step) de 0.02 o 50 muestras por segundo (es la frecuencia de muestro recomendada por el software para generar espectros) se reprodujo todo el mismo procedimiento para todos los registros sísmicos en todas las direcciones, los cuadros de cada registro quedaron como se muestra en la figura

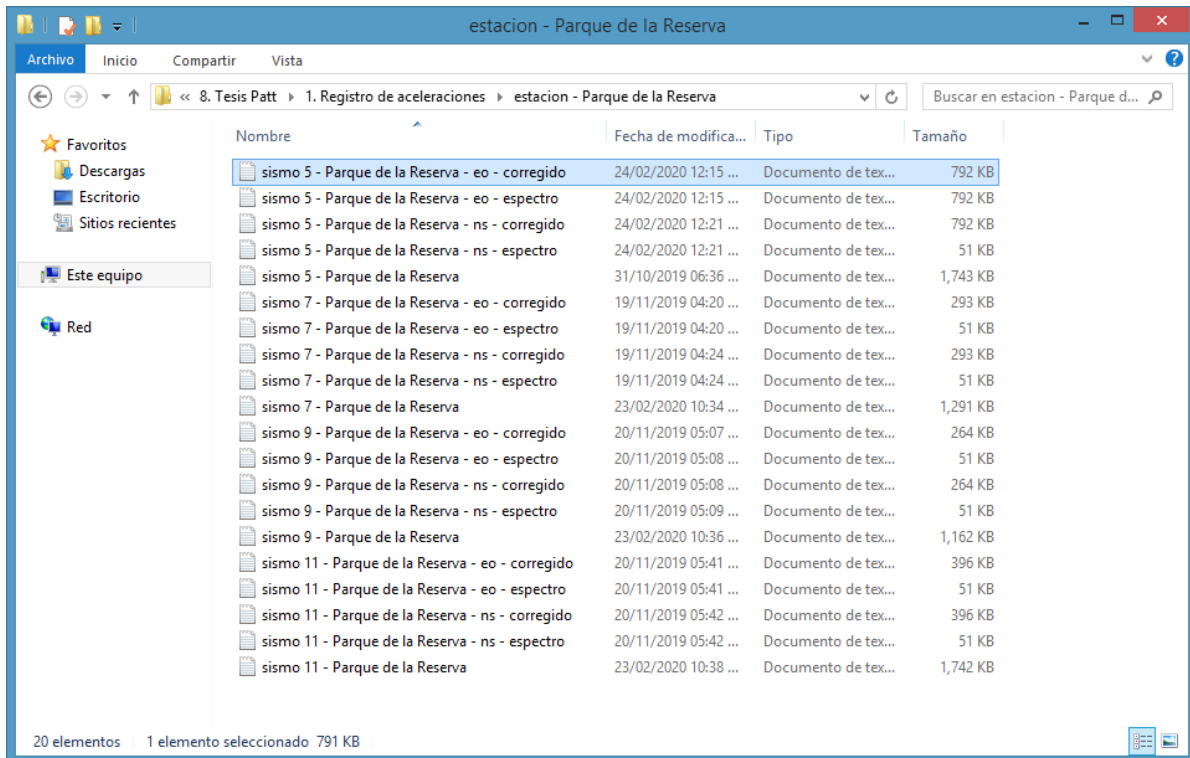


Figura 42 – Impresión de pantalla de los registros exportados en la Estación Parque de la Reserva.

3.6.4 Espectro De Diseño

3.6.4.1 Elección Del Perfil De Suelo

Este estudio siguió las directrices del principal antecedente de la tesis para elegir el perfil del suelo correspondiente a cada espectro (Angulo & Azañedo, 2013) también, conforme a la teoría desarrollada: la curva que describe el espectro de respuesta de cada sismo no debería sobrepasar los valores máximos de aceleración que corresponden a cada perfil de suelo que contempla la norma, pues el sismo ya está escalado al xg de la zonificación sísmica que se estudió, en este caso la zona sísmica $z2 = 0.25g$.

A diferencia del principal precedente que contaba solamente con 7 registros sísmicos, y fue indiferente a la ubicación de la estación, la presente tesis tiene 70 registros de diferentes estaciones sísmicas del CISMID, por ese motivo se eligieron todos los sismos que ocurrían en determinada estación, se hizo un promedio simple y se ubicó la curva promedio dentro de la curva correspondiente al perfil del suelo en Z2.

Primero se hizo el promedio de las dos direcciones del sismo, después estos promedios representativos se promediaron con los demás representativos de la misma estación sísmica.



Tabla 14 – Procesamiento del sismo 5 estación Parque de la Reserva más el espectro correspondiente

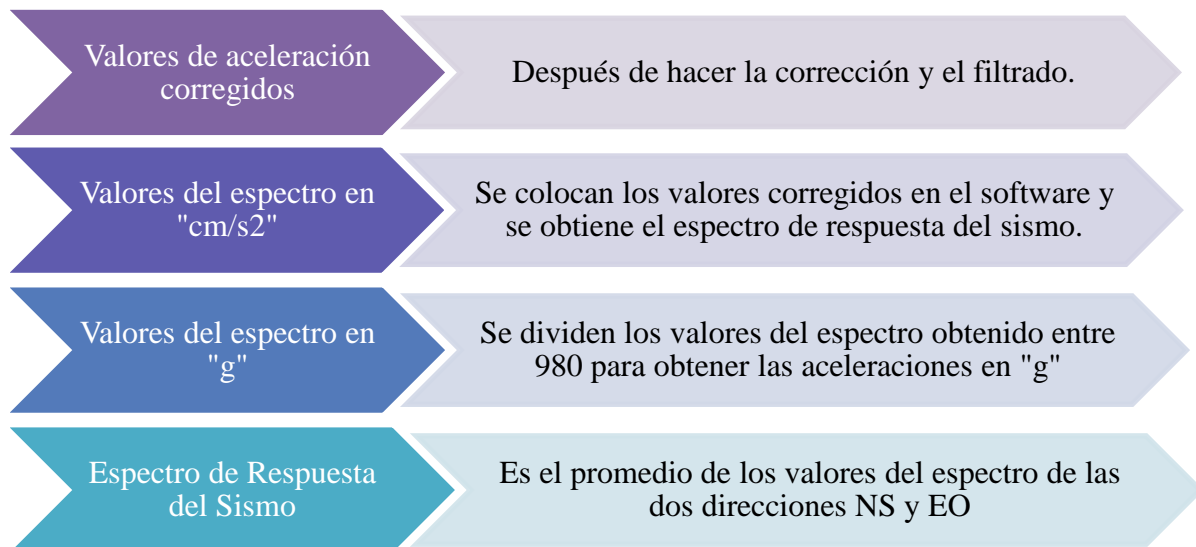
Número del sismo:	5
Nombre de la estación:	Parque de la Reserva
Frecuencia de muestreo:	200
Unidades del registro:	cm/s ²

	PGA	AbsMáx (-)	AbsMáx (+)
EO	42.640	5.08	5.75
NS	43.936	5.47	5.58

Nuevo time step	
27000	0.005
32000	0.004

Registro Original			Registro Corregido			T	Esp. Aceleracion "cm/s ² "		Esp. Aceleracion "g"		Promedio EO-NS	
T	EO	NS	T	EO	NS		EO	NS	EO	NS	seg	g
0.000	-0.39990	-0.01870	0.000	-1.12402	-0.01092	0.00	234.412	225.204	0.239	0.230	229.8080	0.2345
0.005	-0.18750	-0.31120	0.005	-3.33782	-0.20571	0.02	247.566	232.092	0.253	0.237	239.8292	0.2447
0.010	-0.11110	-0.42570	0.010	-6.23111	-1.20501	0.04	407.477	355.428	0.416	0.363	381.4525	0.3892
0.015	-0.21410	-0.17620	0.015	-8.47243	-3.75484	0.06	682.145	438.968	0.696	0.448	560.5565	0.5720
0.020	-0.08230	-0.10120	0.020	-9.04453	-7.53274	0.08	606.699	783.144	0.619	0.799	694.9218	0.7091
0.025	0.17330	-0.03870	0.025	-7.45726	-10.74000	0.10	576.607	552.605	0.588	0.564	564.6059	0.5761
0.030	0.18380	0.11560	0.030	-3.69588	-11.43459	0.12	628.794	528.371	0.642	0.539	578.5828	0.5904
0.035	0.29960	0.03770	0.035	1.60704	-8.99919	0.14	482.557	589.686	0.492	0.602	536.1214	0.5471
0.040	0.46730	-0.15300	0.040	7.36238	-4.52624	0.16	467.073	510.810	0.477	0.521	488.9416	0.4989
0.045	0.27150	-0.00800	0.045	12.19190	-0.24311	0.18	490.246	554.934	0.500	0.566	522.5900	0.5333
0.050	0.00070	-0.11640	0.050	14.43807	1.90109	0.20	480.755	654.535	0.491	0.668	567.6451	0.5792
0.055	-0.01880	-0.22920	0.055	12.99438	1.40190	0.22	400.373	583.127	0.409	0.595	491.7503	0.5018
0.060	-0.00810	-0.13710	0.060	8.52995	-1.01283	0.24	370.092	457.640	0.378	0.467	413.8659	0.4223
0.065	0.15260	-0.04070	0.065	3.55863	-4.07949	0.26	426.080	513.394	0.435	0.524	469.7367	0.4793
0.070	0.42820	-0.02140	0.070	1.15287	-6.36015	0.28	483.147	541.878	0.493	0.553	512.5127	0.5230

Como se ve en la Tabla 14 se colocaron los datos del registro corregido, después los datos del espectro en cm/s^2 , dividiendo entre 980 se logra el espectro de respuesta en g , finalmente se obtiene el promedio de las dos direcciones en las dos unidades, se hace el mismo procedimiento para todos los sismos de la estación.



De acuerdo a la aceleración máxima del promedio de los espectros de respuesta de la estación Parque de la Reserva mostrado en la Tabla 15 se identificó que la estación corresponde a un perfil de suelo s2 debido a que la aceleración máxima promedio entre el máximo del promedio de aceleración por cada valor en "T" = 0.6717g y el promedio de las máximas aceleraciones obtenidas = 0.6757g se encuentra dentro del rango de los máximos valores de aceleración que identifica la norma para los suelos S1 = 0.6250g y s2 = 0.7500g



Tabla 15 – Comprobación del perfil del suelo de la estación Parque de la Reserva - Perfil S2

Comprobación del perfil del suelo de la estación:
Parque de la Reserva

Máximo del promedio	0.6717
Promedio de los maximos	0.6757

Máximos	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.7091	0.6255	0.7617	0.6066	S2
T	Espectros de los suelos de la norma - g				Parque de la Reserva				Promedio
	S0	S1	S2	S3	Sismo 5	Sismo 7	Sismo 9	Sismo 11	
0.00	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.2345	0.2253	0.2351	0.2159	0.2277
0.02	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.2447	0.2401	0.2539	0.2388	0.2444
0.04	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.3892	0.4605	0.4835	0.3845	0.4294
0.06	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.5720	0.5670	0.6574	0.6066	0.6008
0.08	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.7091	0.6255	0.7617	0.5903	0.6717
0.10	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.5761	0.5496	0.5619	0.5396	0.5568
0.12	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.5904	0.4575	0.6427	0.4072	0.5245
0.14	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.5471	0.4741	0.4937	0.5339	0.5122
0.16	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.4989	0.3776	0.4458	0.4523	0.4437
0.18	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.5333	0.4179	0.4544	0.4453	0.4627
0.20	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.5792	0.5358	0.4741	0.4430	0.5081
0.22	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.5018	0.4923	0.5243	0.4351	0.4884
0.24	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.4223	0.4849	0.3810	0.3747	0.4157
0.26	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.4793	0.4147	0.3157	0.4248	0.4086
0.28	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.5230	0.5309	0.3029	0.4175	0.4436
0.30	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	0.5653	0.5205	0.2325	0.3498	0.4170
0.32	0.4688	0.6250	0.7500	0.8750	0.5938	0.4713	0.2231	0.3242	0.4031
0.34	0.4412	0.6250	0.7500	0.8750	0.6194	0.3319	0.2412	0.2884	0.3702

Tabla 16 – perfil de suelo de las estaciones CISMID

Nombre de la estacion	Perfil de Suelo
Estacion Bomberos 65 SMP	s3
Cerro UNI	s3
Decanato FIC-UNI	s1
Departamento de Estructuras	s2
FIGMM	s2
Jorge Alva Hurtado	s2
Laboratorio de Hidráulica	s1
Parque de la Reserva	s2
Puente Piedra	s3
San Antonio Marianistas	s1
Sencico Ayacucho	s3
Sencico Cusco	s4
Sencico Huancayo	s1
Sencico Ica	s4
Sencico Iquitos	s3
Sencico Lima	s2
Sencico Piura	s3
Sencico Trujillo	s1
UNAP Puno	s4
Villa el Salvador	s2



Tabla 17 – aceleraciones y promedio de aceleraciones de las estaciones perfil s1 (dato original vs corregido, filtrado y escalado)

Sismos perfil s1		Dec FIC-UN	Hidráulica	Marianistas	S Huancayo	S Trujillo
Aceleración máxima absoluta del registro en cm/s ²						
5	original	5.90	6.71	6.07		
	corregido	264.16	237.56	251.54		
7	original	3.10	2.87	1.82		
	corregido	223.28	205.43	248.84		
8	original	1.02	1.12			
	corregido	208.94	224.14			
9	original	3.19		1.49		
	corregido	204.57		237.43		
11	original	1.50				
	corregido	219.06				
12	original		0.42			
	corregido		215.14			
15	original				2.28	
	corregido				250.71	
16	original				27.32	
	corregido				249.17	
17	original	1.72		4.70	1.37	7.12
	corregido	231.36		156.44	269.68	262.20
19	original	22.43		13.60	8.00	44.67
	corregido	246.38		248.47	254.05	233.09
Promedio original		7.66				
Promedio corregido		233.71				

Tabla 18 - promedio de aceleraciones de las estaciones todos los perfiles.

	s4	s3	s2	s1
Promedio original	2.49	9.33	6.22	7.66
Promedio corregido (sin escalar)	1.03	1.00	0.95	0.95

En la Tabla 18 se ve como la aceleración máxima de cada registro original corresponde muy de cerca con el perfil de suelo elegido, es decir a mayor aceleración registrada, perfil de suelo mayor y viceversa.

3.6.4.2 PROMEDIO MÁS DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Muchos textos consultados indican que el mejor método para diseñar un espectro basado en promedios es promediarlo y añadirle una desviación estándar, que en estadística y matemáticas es conocida como una función que permite encontrar los máximos posibles de una curva generada a partir de promedios como se describe en el ítem 2.2.8.2, en ese entender la curva generada del promedio estaría suavizada y se perderían importantes datos de aceleración, es por eso que se le agrego la desviación estándar al promedio dándole incluso un pequeño porcentaje de seguridad a la curva ya encontrada, que nos acerca al objetivo de encontrar la sollicitación



sísmica más fiable que se pueda aplicar en la zona sísmica z2 en el perfil de suelo correspondiente.

Tabla 19 - Promedio y promedio más desviación estándar del perfil de suelo S1

T	Perfil de Suelo S1					Promedio	Promedio + desv. estandar
	Decanato	Hidraulica	Marianistas	S. Huancayo	S. Trujillo		
0.00	0.2190	0.2169	0.2485	0.2513	0.2465	0.2365	0.2535
0.02	0.2397	0.2343	0.2652	0.2544	0.3359	0.2659	0.3069
0.04	0.4416	0.4687	0.3337	0.2673	0.4777	0.3978	0.4906
0.06	0.5152	0.6060	0.3814	0.3232	0.5524	0.4757	0.5946
0.08	0.5674	0.5416	0.3777	0.4828	0.4591	0.4857	0.5602
0.10	0.5315	0.5683	0.4134	0.4366	0.4889	0.4877	0.5521
0.12	0.5150	0.5455	0.4529	0.4554	0.4794	0.4896	0.5296
0.14	0.5254	0.4963	0.5490	0.4990	0.4584	0.5056	0.5396
0.16	0.4999	0.5473	0.5432	0.4114	0.4880	0.4980	0.5529
0.18	0.4834	0.4837	0.5340	0.3866	0.4065	0.4588	0.5197
0.20	0.4769	0.4028	0.4993	0.3756	0.3863	0.4282	0.4843
0.22	0.4548	0.3828	0.4517	0.3931	0.3871	0.4139	0.4500
0.24	0.4349	0.3666	0.4392	0.4300	0.3888	0.4119	0.4443
0.26	0.4128	0.3125	0.5037	0.4559	0.4054	0.4181	0.4890
0.28	0.3462	0.2788	0.5328	0.4933	0.3991	0.4101	0.5142
0.30	0.2843	0.2681	0.5073	0.5017	0.3961	0.3915	0.5059
0.32	0.2747	0.2557	0.4559	0.5211	0.4501	0.3915	0.5103
0.34	0.2643	0.2262	0.4326	0.4964	0.5236	0.3886	0.5243
0.36	0.2318	0.2107	0.4208	0.4519	0.4942	0.3619	0.4931

Tabla 20 – Promedio y promedio más desviación estándar del perfil de suelo S2

T	Perfil de Suelo S2						Promedio	Promedio + desv. estandar
	Estructuras	FIGMM	A. Hurtado	P. Reserva	S. Lima	V. Salvador		
0.00	0.2436	0.2436	0.2200	0.2277	0.2352	0.2363	0.2344	0.2436
0.02	0.2537	0.2537	0.2387	0.2444	0.2603	0.2475	0.2497	0.2574
0.04	0.4498	0.4498	0.4794	0.4294	0.3161	0.4301	0.4258	0.4825
0.06	0.6814	0.6814	0.6562	0.6008	0.4183	0.5468	0.5975	0.6997
0.08	0.7114	0.7114	0.4879	0.6717	0.4763	0.5962	0.6092	0.7163
0.10	0.6754	0.6754	0.4907	0.5568	0.5627	0.7429	0.6173	0.7124
0.12	0.6091	0.6091	0.5828	0.5245	0.5434	0.7279	0.5994	0.6712
0.14	0.6841	0.6841	0.5310	0.5122	0.5089	0.6097	0.5883	0.6710
0.16	0.6492	0.6492	0.4455	0.4437	0.5613	0.5358	0.5475	0.6393
0.18	0.5790	0.5790	0.3757	0.4627	0.6017	0.5011	0.5166	0.6038
0.20	0.6377	0.6377	0.3668	0.5081	0.5518	0.4281	0.5217	0.6320
0.22	0.6859	0.6859	0.3186	0.4884	0.5451	0.4649	0.5315	0.6725
0.24	0.5312	0.5312	0.2610	0.4157	0.6114	0.4840	0.4724	0.5943
0.26	0.4264	0.4264	0.2325	0.4086	0.6445	0.4087	0.4245	0.5555
0.28	0.3468	0.3468	0.2194	0.4436	0.5307	0.3439	0.3719	0.4774
0.30	0.3149	0.3149	0.1974	0.4170	0.5668	0.3232	0.3557	0.4804
0.32	0.3027	0.3027	0.1814	0.4031	0.5668	0.2917	0.3414	0.4723
0.34	0.3087	0.3087	0.1607	0.3702	0.5453	0.2803	0.3290	0.4555
0.36	0.2811	0.2811	0.1501	0.3442	0.5060	0.2699	0.3054	0.4223
0.38	0.2639	0.2639	0.1525	0.3629	0.4567	0.2644	0.2941	0.3979
0.40	0.2207	0.2207	0.1528	0.3572	0.4325	0.2692	0.2755	0.3779
0.42	0.1935	0.1935	0.1474	0.3260	0.5004	0.2841	0.2741	0.4030
0.44	0.1852	0.1852	0.1520	0.2645	0.5066	0.2873	0.2635	0.3933



Tabla 21 - Promedio y promedio más desviación estándar del perfil de suelo S3

T	Perfil de Suelo S3						Promedio	Promedio + desv. estandar
	Bomberos	Cerro UNI	P. Piedra	S. Ayacucho	S. Iquitos	S. Piura		
0.00	0.2376	0.2246	0.2479	0.2399	0.2467	0.2438	0.2401	0.2486
0.02	0.2506	0.2412	0.2525	0.2406	0.2511	0.2450	0.2468	0.2521
0.04	0.5110	0.5153	0.2701	0.2461	0.2636	0.2517	0.3430	0.4751
0.06	0.6528	0.6361	0.3207	0.2522	0.3308	0.2807	0.4122	0.5944
0.08	0.7790	0.7716	0.3997	0.2712	0.4018	0.3665	0.4983	0.7180
0.10	0.6632	0.7271	0.4826	0.2902	0.4162	0.3933	0.4954	0.6632
0.12	0.5654	0.5815	0.5292	0.3459	0.4610	0.4536	0.4894	0.5772
0.14	0.6467	0.5331	0.7529	0.4045	0.5269	0.4887	0.5588	0.6819
0.16	0.6171	0.4669	0.7770	0.5136	0.6538	0.5435	0.5953	0.7073
0.18	0.5371	0.3948	0.7076	0.4348	0.6885	0.5228	0.5476	0.6759
0.20	0.5540	0.3502	0.7366	0.4935	0.7055	0.5116	0.5586	0.7022
0.22	0.4864	0.3445	0.7457	0.5018	0.8135	0.5564	0.5747	0.7495
0.24	0.4085	0.2869	0.6474	0.5078	0.8230	0.5765	0.5417	0.7289
0.26	0.3809	0.2543	0.6349	0.5862	0.7600	0.5852	0.5336	0.7170
0.28	0.3633	0.2211	0.6660	0.6187	0.7963	0.6826	0.5580	0.7767
0.30	0.3217	0.2260	0.6434	0.7231	0.7139	0.7236	0.5586	0.7833
0.32	0.3259	0.2333	0.5849	0.6667	0.6116	0.6712	0.5156	0.7036
0.34	0.2844	0.2349	0.5897	0.7835	0.5831	0.7337	0.5349	0.7626
0.36	0.2791	0.2182	0.5953	0.8357	0.5719	0.7475	0.5413	0.7887
0.38	0.2870	0.1966	0.5819	0.7996	0.5472	0.8112	0.5372	0.7920
0.40	0.2828	0.1814	0.5614	0.7538	0.5128	0.8478	0.5233	0.7821
0.42	0.2898	0.1710	0.5838	0.7445	0.5106	0.7797	0.5132	0.7568
0.44	0.2698	0.1786	0.6016	0.7619	0.5325	0.6898	0.5057	0.7390

Tabla 22 - Promedio y promedio más desviación estándar del perfil de suelo S4

T	Perfil de Suelo S4			Promedio	Promedio + desv. estandar
	S. Cusco	S. Ica	UNAP		
0.00	0.2545	0.2537	0.2560	0.2547	0.2559
0.02	0.2545	0.2558	0.2561	0.2554	0.2563
0.04	0.2556	0.2595	0.2620	0.2590	0.2622
0.06	0.2573	0.2700	0.2760	0.2678	0.2773
0.08	0.2595	0.2932	0.3002	0.2843	0.3060
0.10	0.2639	0.3220	0.4043	0.3301	0.4006
0.12	0.2700	0.3281	0.4320	0.3434	0.4254
0.14	0.2757	0.3908	0.5115	0.3927	0.5105
0.16	0.2925	0.4925	0.6248	0.4700	0.6373
0.18	0.3127	0.5354	0.7128	0.5203	0.7208
0.20	0.2899	0.5533	0.7000	0.5144	0.7222
0.22	0.3275	0.5265	0.8346	0.5628	0.8183
0.24	0.3733	0.5630	0.8367	0.5910	0.8240
0.26	0.4202	0.7461	0.8873	0.6845	0.9241
0.28	0.4115	0.8967	0.9406	0.7496	1.0432
0.30	0.4542	0.8541	0.8499	0.7194	0.9491
0.32	0.4877	0.8962	0.8306	0.7382	0.9575

Se procedió a ubicar los datos de las estaciones que tienen el mismo perfil de suelos en un solo archivo como se muestra en la Tabla 19, en la Tabla 20, Tabla 21 y para observar mejor las

diferencias se halló el porcentaje de diferencias entre una curva y otra, con la ayuda de AutoCAD.

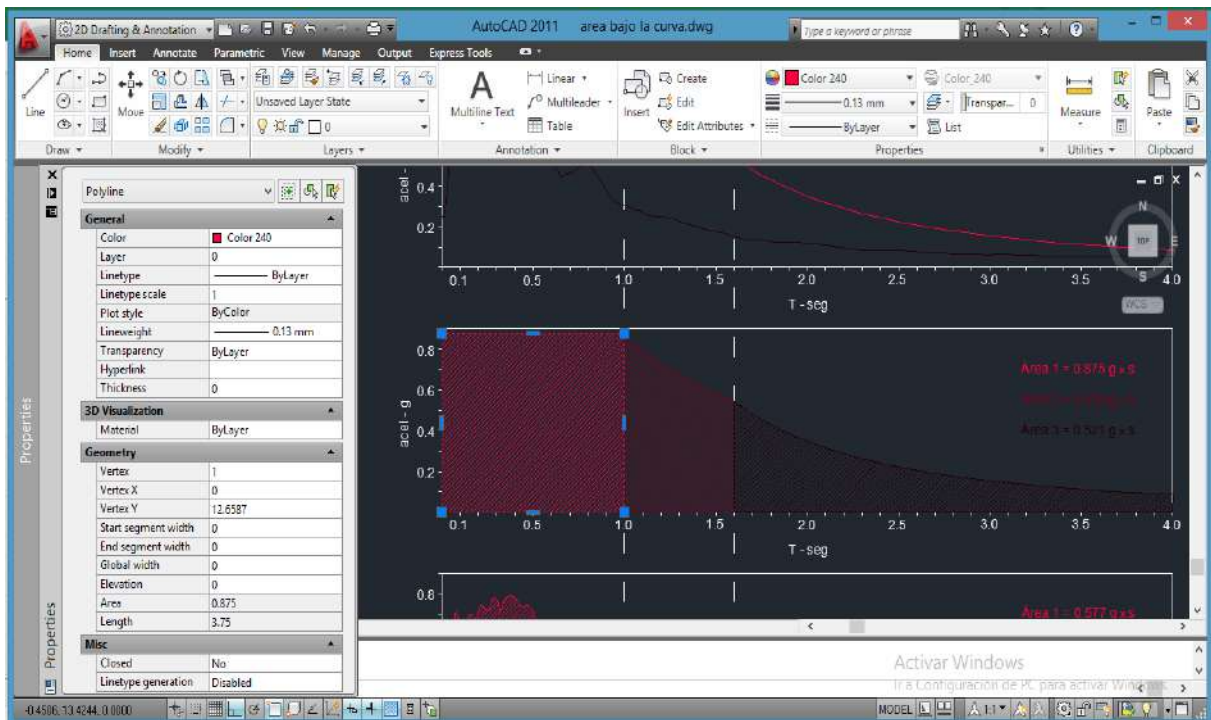


Figura 43 – captura de pantalla: área bajo la curva de los diferentes espectros.

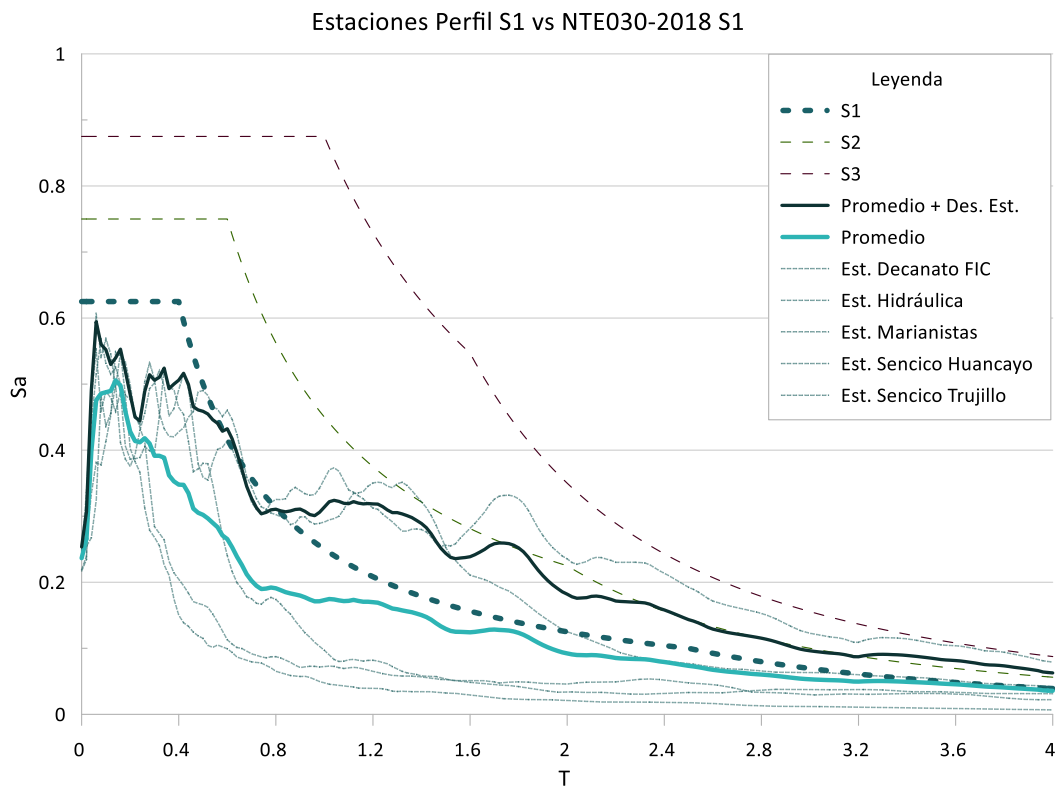


Figura 44 - Curvas de los valores de la Tabla 19 - perfil de suelo s1.

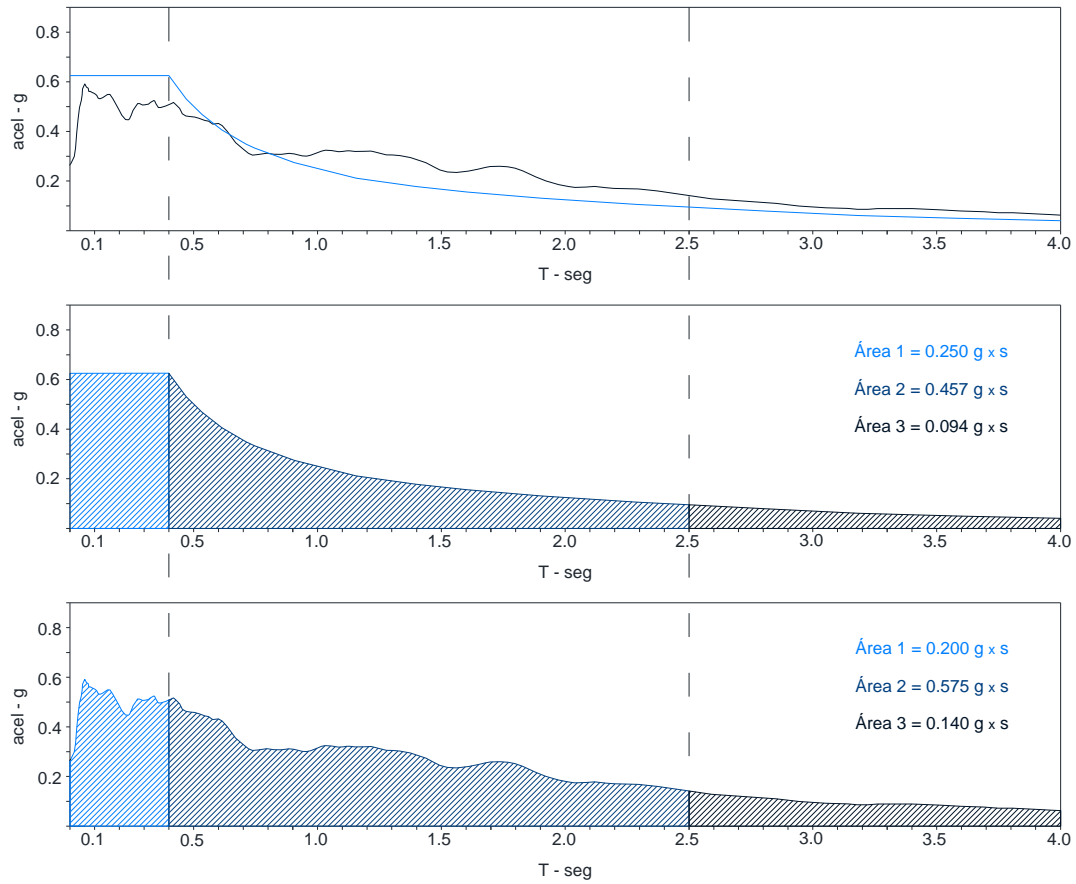


Figura 45 – Área bajo la curva de los 3 tramos del espectro de la norma vs el espectro promedio, para el suelo S1

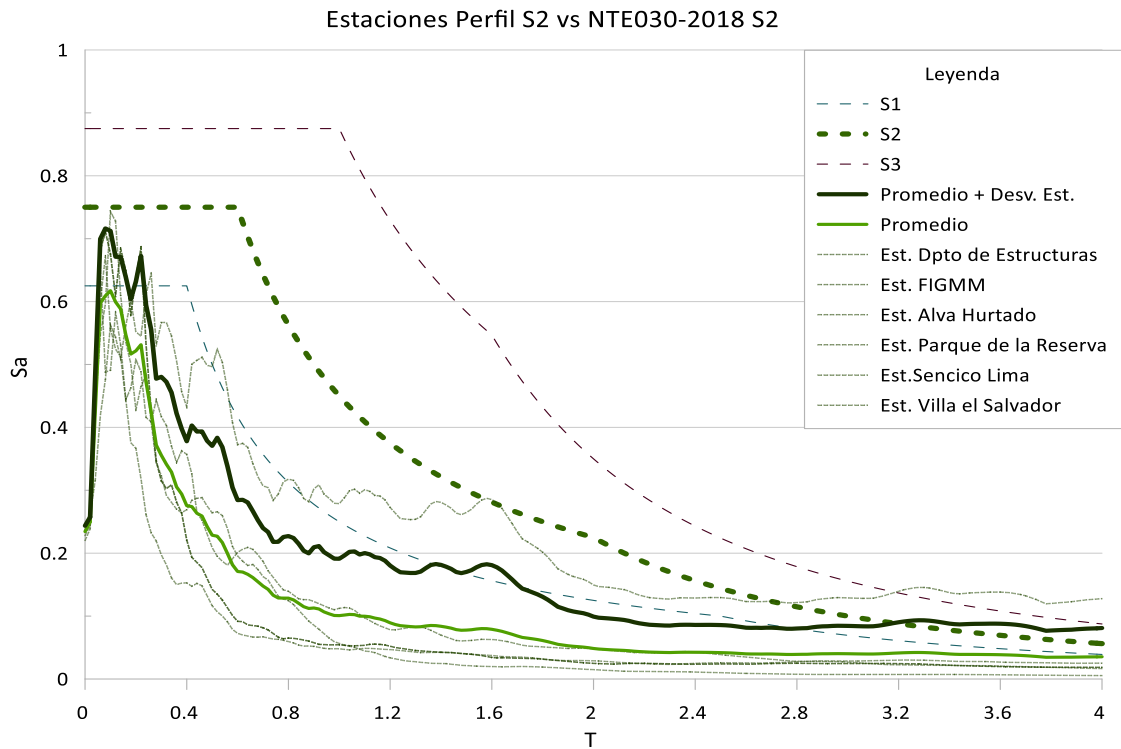


Figura 46 - Curvas de los valores de la Tabla 20- perfil de suelo s2.

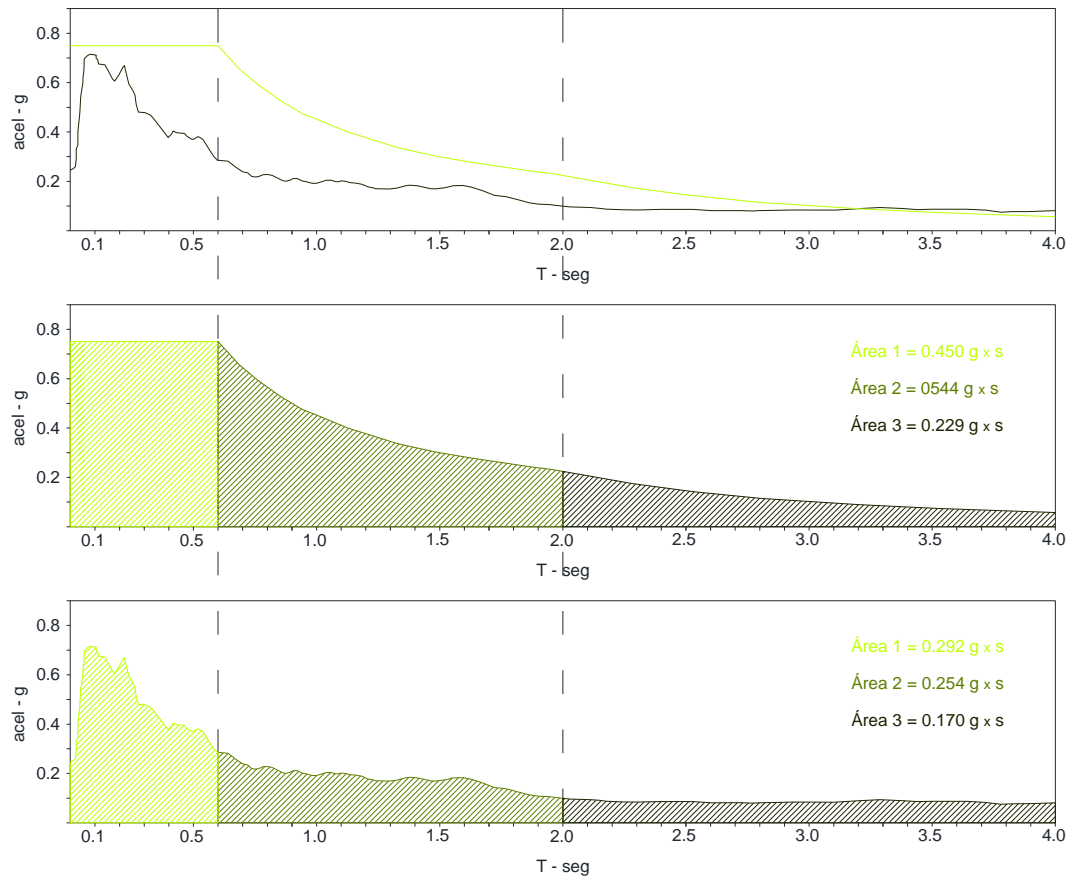


Figura 47 – Área bajo la curva de los 3 tramos del espectro de la norma vs el espectro promedio, para el suelo S2

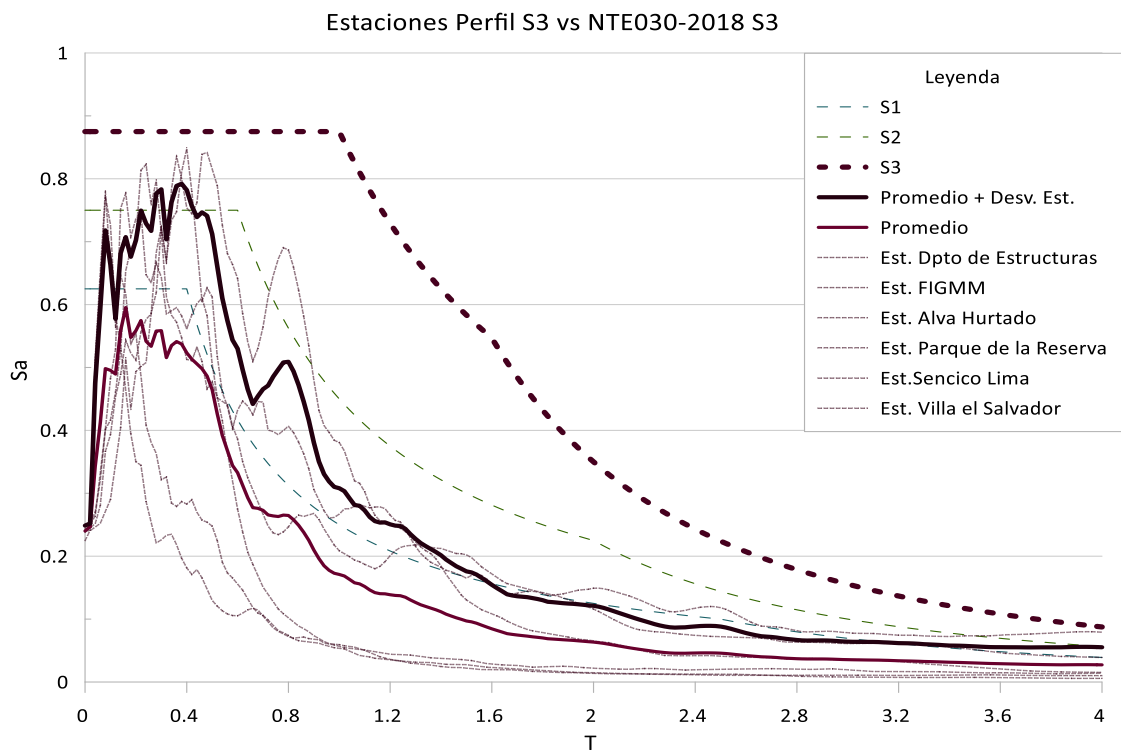


Figura 48 – Curvas de los valores de la Tabla 21- perfil de suelo s3.

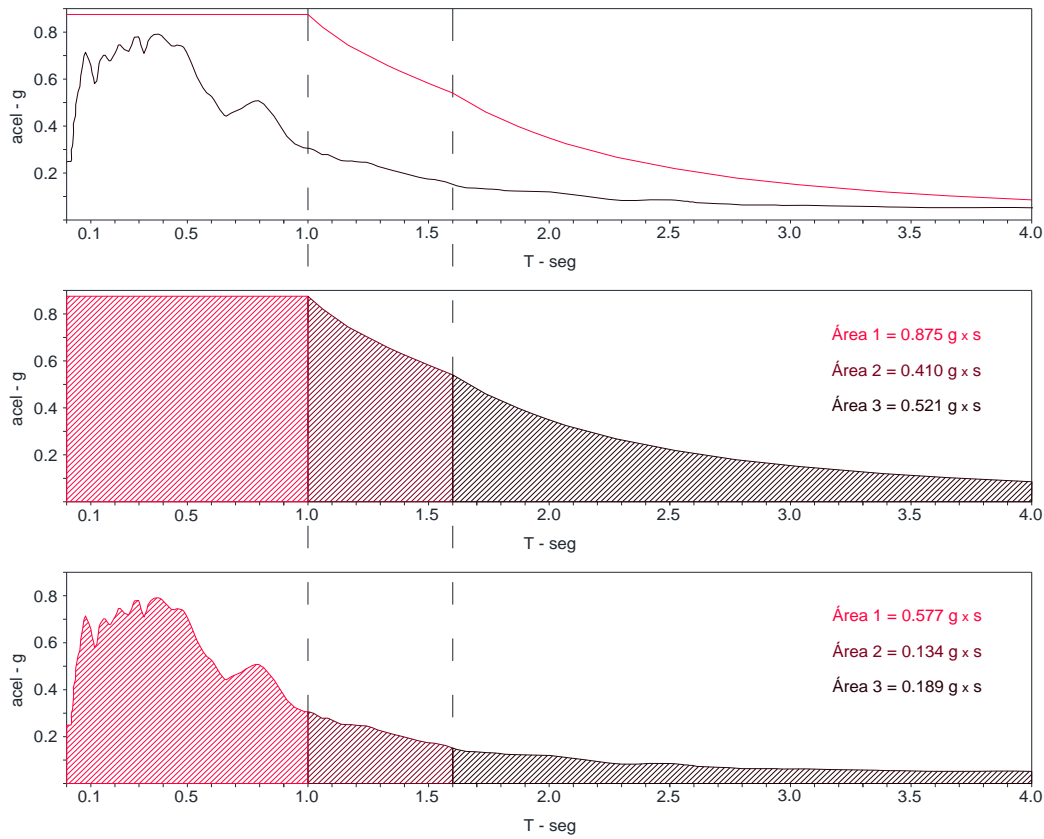


Figura 49 – Área bajo la curva de los 3 tramos del espectro de la norma vs el espectro promedio, para el suelo S3

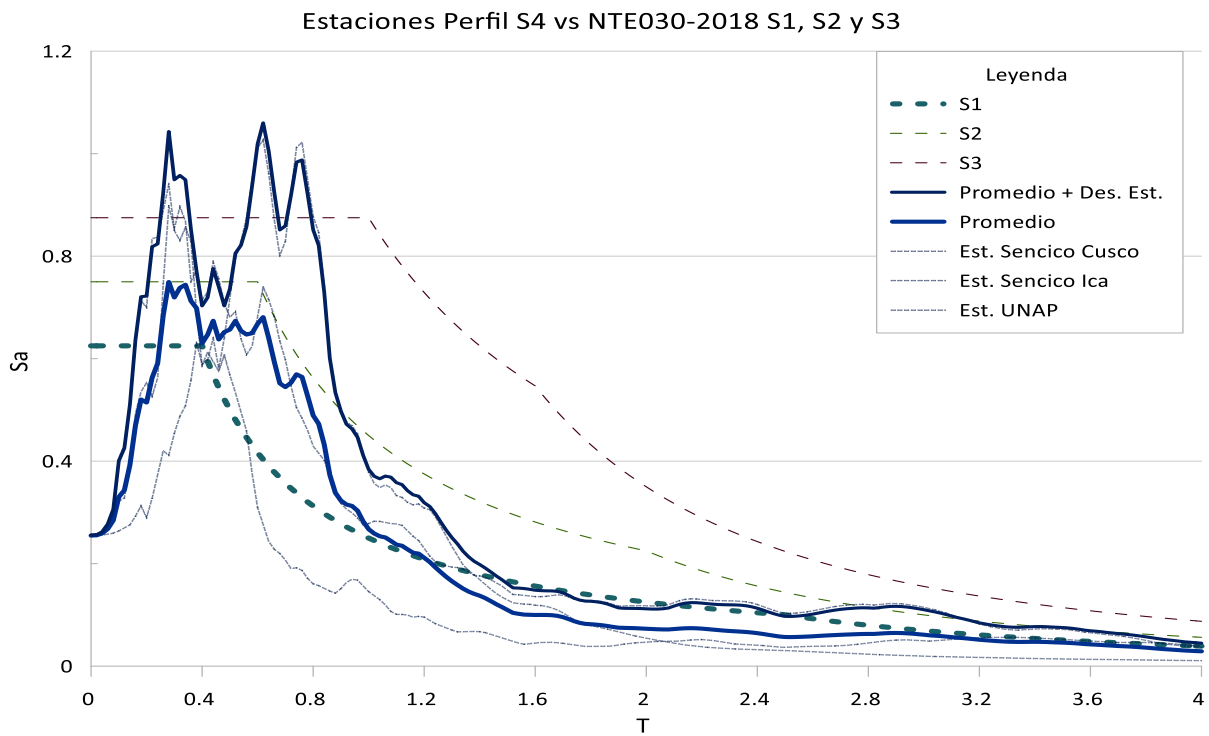


Figura 50 – Curvas de los valores de la Tabla 22 - Promedio y promedio más desviación estándar del perfil de suelo S4 - perfil de suelo s4.



3.6.5 Sismo Artificial

Del acelerograma correspondiente al sismo 5 en la estación Decanato FIC-UNI se obtuvo el promedio de las aceleraciones del sismo en las direcciones NS y EO, y se usó para sacar un primer espectro de respuesta del sismo con el procedimiento indicado en 3.6.1 y 3.6.2

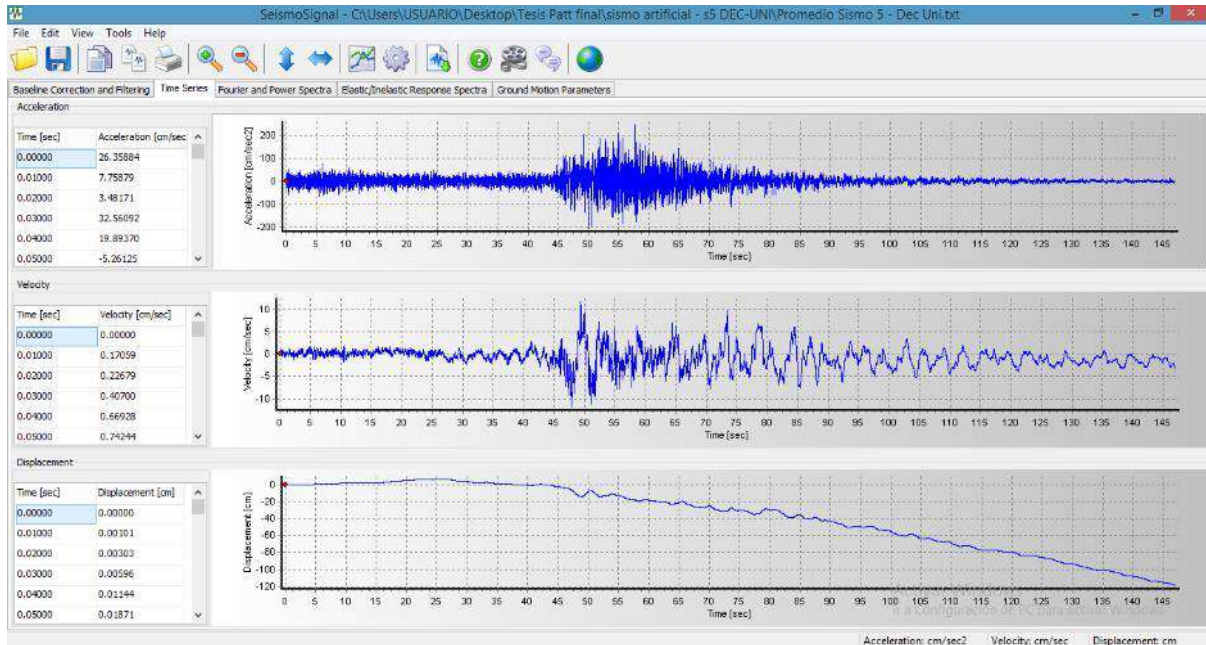


Figura 51 - Ingreso del promedio de las dos direcciones del sismo 5 original al software SeismoSignal

Tabla 23 – Promedio, corrección, espectro de respuesta y contenido de frecuencias del Sismo 5 original, estación Decanato FIC-UNI.

Número del sismo: 5
Nombre de la estación: Decanato FIC-UNI
Frecuencia de muestreo: 100
Unidades del registro: cm/s²

	PGA	AbsMáx (-)	AbsMáx (+)
EO	61.897	3.30	3.96

Registro Original - SISMO 5			Promedio	Promedio Corregido	T	Esp. Aceleración		Hz	Contenido de frecuencias	
T	EO	NS				cm/s ²	g		EO	NS
0.000	0.32150	0.53020	0.426	2.44646	0.00	249.578	0.255			
0.010	0.54080	-0.29010	0.125	10.48210	0.01	253.601	0.259	100.000	253.601	0.2588
0.020	0.58250	-0.47000	0.056	16.54392	0.02	256.402	0.262	50.000	256.402	0.2616
0.030	1.32660	-0.27450	0.526	12.90912	0.03	286.056	0.292	33.333	286.056	0.2919
0.040	0.28200	0.36080	0.321	12.37918	0.04	381.017	0.389	25.000	381.017	0.3888
0.050	-0.46240	0.29240	-0.085	19.52466	0.05	730.205	0.745	20.000	730.205	0.7451
0.060	-0.37820	0.13300	-0.123	13.06745	0.06	527.213	0.538	16.667	527.213	0.5380
0.070	-1.27860	0.18210	-0.548	-10.06184	0.07	650.077	0.663	14.286	650.077	0.6633
0.080	-1.19530	0.32880	-0.433	-27.98499	0.08	527.699	0.538	12.500	527.699	0.5385
0.090	-0.75290	0.38010	-0.186	-30.42982	0.09	573.565	0.585	11.111	573.565	0.5853
0.100	-0.17650	-0.19410	-0.185	-21.42603	0.10	452.158	0.461	10.000	452.158	0.4614
0.110	0.49950	-0.45020	0.025	-9.29752	0.11	377.321	0.385	9.091	377.321	0.3850
0.120	0.22680	-0.28370	-0.028	-2.01046	0.12	467.321	0.477	8.333	467.321	0.4769
0.130	-0.03690	0.18480	0.074	0.44194	0.13	500.873	0.511	7.692	500.873	0.5111
0.140	0.70730	0.32540	0.516	4.74178	0.14	391.198	0.399	7.143	391.198	0.3992
0.150	0.22170	-0.39770	-0.088	13.53314	0.15	413.210	0.422	6.667	413.210	0.4216
0.160	0.81490	-0.29910	0.258	16.54528	0.16	407.685	0.416	6.250	407.685	0.4160
0.170	0.74120	0.42550	0.583	11.66994	0.17	461.744	0.471	5.882	461.744	0.4712
0.180	0.44680	0.79680	0.622	18.08702	0.18	558.013	0.569	5.556	558.013	0.5694
0.190	0.49580	0.22070	0.358	34.99726	0.19	475.478	0.485	5.263	475.478	0.4852
0.200	-0.10480	-0.54940	-0.327	32.03035	0.20	465.308	0.475	5.000	465.308	0.4748



Después usando la transformada de Fourier como herramienta para que la función de la Ecuación (24) represente los terremotos en una determinada localidad y genere el sismo artificial, se colocaron los datos del acelerograma en un software que permite correr la programación de la relación de ecuaciones que construyeron, en base a las frecuencias de este promedio, el sismo artificial de acuerdo a lo indicado en la teoría del título 2.2.10.3.

Primero se corrige la línea base del acelerograma y se halla el espectro de respuesta, de los datos del espectro se obtiene el contenido de frecuencias del sismo.

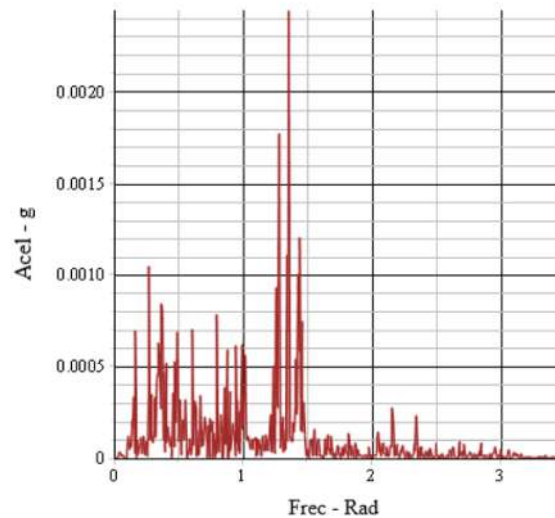


Figura 52 - Contenido de frecuencias del sismo 5 estación Decanato FIC-UNI

Después se genera el ángulo de fase, el que asegura la aleatoriedad del sismo a generar y se suman las funciones trigonométricas a lo largo del tiempo, se aplica la función de intensidad

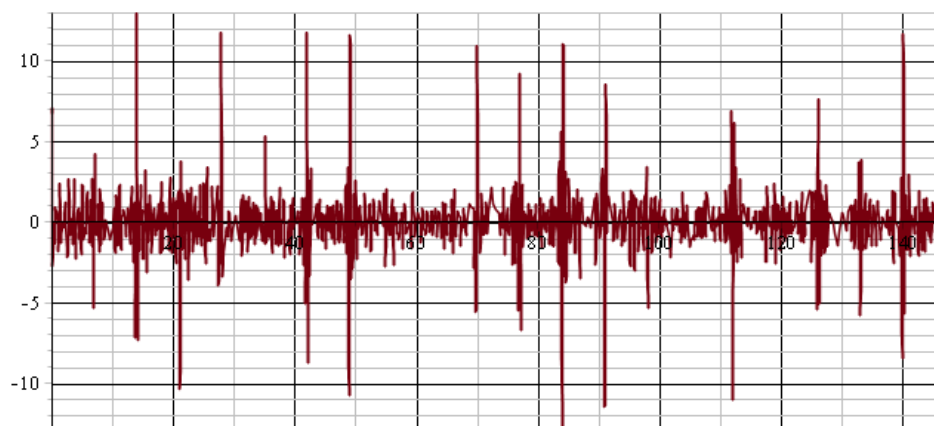


Figura 53 - suma de las funciones trigonométricas a lo largo del tiempo

La iteración de la transformada rápida de Fourier para generar el espectro de respuesta y la transformada inversa más el ángulo de fase que asegura la aleatoriedad del sismo, la función de intensidad que asegura la individualidad del sismo y finalmente la corrección del sismo, para generar el sismo artificial es un proceso de cálculo para más de 14000 líneas para cada registro de acuerdo a lo que se indica en 2.2.10.3. y manualmente, demandarían muchísimo tiempo, por lo que la generación de estos gráficos y tablas de datos se apoyó en un software programador.

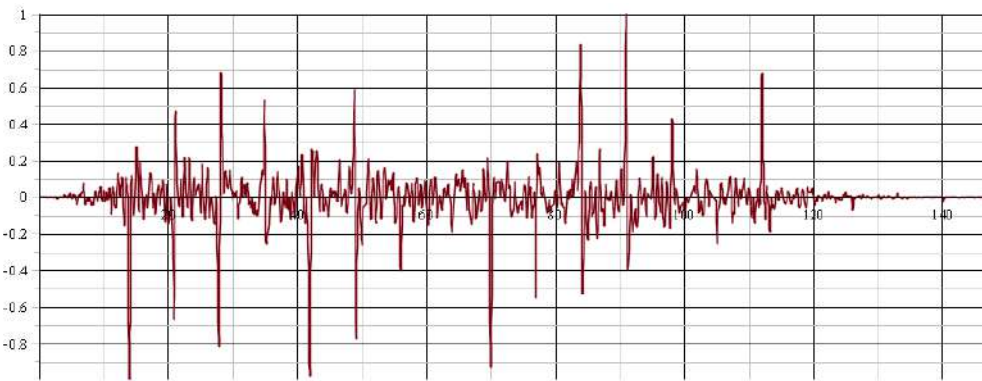


Figura 54 - sismo artificial en función de las frecuencias de la fuente

Una vez obtenido el sismo artificial, se procesa como un nuevo registro en el SeismoSignal de acuerdo a lo indicado en los títulos 3.6.1, 3.6.2 y 3.6.3 para la obtención de un espectro de respuesta nuevo.

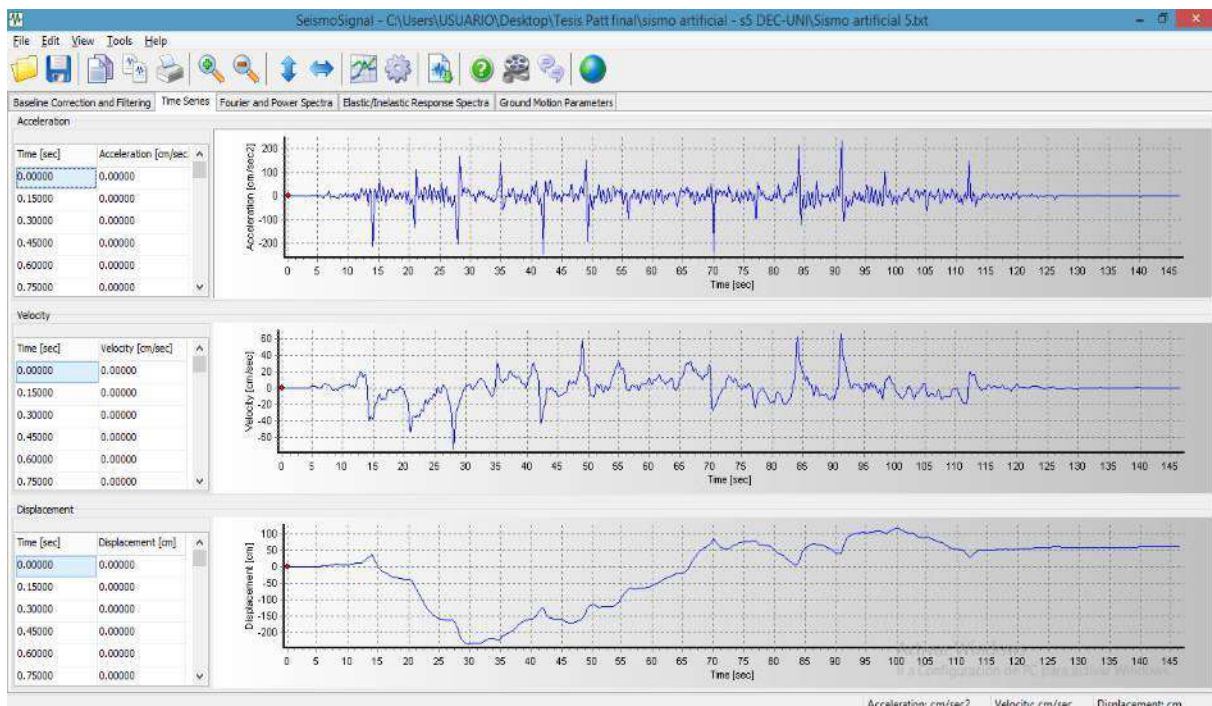


Figura 55 - Ingreso del sismo 5 artificial al software SeismoSignal



Tabla 24 - Promedio, corrección, espectro de respuesta y contenido de frecuencias del Sismo 5 artificial.

Número del sismo: 5 (artificial)
Nombre de la estación: Decanato FIC-UNI
Frecuencia de muestreo: 15
Unidades del registro: cm/s2

	PGA	AbsMáx (-)	AbsMáx (+)
EO	86.142	2.84	2.71

Registro Original - SISMO 5			Sismo Art Original	Sismo Art Escalado	T	Esp. Aceleración		Hz	Contenido de frecuencias	
T	EO	NS				cm/s2	g		EO	NS
0.000	-	-	0.00000	0.00000	0.00	244.988	0.250			
0.150	-	-	-0.00008	0.00000	0.01	245.641	0.2507	100.000	245.641	0.2507
0.300	-	-	0.00006	0.00000	0.02	246.359	0.2514	50.000	246.359	0.2514
0.450	-	-	0.00032	0.00000	0.03	246.714	0.2517	33.333	246.714	0.2517
0.600	-	-	0.00023	0.00000	0.04	248.144	0.2532	25.000	248.144	0.2532
0.750	-	-	-0.00035	0.00000	0.05	247.353	0.2524	20.000	247.353	0.2524
0.900	-	-	-0.00046	0.00000	0.06	249.842	0.2549	16.667	249.842	0.2549
1.050	-	-	0.00064	0.08614	0.07	247.458	0.2525	14.286	247.458	0.2525
1.200	-	-	0.00044	0.00000	0.08	251.834	0.2570	12.500	251.834	0.2570
1.350	-	-	-0.00390	-0.34457	0.09	253.116	0.2583	11.111	253.116	0.2583
1.500	-	-	-0.00205	-0.17228	0.10	253.531	0.2587	10.000	253.531	0.2587
1.650	-	-	0.00345	0.25843	0.11	251.975	0.2571	9.091	251.975	0.2571
1.800	-	-	0.00505	0.43071	0.12	252.101	0.2572	8.333	252.101	0.2572
1.950	-	-	0.00362	0.34457	0.13	248.865	0.2539	7.692	248.865	0.2539
2.100	-	-	-0.00349	-0.25843	0.14	244.892	0.2499	7.143	244.892	0.2499
2.250	-	-	-0.00302	-0.25843	0.15	248.124	0.2532	6.667	248.124	0.2532
2.400	-	-	0.00615	0.51685	0.16	255.233	0.2604	6.250	255.233	0.2604
2.550	-	-	0.01504	1.29213	0.17	262.427	0.2678	5.882	262.427	0.2678
2.700	-	-	0.00627	0.51685	0.18	268.914	0.2744	5.556	268.914	0.2744
2.850	-	-	-0.02280	-1.98127	0.19	267.363	0.2728	5.263	267.363	0.2728
3.000	-	-	-0.01843	-1.55056	0.20	259.166	0.2645	5.000	259.166	0.2645
3.150	-	-	0.00107	0.08614	0.21	263.816	0.2692	4.762	263.816	0.2692
3.300	-	-	0.00746	0.60299	0.22	267.493	0.2730	4.545	267.493	0.2730
3.450	-	-	0.01025	0.86142	0.23	277.147	0.2828	4.348	277.147	0.2828
3.600	-	-	0.00311	0.25843	0.24	285.325	0.2911	4.167	285.325	0.2911

Compararemos los sismos escalados, los espectros de respuesta y el contenido de frecuencias del sismo original y del sismo artificial obtenido en base a él.

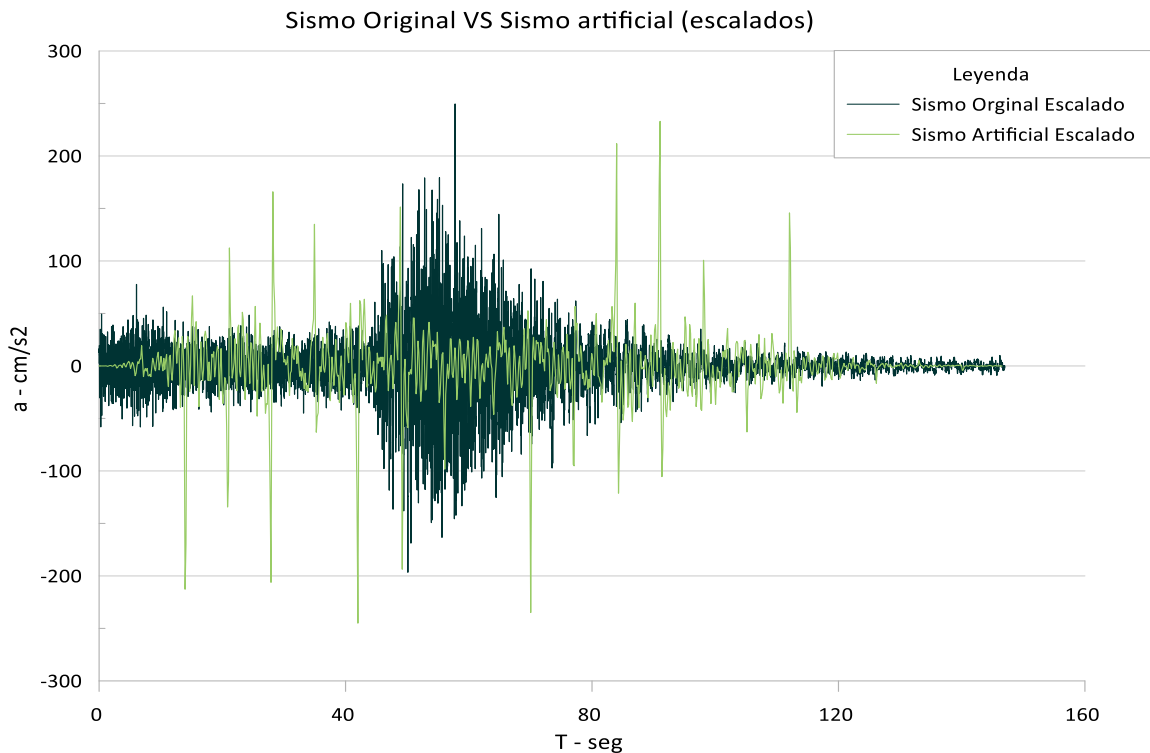


Figura 56 - Sismo Original escalado vs Sismo Artificial escalado

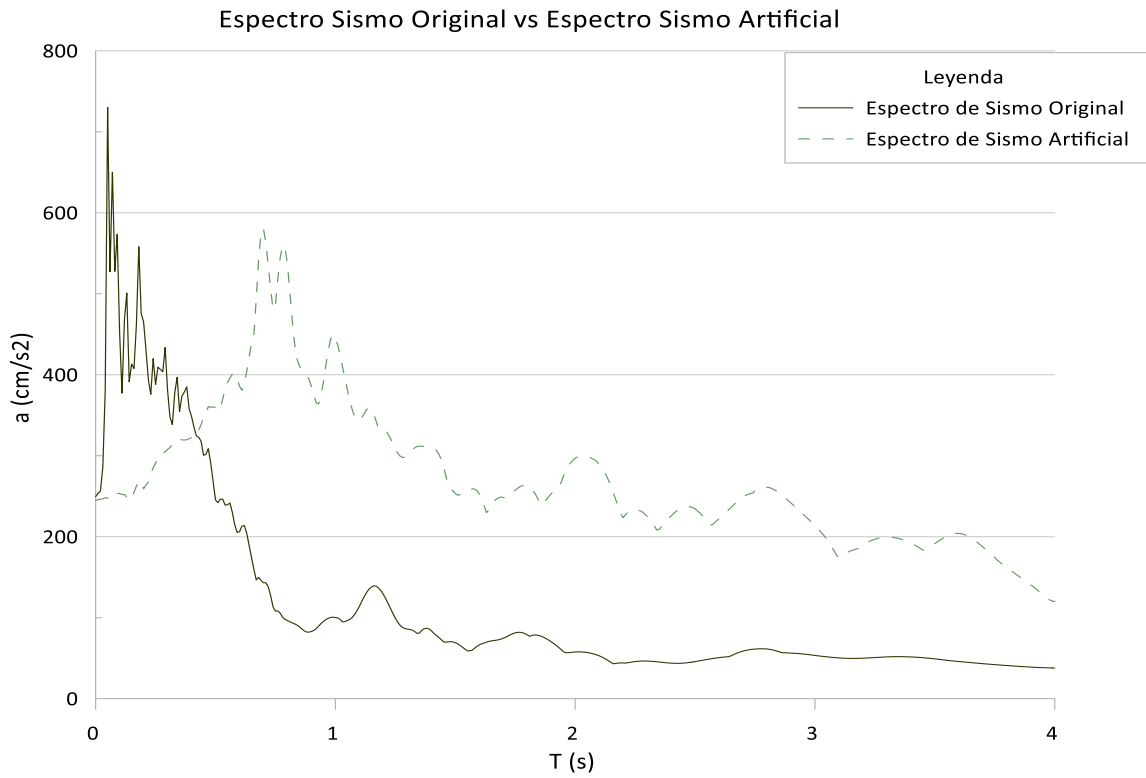


Figura 57 – Espectro del Sismo Original vs Espectro del Sismo Artificial

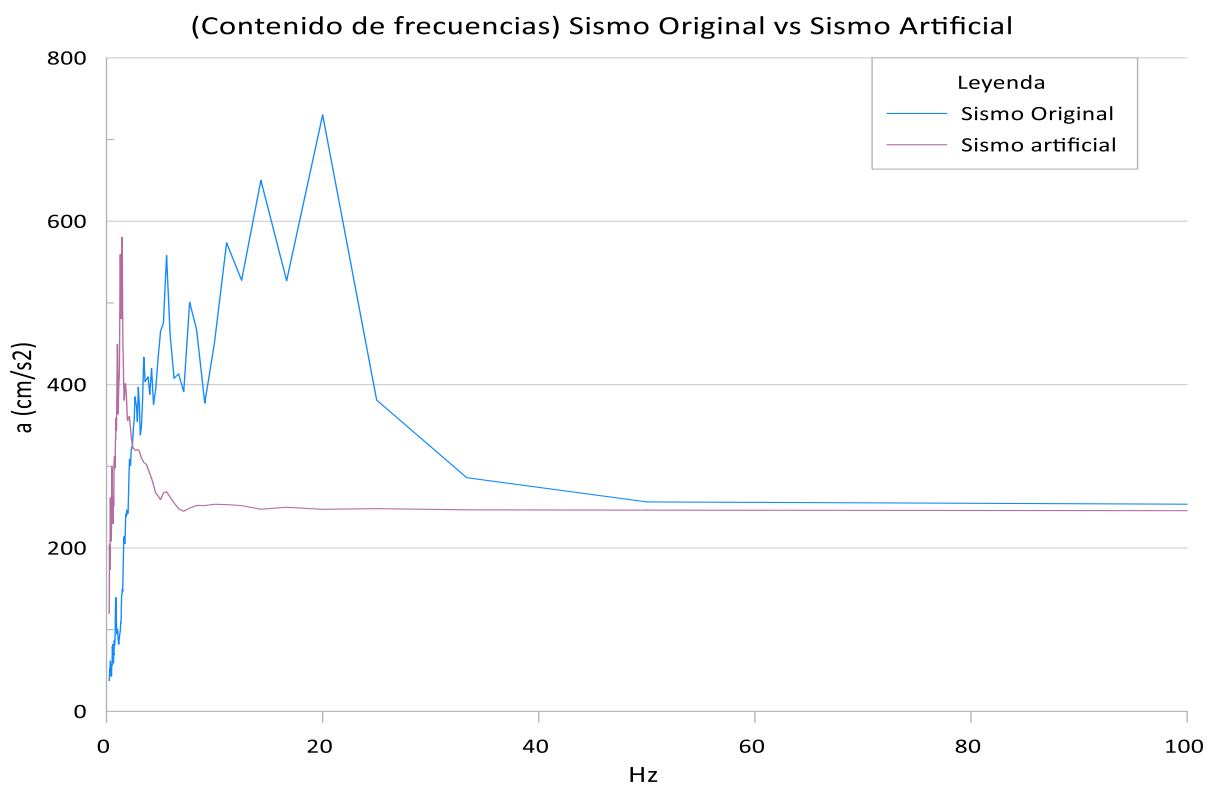


Figura 58 - Contenido de frecuencias Sismo Original vs Sismo Artificial



4 RESULTADOS

4.1 Del Escalamiento Corrección Y Filtrado

- a) Al escalar todos los registros sísmicos en todas sus direcciones tienen como aceleración máxima $245\text{cm}/\text{s}^2$ el proceso de escalamiento es entonces correcto, puesto que es la aceleración máxima esperada en z_2 .
- b) De la corrección se observa que, comparando la Figura 38 y Figura 40, el registro ha sido corregido, todos los datos parten de 0 en el parámetro aceleración lo que hace que en los parámetros velocidad y desplazamiento se consigan datos inequívocos puesto que los mismos se consiguen derivando los datos de la aceleración del registro.
- c) Después del filtrado se observa en todos los registros que la aceleración se reduce o aumenta como máximo $88\text{cm}/\text{s}^2$ como se ve en la Tabla 13.
- d) El contenido de frecuencias de los registros se ubica entre -0.1 y 25hz como se desarrolla y recomienda en 2.2.5.
- e) El perfil de suelo mayor corresponde a una aceleración mayor como se ve en la Tabla 18.

4.2 De Los Espectros De Diseño

4.2.1 Generales

- a) Podemos observar en las figuras; Figura 44, Figura 46 y Figura 48 – que los espectros promedios no empieza en la plataforma o valor máximo de aceleraciones como indica la norma sino demora aproximadamente 0.10 segundos en llegar al valor de la posible plataforma.
- b) En las figuras; Figura 44, Figura 46 y Figura 48 – se ve que el espectro promedio tiene tramos con mayores aceleraciones que lo indicado por la norma.

4.2.2 Para El Perfil De Suelo S1

- a) En la curva del espectro la aceleración máxima llega en el segundo 0.06, tiene la primera caída brusca en el segundo 0.42 y la segunda caída en el segundo 1.72



- b) El área bajo la curva de los dos espectros comparados para el suelo s1 difiere hasta en un 33%

Tabla 25 - área bajo la curva de los dos espectros comparados para el suelo s1

Área bajo la curva	Plataforma	2do tramo	3er tramo
Espectro Promedio	0.250	0.457	0.094
Espectro Norma	0.200	0.575	0.140
% diferencia	25%	21%	33%

Siendo en el segundo y tercer tramo el área mayor la correspondiente a la del espectro promedio.

- c) También se ve que el valor de la aceleración en el segundo 0 es para el perfil de suelo s1 es 0.2535g y no 0.625g como indica la norma.

4.2.3 Para El Perfil De Suelo S2

- a) En la curva del espectro la aceleración máxima llega en el segundo 0.08, tiene la primera caída brusca en el segundo 0.22, la segunda caída en el segundo 0.56 y la última en el segundo 1.6.
- b) El área bajo la curva de los dos espectros comparados para el suelo s2 difiere hasta en un 53%

Tabla 26 - área bajo la curva de los dos espectros comparados para el suelo s2

Área bajo la curva	Plataforma	2do tramo	3er tramo
Espectro Promedio	0.292	0.254	0.170
Espectro Norma	0.450	0.544	0.229
% diferencia	35%	53%	26%

Siendo en todos los tramos el área del espectro considerado por la norma el área mayor

- c) Si bien es cierto que las áreas bajo la curva de la norma son mayores a las del espectro promedio, en el segundo 3.2 se observa que la curva de los espectros promedios supera a la de la norma.



- d) También se ve que el valor de la aceleración en el segundo 0 es para el perfil de suelo s2 es 0.2436g y no 0.750g como indica la norma.

4.2.4 Para El Perfil De Suelo S3

- a) En la curva del espectro la aceleración máxima llega en el segundo 0.38, sin embargo, el primer pico aparece en el segundo 0.08; tiene la primera caída brusca en el segundo 0.46, la segunda caída en el segundo 0.8 y la última caída en el segundo 1.24
- b) El área bajo la curva de los dos espectros comparados para el suelo s2 difiere hasta en un 67%

Tabla 27 - área bajo la curva de los dos espectros comparados para el suelo s3

Área bajo la curva	Plataforma	2do tramo	3er tramo
Espectro Promedio	0.577	0.134	0.189
Espectro Norma	0.875	0.410	0.521
% diferencia	34%	67%	64%

Siendo en todos los tramos el área del espectro considerado por la norma el área mayor.

- a) No hay ningún segmento de la curva de los espectros promedio que supere la curva de la norma.
- b) También se ve que el valor de la aceleración en el segundo 0 es para el perfil de suelo s3 es 0.2486g y no 0.875g como indica la norma.

4.3 Del Sismo Artificial

- a) Se observa que a pesar de partir del mismo contenido de frecuencias los espectros de respuesta de uno y otro sismo son distintos.
- b) El sismo artificial inicia la probable plataforma más tarde que el sismo original.

5 DISCUSIÓN

- a) ¿Cuál es el principal motivo por el cual la norma tiene diferencias con un promedio de espectros sísmicos realmente ocurridos?



Consideramos que la última actualización de la norma, en los parámetros del espectro elástico fue modificada en base a un estudio que contemplo sismos ocurridos únicamente en la costa y este estudio propuso el molde para modificar toda la norma para todas las zonas sísmicas, lo cual no sería compatible.

- b) ¿Cuál es el periodo de tiempo de validación de los datos generados por la norma?

La norma indica que los parámetros que considera fueron hallados con regresiones de sismos ocurridos para una duración de 500 años, y parece una predicción ostentosa y difícil de validar, pues hace 500 años se desconocía mucha teoría y se contaba con una cantidad de datos a tratar bastante pequeña, se entiende que se utilizaron métodos como el visto en los sismos artificiales para replicar sismos y tener una gran base de datos, sin embargo en la Figura 57 se observa que a pesar de tener el mismo contenido de frecuencias, el espectro del sismo real es distinto al espectro del sismo artificial.

- c) ¿Cómo se han interpretado los datos encontrados en la investigación?

Con base en las matemáticas y la estadística se puede hallar datos como el área bajo la curva que es lo que principalmente se expone en la investigación apoyados en un software muy conocido en la ingeniería como el AutoCAD. Otros como las aceleraciones máximas que corresponden a la plataforma y los segundos del periodo T se basan en la ingeniería sismorresistente, que habla sobre este fenómeno y como puede ser representado. Definitivamente la norma de diseño sismorresistente considera que al territorio peruano le llega un porcentaje de las aceleraciones ocurridas por sismos tectónicos, sin embargo, el comportamiento de los sismos de la zona z2 responde a una acción más particular que solo un porcentaje de otros datos encontrados en la costa, muy probablemente las fallas geológicas cerca de la cordillera de los andes generen sismos distintos a los de la costa.

- d) ¿Algún comentario de la demostración de la hipótesis?

La hipótesis fue demostrada al hallar diferencias relevantes del área bajo la curva de los dos espectros comparados, diferencias de hasta 67% son importantes para ser discutidas, tratadas e investigadas, considerando además que, para hallar el espectro de diseño de



los sismos realmente ocurridos se acudió a mucha información bibliográfica y así poder tratar los acelerogramas de la manera correcta y para comprender el funcionamiento del software utilizado, que además es una herramienta muy popular en el medio por su eficacia y precisión.

e) ¿Qué aportes brinda la investigación?

El principal aporte como se ha mencionado en el primer capítulo es el de contribuir con la afinación de nuestra norma de sismoresistencia, en una medida amplia, pues para tratar un territorio tan grande, todavía se considera que 19 registros son poco para dar conclusiones exactas, sin embargo, proporcionamos datos para mejorar nuestra normativa o abrir nuevas posibles investigaciones en base a esta que permitan llegar a una solicitud cada vez más real y más precisa, es decir, para un territorio más pequeño.

d) ¿Qué temas nuevos se han presentado durante el proceso de investigación?

Para empezar la investigación abre la posibilidad de hacer el mismo trabajo para la zona sísmica 3 y para la zona sísmica 1, de hacer comparaciones de estos espectros y los de la norma aplicados a un edificio y comparar costos, tiempo de ejecución, materiales, etc.

GLOSARIO

- Aceleración. - es el incremento de la velocidad por unidad de tiempo. Generalmente se da en m/s^2
- Amortiguador. - es un dispositivo que se usa para disipar la energía
- Artificial. - es algo que no es natural. se refiere a un producto de la actividad intencional;
- Desplazamiento. - es el cambio de posición de un cuerpo entre dos instantes o tiempos bien definidos. Generalmente se da en m/s



- Desviación estándar. - es la medida de dispersión que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos.
- Ecuación diferencial. - es una ecuación matemática que relaciona una función con sus derivadas.
- Elasticidad. - es la propiedad mecánica de ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas exteriores se eliminan.
- Estrato. - es un fenómeno geológico que se produce por sedimentación de fragmentos provenientes de diversos tipos de rocas
- Estructura. - es el conjunto de elementos que caracterizan un sistema
- Falla geológica: fisura en la superficie o corteza de la tierra a lo largo de la cual se mueven bloques de suelo que son separados por ella.
- Filtro. - es un dispositivo o mecanismo que retiene ciertos elementos y deja pasar otros
- Frecuencia angular: Medida de velocidad de rotación de un cuerpo. Ángulo recorrido durante el giro en la unidad de tiempo, medido en la medida del arco. Símbolo ω , unidad rad/s. El tiempo T que necesita una rotación es el período, el número de rotaciones f durante 1s es la frecuencia de rotación o el número de revoluciones. $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$
- Frecuencia. - es el Número de veces que aparece, sucede o se realiza una cosa durante un determinado tiempo.
- Fuerza. - Según una definición clásica, fuerza es todo agente capaz de modificar la cantidad de movimiento o la forma de los materiales.
- Función matemática. - se dice que una magnitud es función de otra si el valor de la primera depende del valor de la segunda
- Hipocentro. - foco de la corteza terrestre en el que se origina un sismo



- Línea base. - es la primera medición de todos los indicadores, establece el punto de partida.
- Norma técnica. - es un documento aprobado por un organismo reconocido que establece especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico, que hay que cumplir en determinados productos, procesos o servicios
- Oscilador. - es un sistema capaz de ser perturbado y tener cambios periódicos.
- Periodo. - Tiempo que tarda en producirse un fenómeno repetitivo en todas sus etapas.
- Placa tectónica. - es un fragmento de la litosfera, que son 15 en total, que se mueven sobre la atmosfera. De ese movimiento surgen las fallas geológicas.
- Promedio. - es un solo número tomado como representante de una lista de números. Es la media aritmética, la suma de los números dividida por cuántos números se promedian.
- Pseudo aceleración. - es el valor máximo absoluto de la aceleración de un sistema multiplicado por ω^2 .
- Pseudo velocidad. - es el valor máximo absoluto del desplazamiento de un sistema multiplicado por ω .
- Resonancia. - es el fenómeno de incremento de amplitud que ocurre cuándo la frecuencia de una fuerza periódicamente aplicada es igual o cercano a una frecuencia natural del sistema en el cuál actúa.
- Ruido. - en física se considera ruido a todas las perturbaciones eléctricas que interfieren sobre las señales transmitidas o procesadas.
- Sistema de un grado de libertad. - es una estructura cuyo número de reacciones es igual a 1. Empotrado en un extremo y libre en el otro.
- Software. - Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.
- Suelo. - superficie de la corteza terrestre



- Velocidad. - es la relación existente entre el desarrollo de una acción, proceso o fenómeno físico y el tiempo transcurrido. Generalmente se da en m/s
- Vibración. - Movimiento de vaivén, rápido y de poca amplitud, de un cuerpo que vibra o de una parte de él.

CONCLUSIONES

De La Hipótesis General

Se concluye con respecto a la hipótesis general que se ratifica: los diferentes tramos del espectro de diseño generado a partir de sismos registrados por el CISMID en la zona sísmica Z2 con la asistencia del software SeismoSignal difieren de los tramos del espectro de diseño prescrito por la NTE030 (2018) para la zona sísmica Z2

De Las Hipótesis Específicas

La primera hipótesis específica se ratifica como se puede observar comparando la Figura 40 con la Figura 35, claramente el acelerograma cambia al ser filtrado de ruidos y ondas distintas a la del sismo, al ser corregido en su línea base y al ser escalado para compararlo correctamente con la NTE030 (2018).

La segunda hipótesis específica se niega: dice que las aceleraciones de los espectros de diseño generados a partir de sismos registrados por el CISMID en la zona sísmica Z2 con la asistencia del software SeismoSignal están por debajo del espectro de diseño prescrito por la NTE030 (2018) para la zona sísmica Z2, y esto es válido solo para el perfil s1 después del segundo 0.58 del periodo de vibración T en varios puntos como se ve en la Figura 44, también se valida para el perfil de suelo S2 después del segundo 3.4 como se ve en la Figura 46. Para los demás tramos y demás perfiles la hipótesis no fue confirmada.

La tercera hipótesis específica se ratifica: se ha corroborado que el segundo 0 del espectro promedio es distinto del segundo 0 estipulado por la norma lo que da aproximadamente 0.10 de una gran diferencia de aceleraciones entre las dos curvas al principio del periodo de vibración.



La cuarta hipótesis se niega: hay diferencias entre el máximo valor de aceleración de los espectros promedio versus los espectros de la norma para cada perfil de suelo, sin embargo, estos no llegan a diferir en 0.5cm/s^2 como sugería la cuarta hipótesis específica.

Tabla 28 – porcentajes de diferencia del área bajo la curva entre el espectro promedio y el espectro de la NTE030-2018 para cada perfil de suelo.

	NTE030	Promedio	Dif	% Dif
s3	0.8750	0.7920	0.0830	9.5%
s2	0.7500	0.7163	0.0337	4.5%
s1	0.6250	0.5946	0.0304	4.9%

RECOMENDACIONES

Finalmente, las recomendaciones sugieren lo que se venía diciendo desde el inicio de la investigación de acuerdo con lo demostrado en el desarrollo de esta: afinar la norma cada vez más sobre todo considerando que hay data para manipular y estudiar.

- Para el perfil de suelo s1 de la zona sísmica z2 se recomienda empezar el espectro en el segundo 0 con 0.28g , empezar la plataforma en el segundo 0.04 y continuarla hasta el segundo 0.4 después continuar con la primera zona curva hasta 1.8 y seguir con la segunda zona curva.
- Para el perfil de suelo s2 de la zona sísmica z2 se recomienda empezar el espectro en el segundo 0 con 0.24g , empezar la plataforma en el segundo 0.06 y continuarla hasta el segundo 0.6 después continuar con la primera zona curva hasta 1.8 y seguir con la segunda zona curva
- Para el perfil de suelo s3 de la zona sísmica z2 se recomienda empezar el espectro en el segundo 0 con 0.20g , empezar la plataforma en el segundo 0.08 y continuarla hasta el segundo 0.8 después continuar con la primera zona curva hasta 1.8 y seguir con la segunda zona curva.



REFERENCIAS

- A. Jaime, S. Juarez, F. Flores . (2012). *Análisis dinámico empleando espectros de diseño del reglamento (RCDF) y del manual de CFE*. Cancún: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica.
- Angulo, J., & Azañedo, W. (2013). *Propuesta para la modificación del espectro elastico de la actual norma peruana de diseño sismorresistente*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- ASCE, A. S. (2010). *Minimum design loads for buildings and other structures*. California, EEUU: ASCE.
- Barbat, A., & Canas, J. A. (1994). *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería*. Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- Barbat, H., Oller, S., & Vielma, J. C. (2005). *Cálculo y diseño sismorresistente de edificios. Aplicación de la norma NCSE-02*. Barcelona: A. H. Barbat.
- Baron, C. (15 de abril de 2013). *BIOLOGÍA & GEOLOGÍA*. Obtenido de <http://biologiaygeologia4a.blogspot.com/>
- Benavente, C.; Delgado, G.; Taipei, E.; Audin, L. & Pari, W. (2013). *Neotectónica y Peligro Sísmico - Boletín N° 55, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*. Cusco: INGEMMET.
- Bertero, V. (1992). *Lessons Learned From Recent Catastrophic Earthquakes and*. Madrid: Primera Conferencia Internacional Torroja.
- Bonett, R., & Pujades, L. (2002). Generación de Acelerogramas Artificiales Compatibles con un Espectro de Respuesta. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en la Ingeniería*, 297-308.
- Boore, D. M. (2003). *Simulation of ground motion using the stochastic method, Pure and Applied Geophysics*. Springer.
- Boore, W., & Joyner, D. (1988). *Measurement, Characterization and Prediction of Strong Ground Motion*. Park City UT.



Britanica, E. (13 de Julio de 2019). *Wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Sismograma>

Butterworth, S. (1930). *On the Theory of Filter Amplifiers*.

Castillo, J., & Alva, J. (1993). *Peligro Sísmico en el Perú*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Chopra, A. (1995). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Prentice-Hall.

CHOPRA, A. K. (2004). *Dinamica de Estructuras*. California.

CISMID. (s.f.). *Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres - Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería*. Obtenido de <http://www.cismid.uni.edu.pe>

Crisafulli, F., & Villafane, E. (2002). *Espectros de Respuesta y de Diseño*. Mendoza, Argentina: Universidad Nacional de Cuyo.

D. Guevara Huatuco, P. Torres Arias. (2008). *Diseño de un edificio con amortiguadores de fluido viscoso en disposición diagonal*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

E. Carreño, B. B. (1999). Registro y Tratamiento de Acelerogramas. En *Física de la Tierra* (págs. 81 - 111).

Geología de Segóvia. (2010). *Geología de Segóvia*. Obtenido de Geología de Segóvia: <http://www.geologiadesegovia.info/terremotos-magnitud-intensidad/>

GOMEZ. (2006). *Metodología de la investigación*.

GÓMEZ, J. E. (2000). *INTRODUCCIÓN A LA DINÁMICA*. Manzanales: Universidad Nacional de Colombia Sede Manzanales.

Grases, J. (2010). *Principios de la Ingeniería Estructural en Zonas Sísmicas*. Santiago de Chile: Biblioteca Virtual de Desastres de la OPS.

Hernandez Velazco, E. (2013). *ANÁLISIS DE INTERACCIÓN DINÁMICA SUELO – ESTRUCTURA DE UN EDIFICIO DESPLANTADO EN LA ZONA DE LAGO DE LA*



CIUDAD DE MÉXICO. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

IGEOF. (1998). Magnitud de un Sismo, Cálculo de la Magnitud. *Reportes Especiales - Universidad Autónoma de México*, 1-2.

INGEMMET. (18 de abril de 2012). *SlideShare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/ingemmet/fallas-activas-y-sismicidad-en-la-ciudad-del-cusco>

J. Angulo, W. A. (2013). *Propuesta para la modificación del espectro elástico de la actual norma de diseño sismoresistente*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

J. Ramirez Villalva, J. Sanches Obregon . (2014). *2.1.1.3 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES MEDIANAS IRREGULARES DE SISTEMA DUAL APLICANDO LA NTE030 DEL 2003 Y EL PROYECTO DE NORMA 2014 EN LIMA METROPOLITANA*. Lima: Universidad de San Martín de Porres.

John H. Mathews, R. W. (2006). *Math Fullerton*. Obtenido de <https://web.archive.org/web/20090312091304/http://math.fullerton.edu/mathews/c2003/FourierTransformMod.html>

La República. (2017). Edición escrita.

Molina, J. A. (27 de Setiembre de 2017). *SEISMICKNOWLEDGE*. Obtenido de <https://sites.ipleiria.pt/seismicknowledge/tag/escala-de-mercalli/>

Muñoz, A. (2010). *Apuntes de Ingeniería Sísmica en el Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

NTE030. (2018). *Norma Técnica de Diseño Sismoresistente*. Lima: Ministerio de Vivienda.

Pezo Zegarra, E. (2012). *Influência De Um Amortecedor Magnetoreológico No Isolamento De Base De Edifícios Sob Ação Sísmica*. Rio de Janeiro: Pontificia Universidad Católica de Rio de Janeiro.

PREDES. (19 de 10 de 2019). *Centro de estudios y prevención de desastres*. Obtenido de <http://www.predes.org.pe/predes/terremotos.htm>

PREDES Perú. (2012). *Fenómenos Naturales Peligrosos*. Lima: PREDES.



PREDES. (s.f.). *PREDES, Centro de estudios y Prevencion de Desastres*. Obtenido de <http://www.predes.org.pe/predes/terremotos.htm>

QueEsReal. (15 de 12 de 2019). *que es real*. Obtenido de <https://queesreal.wordpress.com/2014/03/11/porque-la-tierra-no-es-hueca-geofisica-ondas-p-s-y-l/>

Sampieri, H. (2010). *Metodología de la investigación*.

Sarachaga, M. H. (1997). *Conceptos Básicos de SISMOLOGÍA PARA INGENIEROS*. Lima: CISMID.

Seismic. (03 de Noviembre de 2012). *Seismic*. Obtenido de Seismic: <https://seismic06g.wordpress.com/2012/11/03/acelerogramas1/>

SeismoSoft. (2016). *SeismoSignal's Help System*.

Tavera, H. (15 de Mayo de 2018). *SINIA*. Obtenido de Sistema Nacional de Información Ambiental: <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-sismico-peru-periodo-1960-2017>

Universidad de Mendoza. (2003). *Estructuras*. Mendoza: Publicaciones de la Universidad de Mendoza.

Universidad Mayor de San Simon. (2014). *Diseño Estructural*. Cochabamba, Bolivia: Epublicaciones.

USGS. (6 de marzo de 2014). *wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Placas_tectonicas_mayores.svg

VadilloVila, J. (31 de 5 de 2020). Los tres minutos que borraron Yungay (crónica). *El Peruano*, págs. <https://elperuano.pe/noticia-los-tres-minutos-borraron-yungay-cronica-96660.aspx>.

Varios. (28 de enero de 2020). *Universidad de Mendoza*. Obtenido de <http://www.um.edu.ar/um/fau/estructura5-anterior/DISENO.htm>

W.J, N. N. (1974). *Earthquake and Spectra Design*. California: University of California.



Wayback Machine. (13 de noviembre de 2005). Obtenido de Internet Archive:
https://web.archive.org/web/20080311170833/http://earthquakescanada.nrcan.gc.ca/stnsdata/cnsn/sm/IA_Details_e.php

ANEXOS

Con referencia al capítulo 3.6.3 se adjuntan los espectros de respuesta promedio de los sismos en cada estación de la Gráfico 59 a la Figura 76 donde se muestra la curva del espectro de respuesta de los sismos escalados, filtrados y corregidos, y como este promedios se ubicó en cada perfil de suelo.

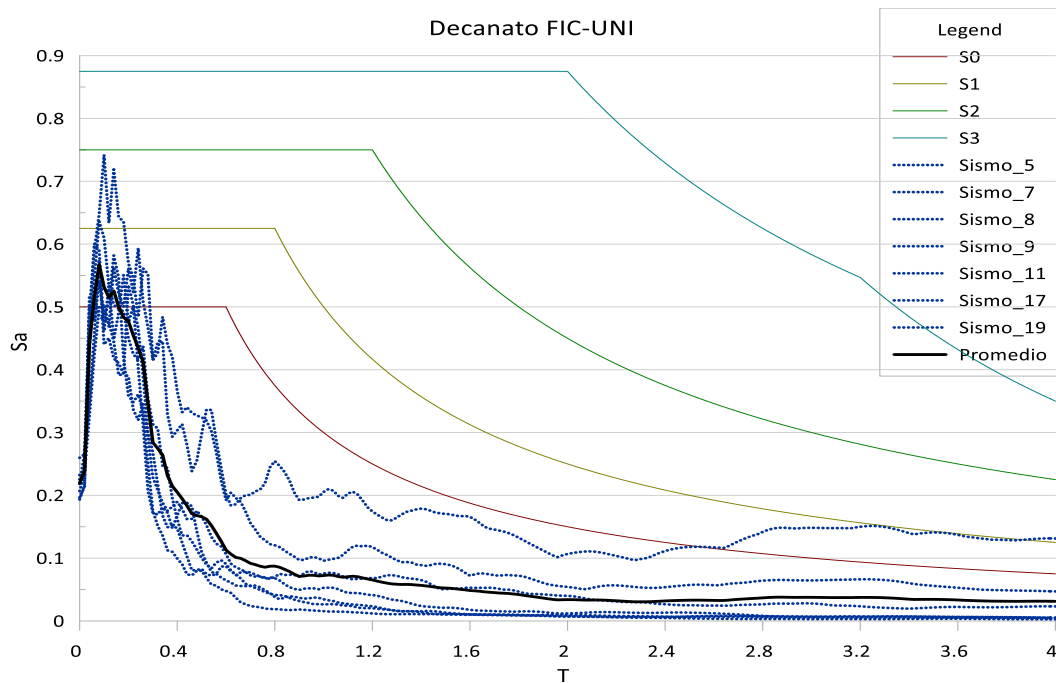


Gráfico 59 - Estación decanato - s1

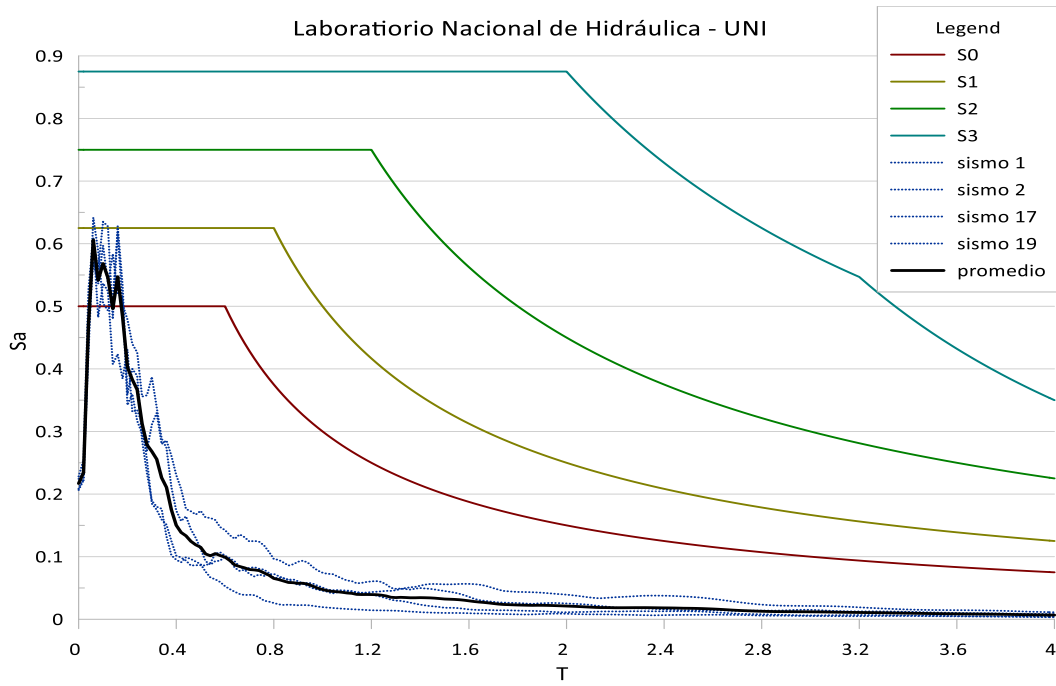


Figura 60 - Laboratorio Nacional de Hidráulica – UNI – s1

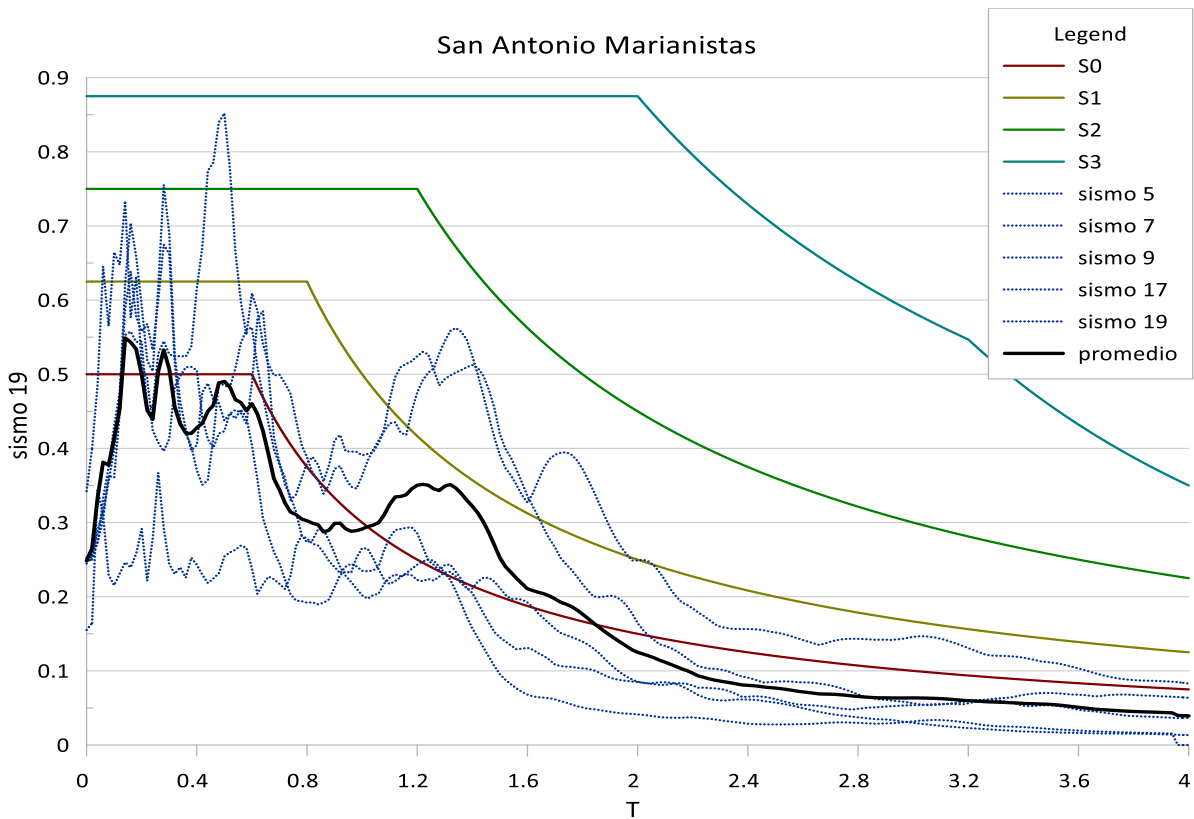


Figura 61 - San Antonio marianistas – s1

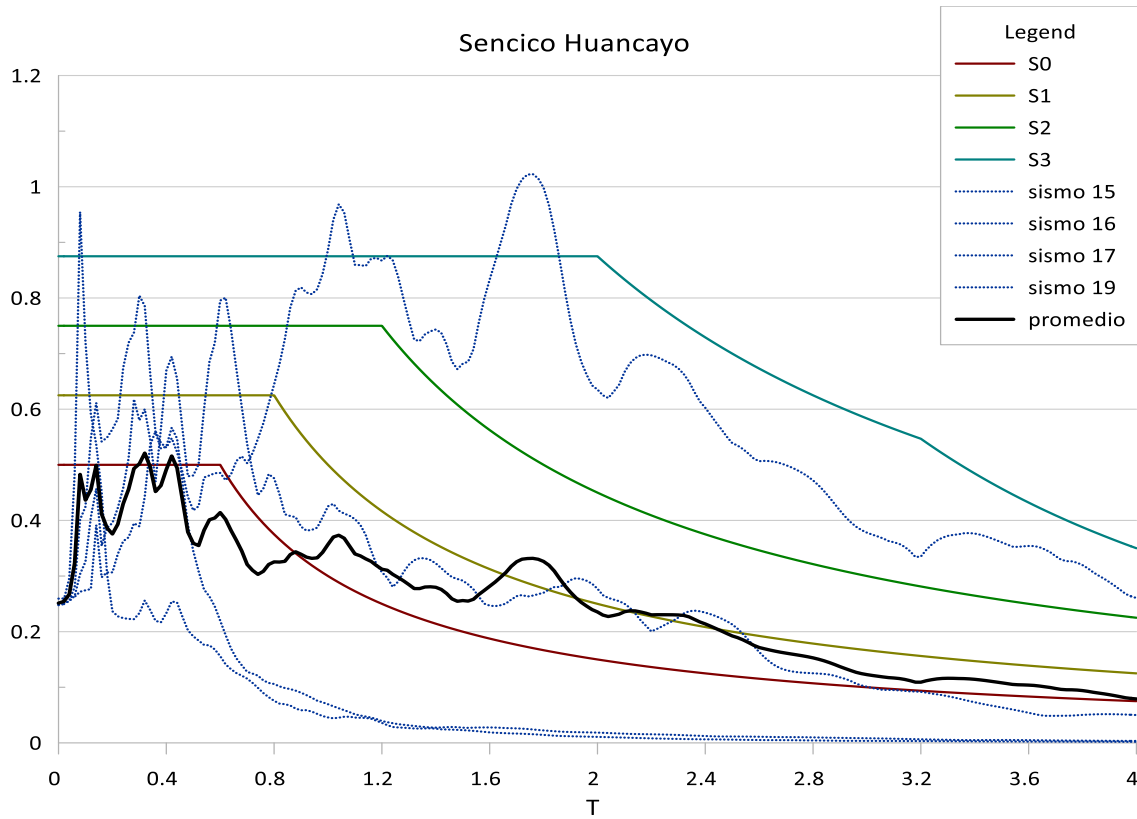


Figura 62 - SENCICO Huancayo s1

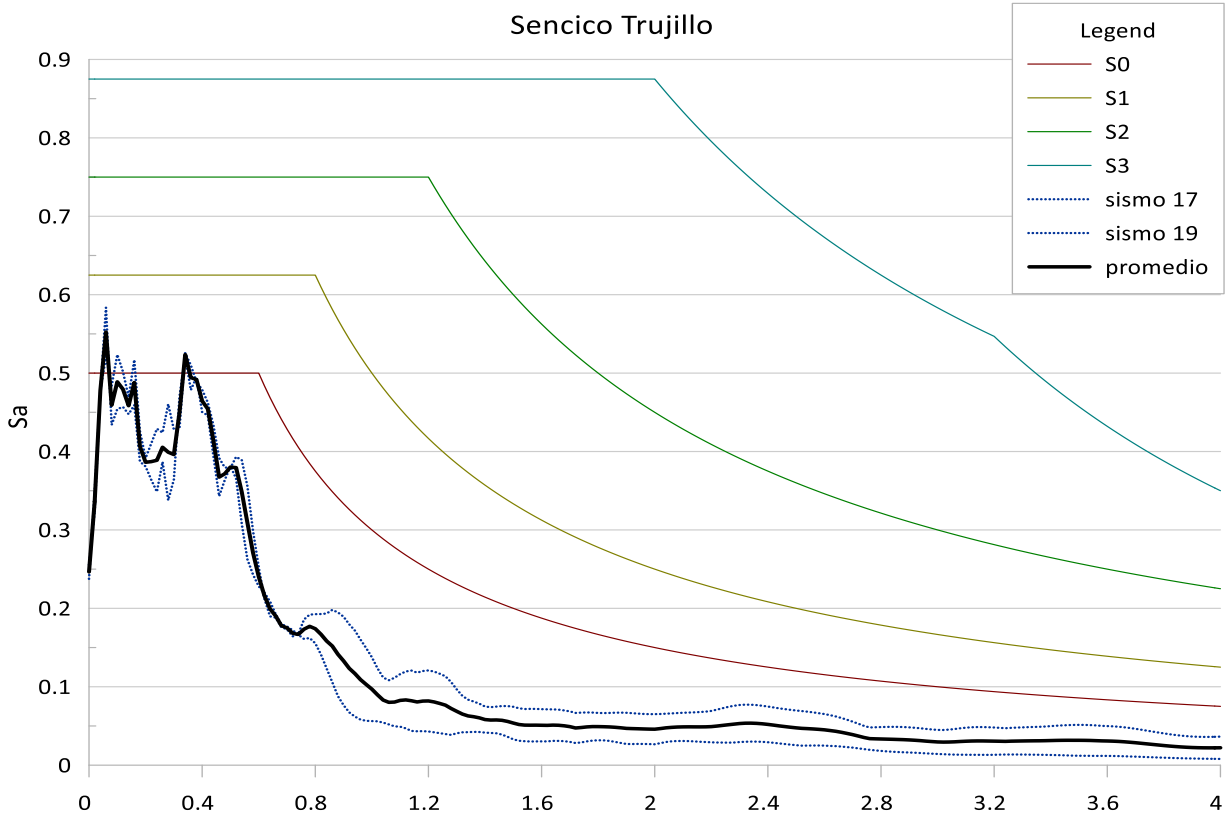


Figura 63 - SENCICO Trujillo s1

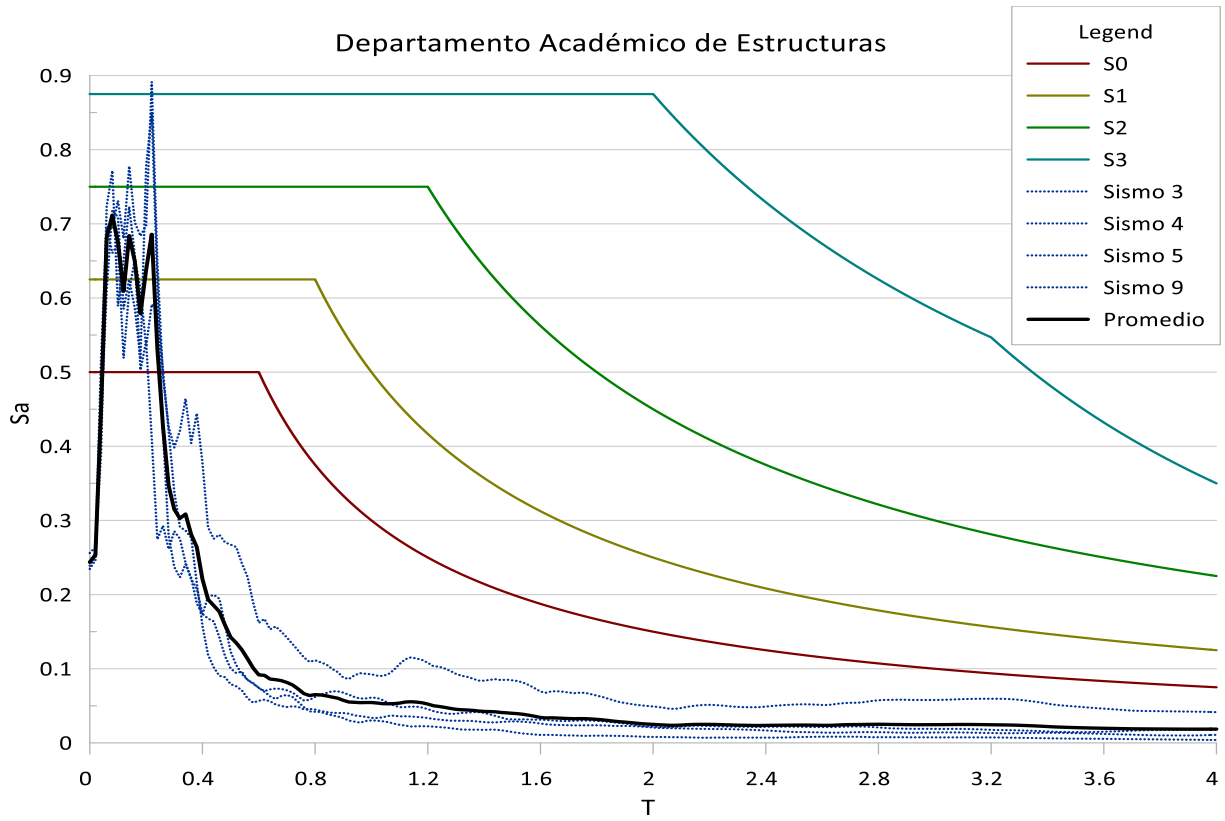


Figura 64 - Departamento Académico de estructuras s2

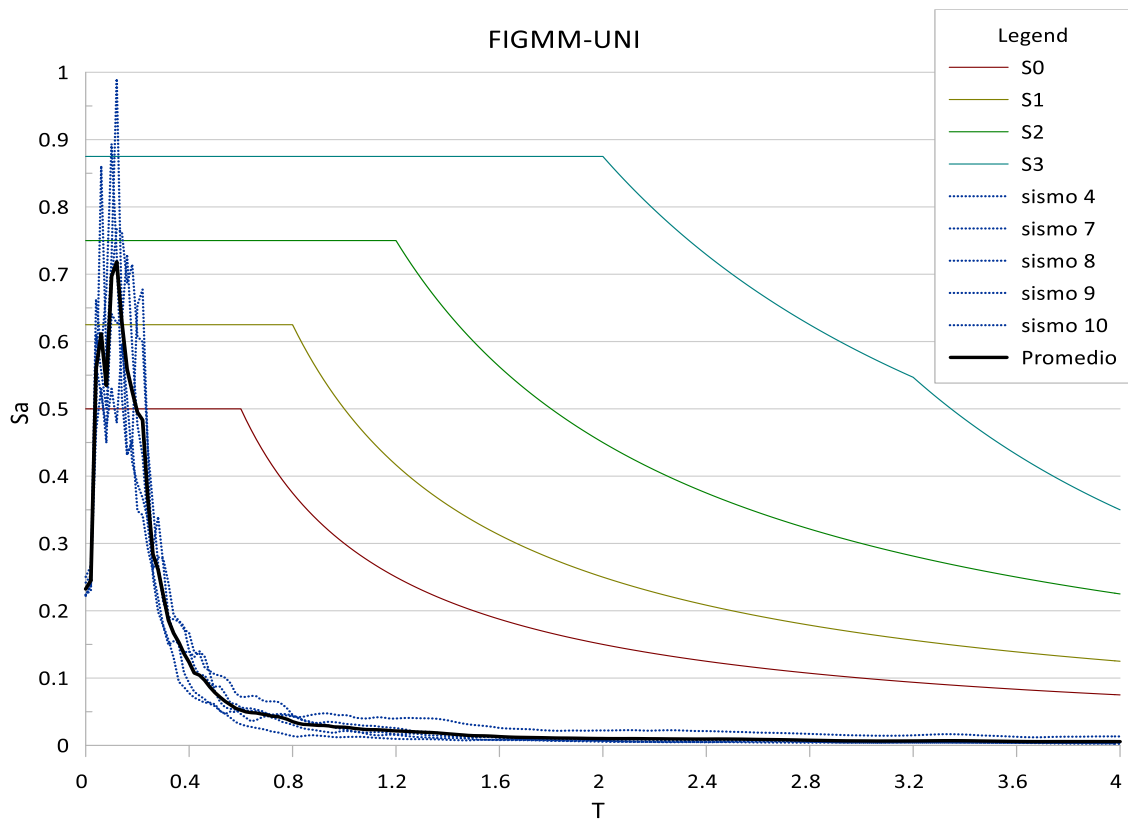


Figura 65 - Estación FIGMM - UNI

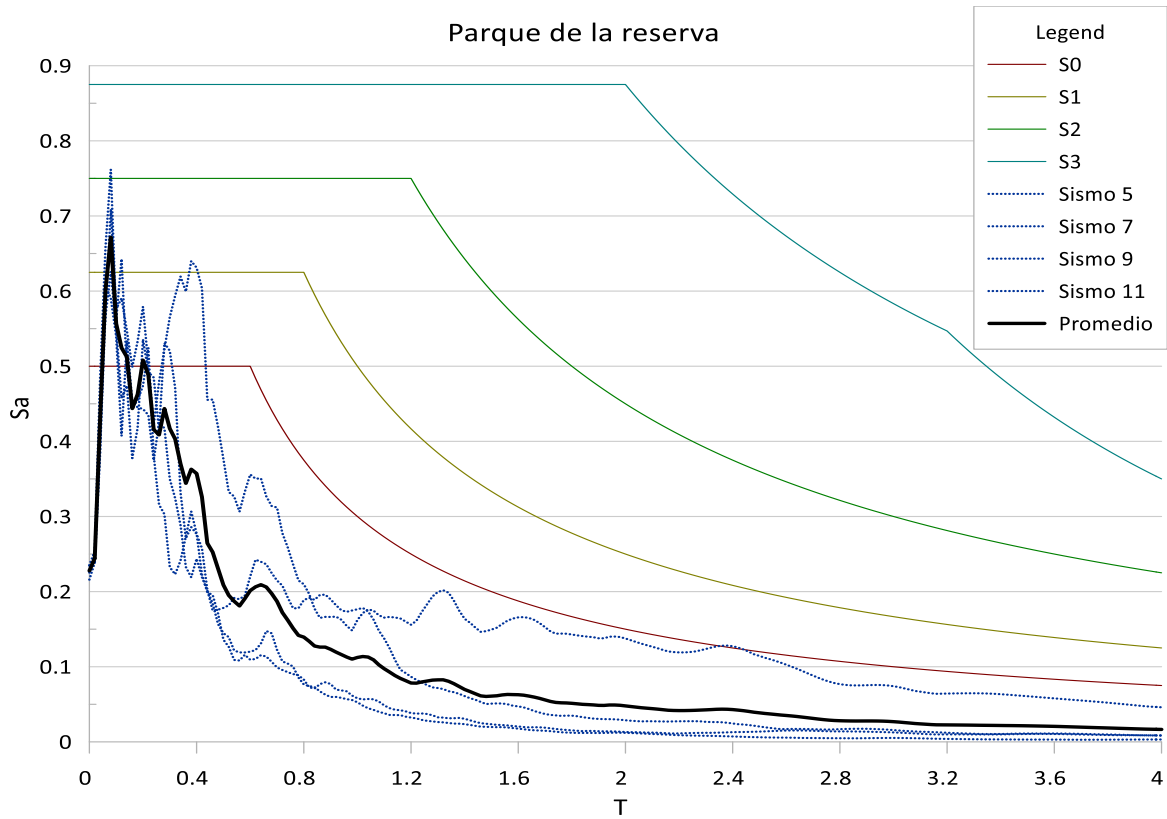


Figura 66 - Parque de la reserva – s2

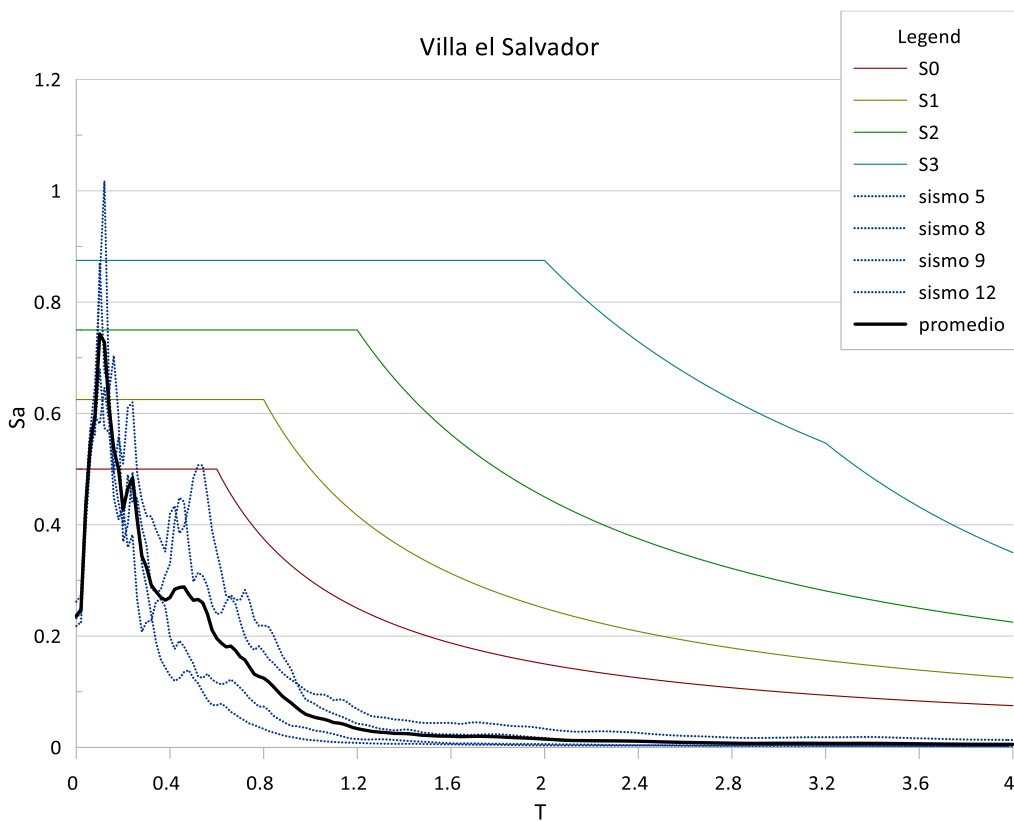


Figura 67 - Villa el salvador – s2

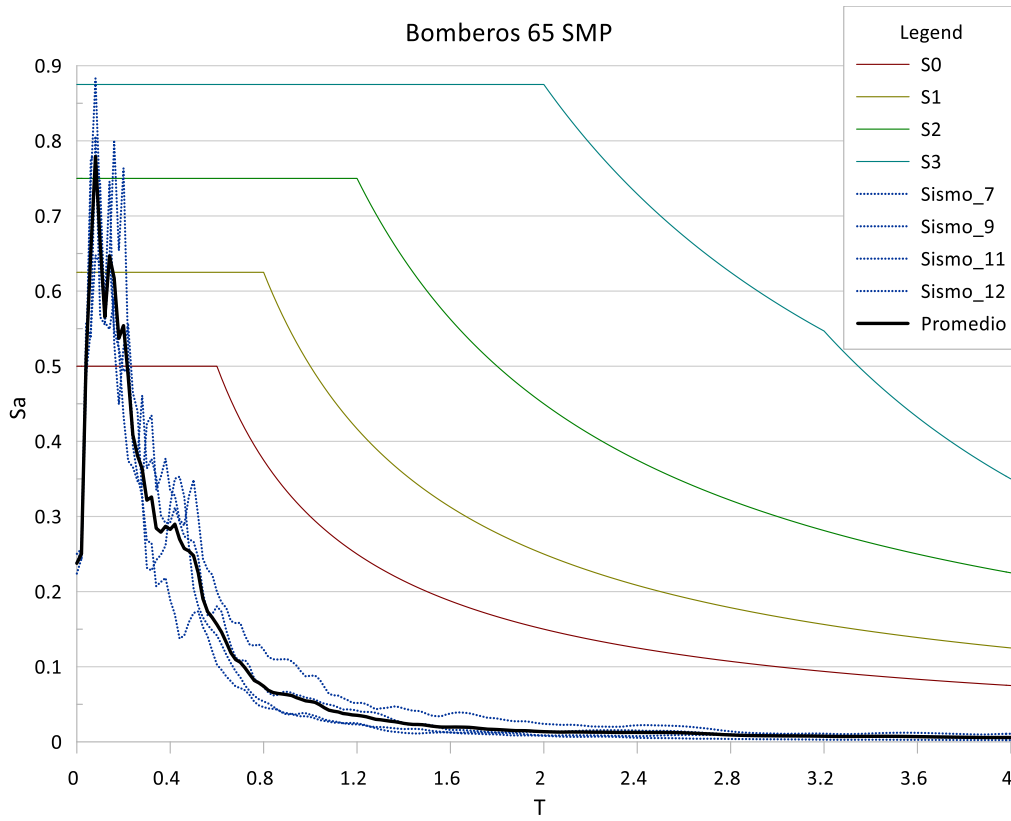


Figura 68 - Bomberos 65 SMP – S3

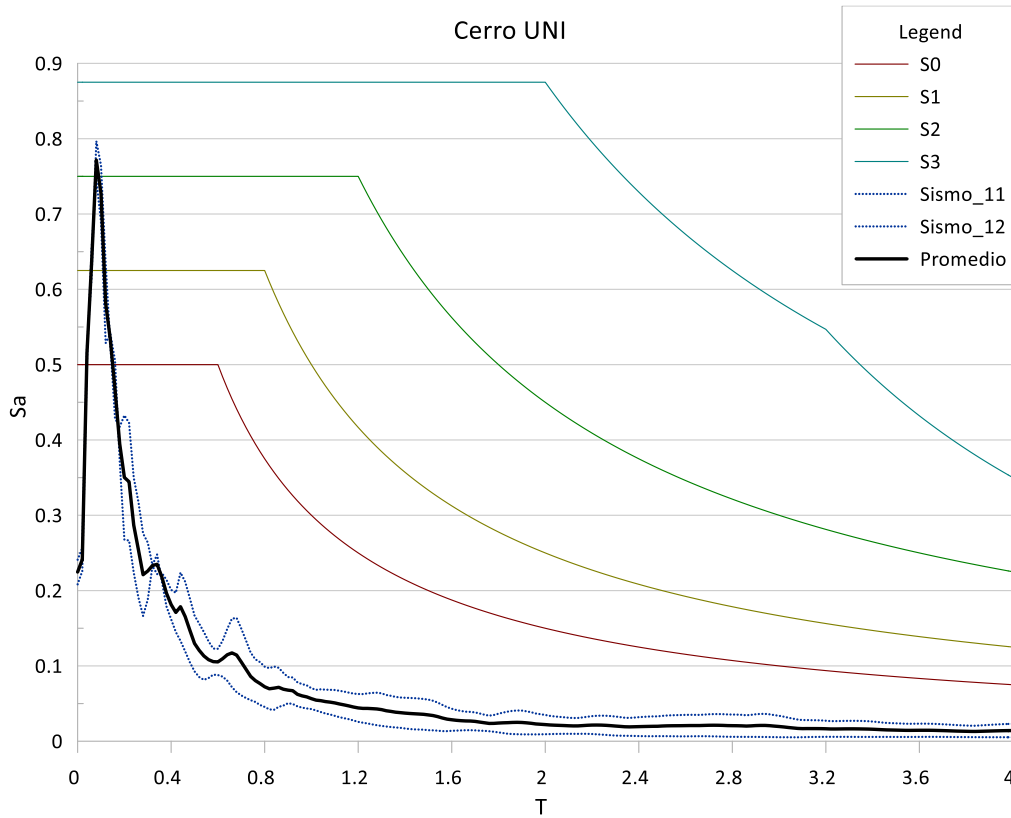


Figura 69 - Cerro UNI – S3

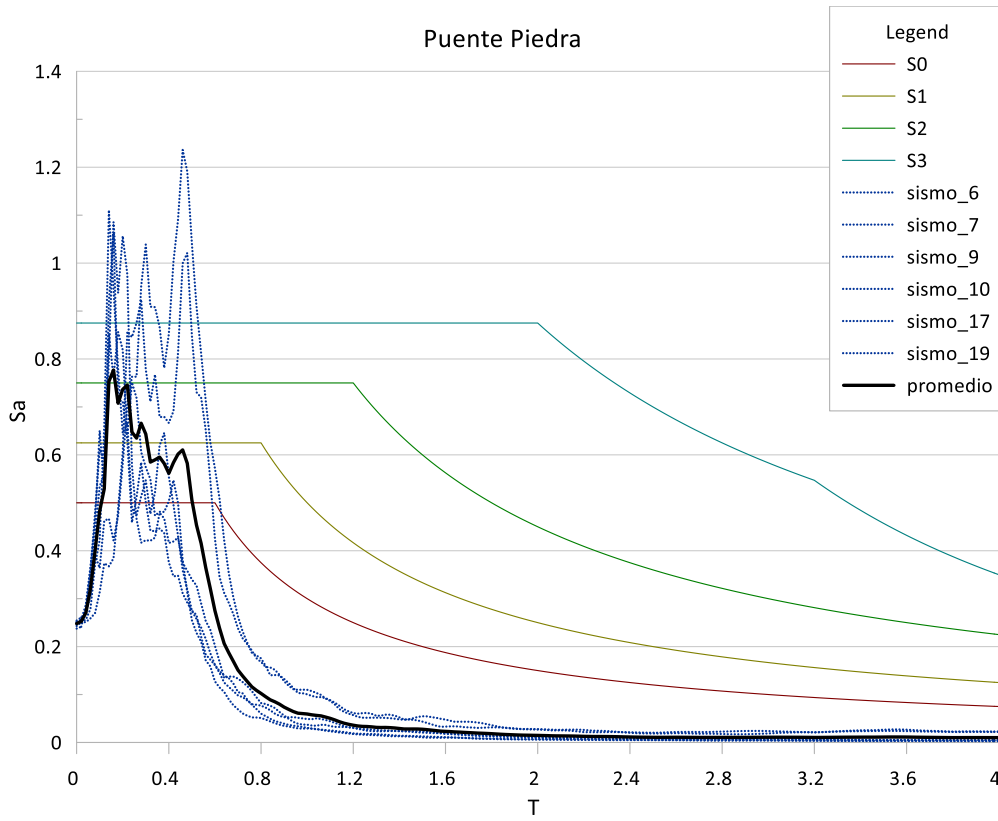


Figura 70 - Puente piedra – s3

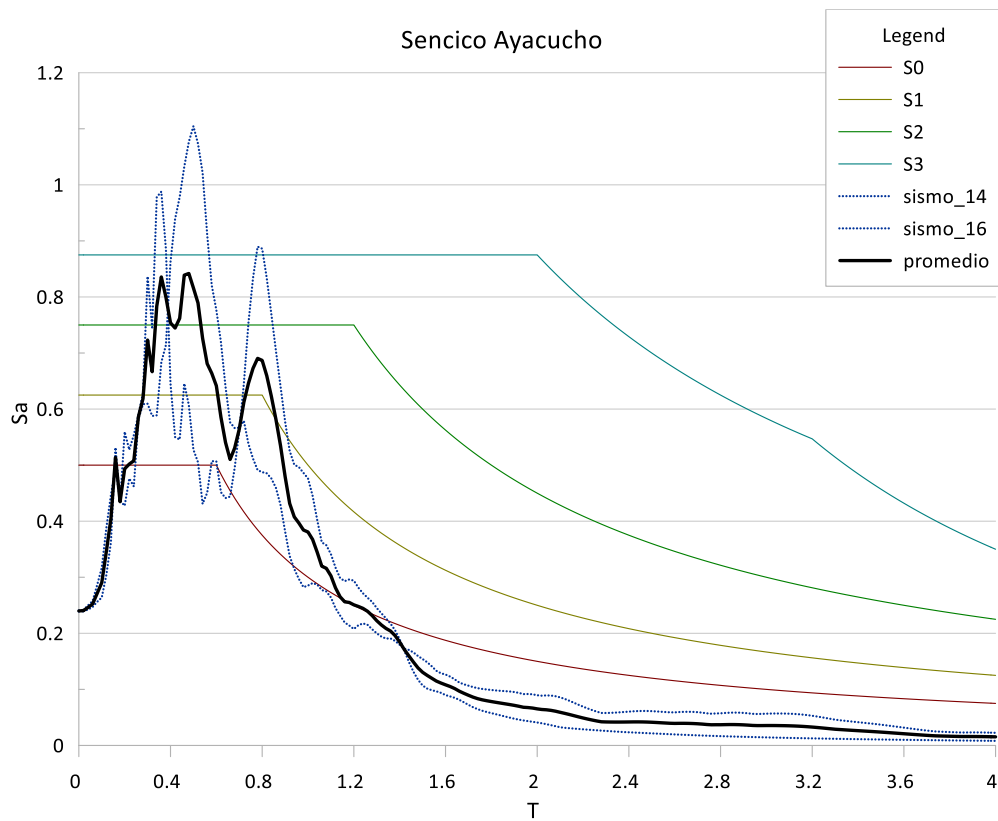


Figura 71 - SENCICO Ayacucho s3

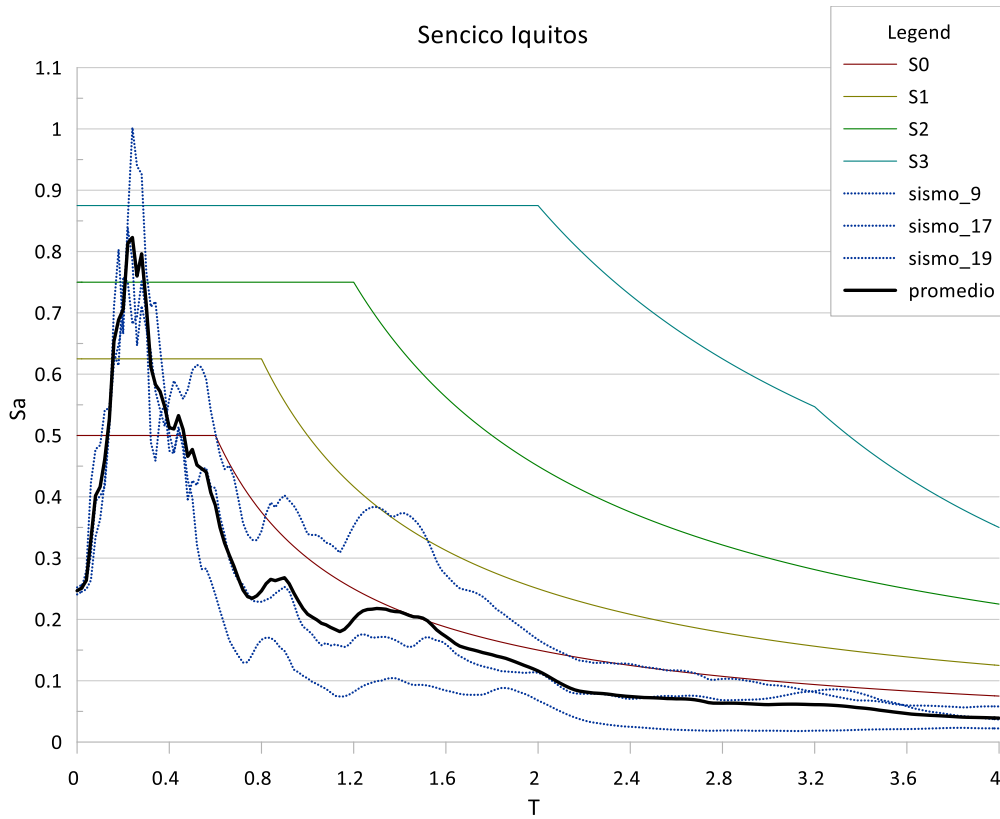


Figura 72 - SENCICO Iquitos – s3

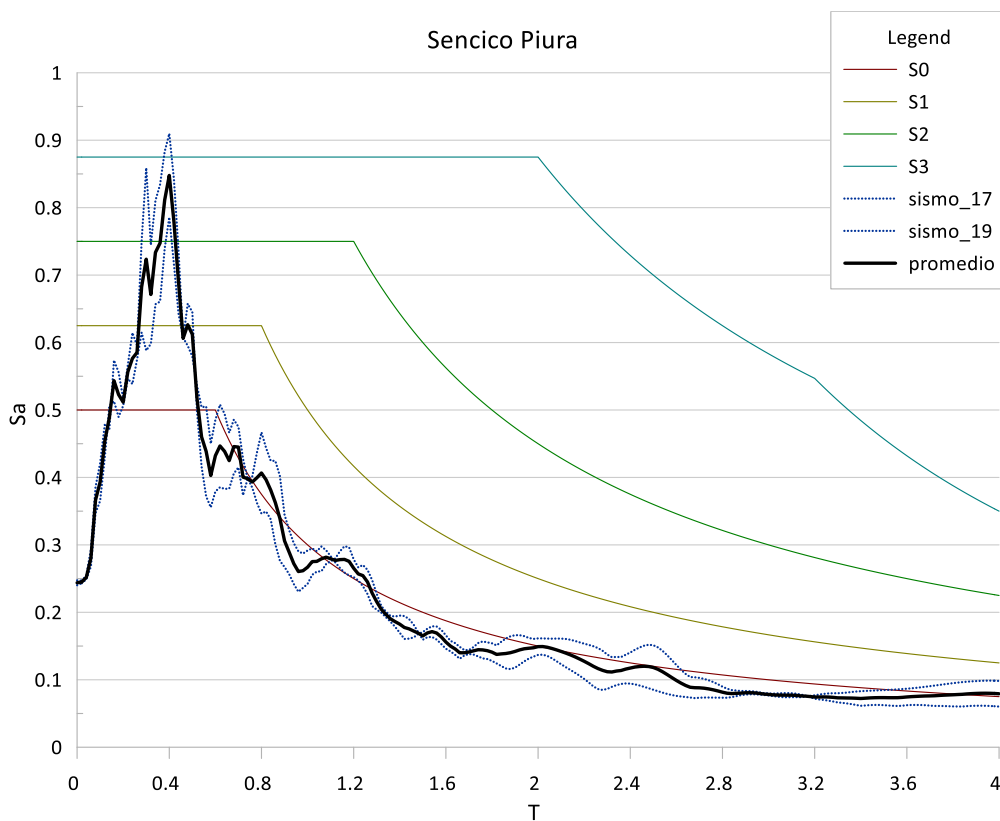


Figura 73 - SENCICO Piura – s3

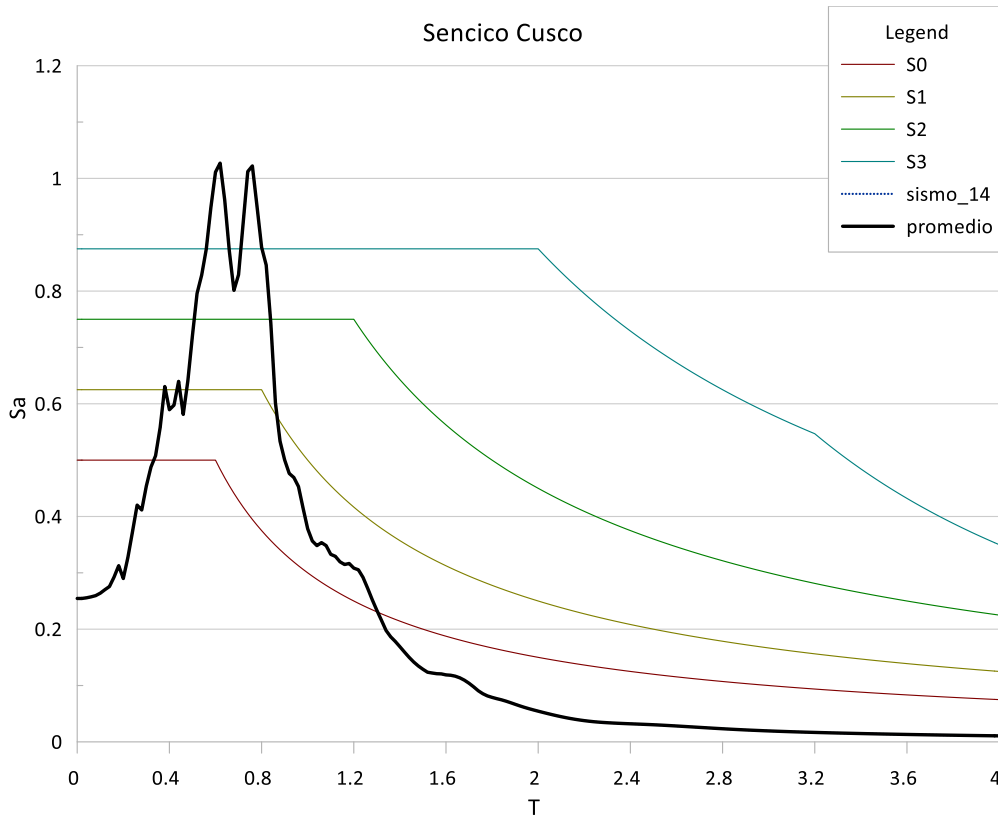


Figura 74 - SENCICO Cusco – s4

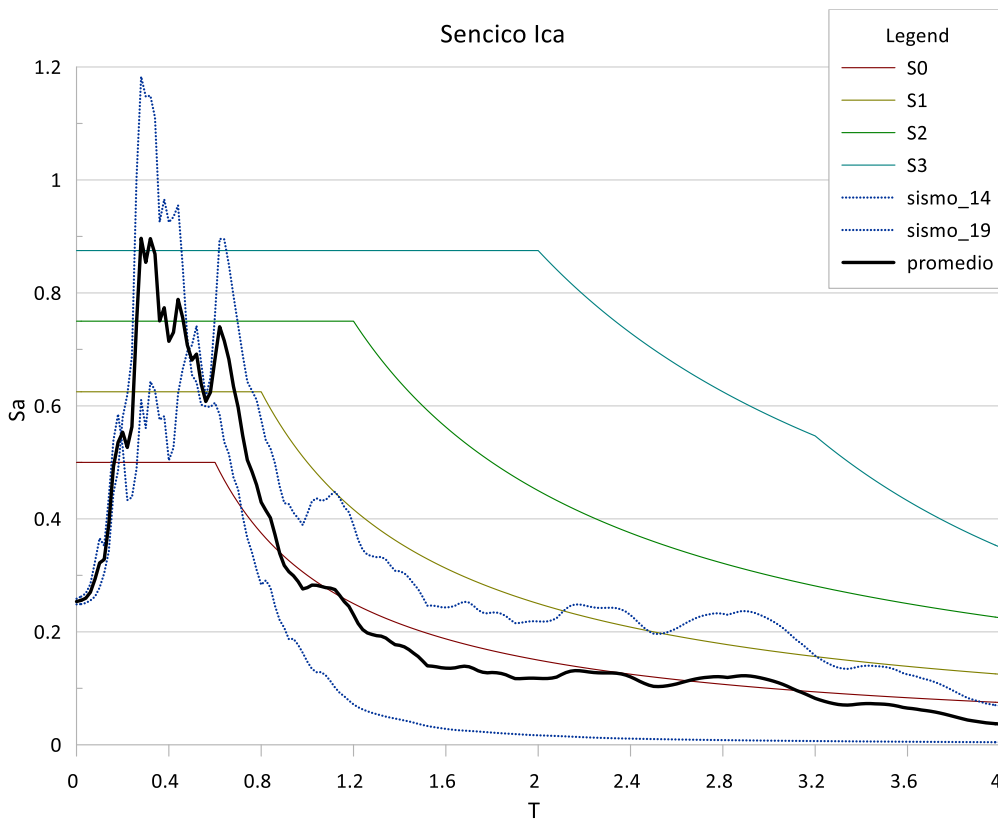


Figura 75 - SENCICO Ica – s4

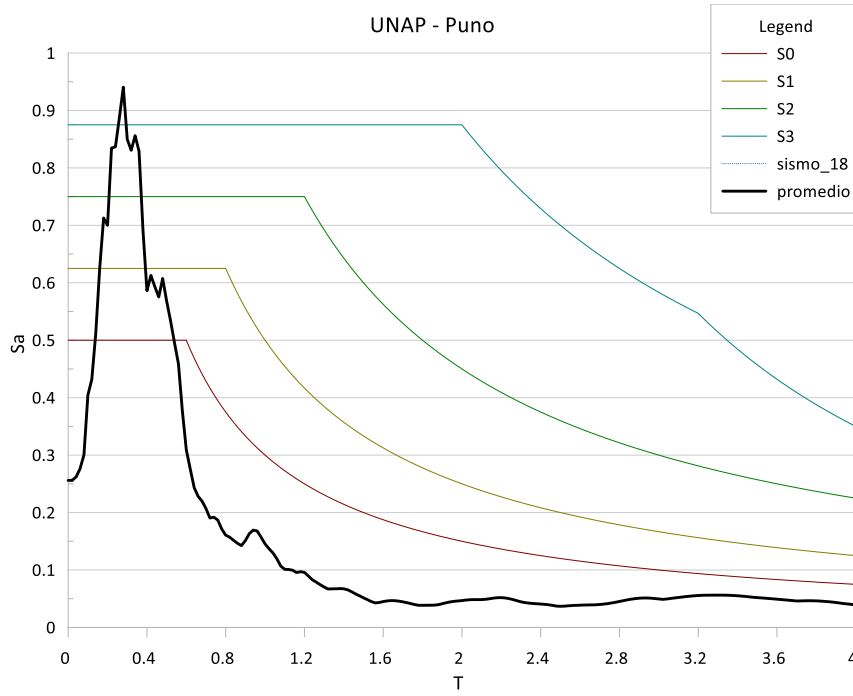


Figura 76 - UNAP – Puno – s4

MAPA DE ESTACIONES SISMICAS



Gráfico 77 – mapa de las estaciones de acelerógrafos del CISMID



**ESTACIONES Y SUS CORRESPONDIENTES PERFILES DE SUELO DE
ACUERDO A ESTA INVESTIGACIÓN**

Nombre de la estacion	Departamento	Ciudad	Perfil de Suelo
Estacion Bomberos 65 SMP	Lima	San Martin de porres	s3
Cerro UNI	Lima	Independencia	s3
Decanato FIC-UNI	Lima	Rimac	s1
Departamento de Estructuras	Lima	Rimac	s2
FIGMM	Lima	Rimac	s2
Jorge Alva Hurtado	Lima	Rimac	s2
Laboratorio de Hidráulica	Lima	Rimac	s1
Parque de la Reserva	Lima	Cercado de Lima	s2
Puente Piedra	Lima	Puente piedra	s3
San Antonio Marianistas	Lima	Callao	s1
Sencico Ayacucho	Ayacucho	Ayacucho	s3
Sencico Cusco	Cusco	Cusco	s4
Sencico Huancayo	Junin	Huancayo	s1
Sencico Ica	Ica	Ica	s4
Sencico Iquitos	Loreto	Iquitos	s3
Sencico Lima	Lima	San Borja	s2
Sencico Piura	Piura	Piura	s3
Sencico Trujillo	La libertad	Trujillo	s1
UNAP Puno	Puno	Puno	s4
Villa el Salvador	Lima	Villa el salvador	s2