



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**Tema:**

---

**“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS  
ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO - SECTOR MAYORISTA”**

---

**AUTOR:** Jessica Elizabeth Taipe Chicaiza

**TUTOR:** Ing. M.Sc Jorge Cevallos

**Ambato – Ecuador  
2018**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Yo, Ing. M.Sc Jorge Cevallos en calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de investigación bajo el tema: **“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO - SECTOR MAYORISTA”**, realizado por la Srta. Jessica Elizabeth Taibe Chicaiza Egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Mayo de 2018

---

Ing. M.Sc Jorge Cevallos  
**TUTOR DE TESIS**

## **AUTORÍA**

Yo, Jessica Elizabeth Taipe Chicaiza con CI. 0504260969, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo experimental bajo el tema: **“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO - SECTOR MAYORISTA”**, es de mi completa autoría.

Ambato, Mayo de 2018

---

Jessica Elizabeth Taipe Chicaiza

**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Mayo de 2018

---

Jessica Elizabeth Taipe Chicaiza

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal de calificación de grado aprueban el Trabajo Experimental, sobre el tema: **“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO - SECTOR MAYORISTA”**, de la egresada Jessica Elizabeth Taipe Chicaiza, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Mayo de 2018

Para constancia firman:

---

Ing. Mg. Maritza Ureña

---

Ing. Mg. Carlos Navarro

## DEDICATORIA

*El presente trabajo lo dedico en primer lugar a Dios por haberme regalado la vida, por ser la luz que guía mi camino día tras día, por darme fe y fortaleza para seguir adelante en los momentos más difíciles y haber logrado culminar esta meta tan anhelada.*

*A mis padres María y Pedro, por su amor y apoyo incondicional, por ser un ejemplo de lucha, perseverancia y esfuerzo, quienes con paciencia y dedicación me supieron guiar y apoyar durante este arduo camino para convertirme en una profesional.*

*A mi querida hermanita Anahí, por ser un angelito que llegó a cambiar y alegrar mi vida, por quererme, cuidarme, ser mi compañía y la mejor amiga.*

*A mi mejor amigo Nelson Hernan, por estar en los buenos, malos y peores momentos junto a mí, por brindarme su ayuda y apoyo incondicional en todo momento y por su valiosa amistad que estoy segura va a perdurar por muchos años más.*

*De manera especial también a mis amigas (o) Sofy, Kary, Mary y Jorge por su paciencia y comprensión, por brindarme su cariño y amistad sincera y desinteresada y por motivarme siempre a seguir adelante.*

*Jessica Elizabeth Taipe Chicaiza*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco profundamente a Dios, por cada día en el que me permitió despertar no solo con vida, sino que también me permitió continuar con salud, fuerzas, dedicación y sabiduría, por bendecirme en todo momento y proveerme de todo lo necesario para haber logrado la culminación de mi carrera universitaria.*

*A mis padres a los que tanto quiero y admiro, gracias por haber creído en mí, por amarme y cuidarme durante toda mi vida, por ser mi fuerza y motor para seguir adelante en los momentos más difíciles, este logro también es el de ustedes.*

*A mis mejores amigos Nelson, Sofy, Kary, Mary y Jorge, gracias por brindarme su amistad y ayuda desinteresada durante todo este tiempo, por tantos momentos llenos de alegrías, tristezas y enojos que hemos compartido, por sus consejos y palabras de aliento en los momentos que más los he necesitado. Gracias por ser los mejores amigos.*

*A la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por la formación obtenida, a los docentes quienes han impartido sus conocimientos y han colaborado con mi formación profesional.*

*Mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, el Ing. M.Sc Jorge Cevallos, por compartir su tiempo y sus conocimientos, por brindarme su valiosa ayuda y asesoramiento los cuales me han permitido culminar con mi proyecto.*

*A mi grupo de trabajo por haber colaborado en la realización de los ensayos de campo para este proyecto.*

*Jessica Elizabeth Taipe Chicaiza*

# ÍNDICE

## A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	II
AUTORÍA.....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
RESUMEN EJECUTIVO .....	XXI

## B. TEXTO

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL .....	1
1.2 ANTECEDENTES .....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1    Objetivo General .....	3
1.4.2    Objetivos Específicos .....	3
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>4</b>
<b>FUNDAMENTACIÓN .....</b>	<b>4</b>
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1.1 Tectónica de Placas .....	4
2.1.2 Peligro Sísmico .....	11
2.1.3 Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (GMPE`s).....	18
2.2 HIPÓTESIS .....	25
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS .....	25
2.3.1 Variable Dependiente .....	25
2.3.2 Variable Independiente .....	25



<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>26</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>26</b>
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	26
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	26
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	28
3.3.1 Variable Independiente .....	28
3.3.2 Variable Dependiente.....	29
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	30
3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	30
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>32</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS .....	32
4.1.1 Régimen Tectónico .....	32
4.1.1.1 Caracterización de la sismicidad en Ecuador.....	32
4.1.2 Selección de Fallas Geológicas .....	34
4.1.3 Características del Suelo .....	38
4.1.3.1 Ensayo de Penetración Estándar .....	46
4.1.4 Velocidad media de la onda de cortante Vs30 .....	52
4.1.4.1 Determinación de la Velocidad media de la onda de cortante Vs30.	54
4.1.5 Ecuaciones de atenuación para sismos intraplaca cortical. ....	60
4.1.5.1 Modelo Boore y Atkinson (2008) .....	60
4.1.5.2 Modelo Akkar y Bommer (2010).....	65
4.1.5.3 Modelo Kanno (2006) .....	67
4.1.6 Ecuaciones de atenuación para subducción. ....	70
4.1.6.1 Modelo Youngs (1997) .....	70
4.1.6.2 Modelo Zhao (2006).....	72
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	75
4.2.1 Magnitud de las fallas .....	75
4.2.2 Cálculo de Espectros .....	76
4.2.2.1 Espectros calculados con el modelo de Boore y Atkinson 2008..	76
4.2.2.2 Espectros calculados con el Modelo de Akkar y Bommer 2010..	78
4.2.2.3 Espectros calculados con el Modelo de Kanno 2006.....	79
4.2.2.4 Espectros calculados con el Modelo de Youngs 1997.....	80

4.2.2.5	Espectros calculados con el Modelo de Zhao 2006. ....	81
4.2.3	Espectros con los modelos para una falla.....	83
4.2.4	Espectros con la NEC-15 .....	89
4.2.5	Espectros de todos los modelos con la NEC-15.....	94
4.2.6	Espectro determinístico comparado con la NEC-15 .....	95
4.2.7	Comportamiento estructural de las estructuras tipo en el sitio de análisis. ....	99
4.2.7.1	Reducción de los espectros elásticos.....	99
4.2.7.2	Características estructurales de las edificaciones en el sitio. ....	100
4.2.7.3	Cálculo de los Períodos de Vibración .....	104
4.2.7.3.1	Período Fundamental de Vibración.....	104
4.2.7.3.2	Períodos límites de Vibración. ....	105
4.2.7.4	Verificación del comportamiento estructural .....	106
4.2.7.4.1	Períodos de Vibración .....	106
4.2.7.4.2	Modos de Vibración de la estructura .....	108
4.2.7.4.3	Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa en las direcciones principales.....	110
4.2.7.4.4	Derivas de Piso.....	112
4.2.7.4.5	Análisis dinámico.....	118
4.2.7.4.5.1	Validación del análisis dinámico .....	118
4.2.7.4.5.2	Derivas de piso .....	123
4.3	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	126
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>127</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>127</b>
5.1	CONCLUSIONES.....	127
5.2	RECOMENDACIONES .....	129
<b>C.</b>	<b>MATERIALES DE REFERENCIA .....</b>	<b>129</b>
1.	BIBLIOGRAFÍA.....	129
2.	ANEXOS.....	135

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> La tabla muestra las ecuaciones empleadas para el cálculo de la magnitud de Momento (M). Además las Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura y área de ruptura.....	19
<b>Tabla 2.</b> Operacionalización de la variable independiente.....	28
<b>Tabla 3.</b> Operacionalización de la variable dependiente.....	29
<b>Tabla 4.</b> Plan de recolección de información .....	30
<b>Tabla 5.</b> Eventos sísmicos con mayor intensidad en la ciudad de Ambato, ordenados cronológicamente con sus respectivas intensidades.....	34
<b>Tabla 6.</b> Código de las Fallas Geológicas seleccionadas en el Área de estudio (Sector Mayorista) .....	37
<b>Tabla 7.</b> La tabla muestra los datos de las Fallas Geológicas en estudio, como código, Tipo, Longitud y Distancia .....	38
<b>Tabla 8.</b> Clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) .....	39
<b>Tabla 9.</b> Se muestra los datos del Análisis Granulométrico realizado. (Pozo 1) .....	40
<b>Tabla 10.</b> Se muestra los datos del Análisis Granulométrico realizado. (Pozo 2) .....	41
<b>Tabla 11.</b> Datos del Análisis Granulométrico realizado. (Pozo 3).....	42
<b>Tabla 12.</b> Se muestra los datos del Análisis Granulométrico realizado. (Pozo 4) ...	44
<b>Tabla 13.</b> Se muestra los datos del Análisis Granulométrico realizado. (Pozo 5) ...	45
<b>Tabla 14.</b> Coordenadas U.T.M de las 5 perforaciones realizadas en el Sector Mayorista .....	49
<b>Tabla 15.</b> En la siguiente tabla se muestra una clasificación SUCS y los datos obtenidos en el Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 1 .....	49
<b>Tabla 16.</b> La tabla muestra una clasificación SUCS y los datos obtenidos en el Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 2 .....	50
<b>Tabla 17.</b> Se muestra una clasificación SUCS y los datos obtenidos en el Ensayo de	

Penetración Estándar – Pozo 3 .....	50
<b>Tabla 18.</b> La tabla muestra una clasificación SUCS y los datos obtenidos en el Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 4 .....	51
<b>Tabla 19.</b> Se muestra una clasificación SUCS y los datos obtenidos en el Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 5 .....	52
<b>Tabla 20.</b> Clasificación de los Perfiles de Suelo, descripción y definición del tipo de perfil A, B, C, D, E, F. ....	53
<b>Tabla 21.</b> Se muestran los valores de la Velocidad media de la onda de cortante ( $V_{s30}$ ) calculados y su respectivo tipo de perfil. – Pozo 1 .....	56
<b>Tabla 22.</b> Se muestran los valores de la Velocidad media de la onda de cortante ( $V_{s30}$ ) calculados y su respectivo tipo de perfil. – Pozo 2 .....	56
<b>Tabla 23.</b> Valores de la Velocidad media de la onda de cortante ( $V_{s30}$ ) calculados y su respectivo tipo de perfil. – Pozo 3 .....	57
<b>Tabla 24.</b> Valores de la Velocidad media de la onda de cortante ( $V_{s30}$ ) calculados y su respectivo tipo de perfil. – Pozo 4 .....	58
<b>Tabla 25.</b> Valores de la Velocidad media de la onda de cortante ( $V_{s30}$ ) calculados y su respectivo tipo de perfil. – Pozo 5 .....	58
<b>Tabla 26.</b> Valores promedio de $V_{s30}$ obtenidos en cada pozo, tipo de perfil de suelo y valor promedio total de $V_{s30}$ del área del proyecto. ....	59
<b>Tabla 27.</b> Valores de variables ficticias para diferentes tipos de fallas.....	62
<b>Tabla 28.</b> Valores empleados en el modelo de Boore y Atkinson .....	65
<b>Tabla 29.</b> Valores empleados en el modelo de Akkar y Bommer.....	67
<b>Tabla 30.</b> Valores empleados en el modelo de Kanno .....	70
<b>Tabla 31.</b> Valores empleados en el modelo de Youngs .....	72
<b>Tabla 32.</b> Valores empleados en el modelo de Zhao.....	74
<b>Tabla 33.</b> Magnitud de momento calculado ( $M_w$ ) de cada una de las Fallas Geológicas seleccionadas.....	75

<b>Tabla 34.</b> Valores de aceleraciones máximas y su variación porcentual. ....	82
<b>Tabla 35.</b> Valores de aceleraciones máximas y su variación porcentual .....	88
<b>Tabla 36.</b> Valores de los períodos y aceleraciones para el espectro determinístico. .....	95
<b>Tabla 37.</b> Coeficientes obtenidos para la reducción de los espectros elásticos.....	99
<b>Tabla 38.</b> Secciones de elementos estructurales.....	100
<b>Tabla 39.</b> Valores de $C_t$ y $\alpha$ utilizados para el cálculo del período fundamental de vibración.....	104
<b>Tabla 40.</b> Valores del factor Z y coeficientes de amplificación de suelo (Tipo de Perfil D) .....	105
<b>Tabla 41.</b> Valores de $T_o$ , $T_c$ , $T_1$ calculados. Además se presenta los valores de $T_2$ obtenidos en Etabs 2016 con los espectros ingresados. ....	107
<b>Tabla 42.</b> Participación Modal de la Masa - Estructura de 2 pisos .....	108
<b>Tabla 43.</b> Participación Modal de la Masa - Estructura de 3 pisos .....	109
<b>Tabla 44.</b> Participación Modal de la Masa - Estructura de 4 pisos .....	109
<b>Tabla 45.</b> Modos de Vibración para cada una de las estructuras. ....	109
<b>Tabla 46.</b> Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa - Estructura de 2 pisos .....	110
<b>Tabla 47.</b> Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa - Estructura de 3 pisos .....	111
<b>Tabla 48.</b> Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa - Estructura de 4 pisos .....	111
<b>Tabla 49.</b> Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa para cada una de las estructuras. ....	112
<b>Tabla 50.</b> Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para sus diferentes niveles. Estructura de 2 pisos. ....	114
<b>Tabla 51.</b> Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para sus diferentes	

niveles. Estructura de 3 pisos .....	115
<b>Tabla 52.</b> Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para sus diferentes niveles- Estructura de 4 pisos.....	116
<b>Tabla 53.</b> Tabla Resumen de las Derivas elásticas estáticas .....	116
<b>Tabla 54.</b> Derivas de piso elásticas e inelásticas estáticas para cada una de las estructuras .....	117
<b>Tabla 55.</b> Valores del Cortante dinámico para el Espectro de la NEC15. Estructura de 2 pisos .....	118
<b>Tabla 56.</b> Valores del Cortante dinámico para el Espectro determinístico. Estructura de 2 pisos.....	119
<b>Tabla 57.</b> Valores del Cortante estático para el Espectro de la NEC15 y Espectro determinístico. Estructura de 2 pisos .....	119
<b>Tabla 58.</b> Valores del Cortante dinámico para el Espectro de la NEC15. Estructura de 3 pisos .....	119
<b>Tabla 59.</b> Valores del Cortante dinámico para el Espectro determinístico. Estructura de 3 pisos.....	120
<b>Tabla 60.</b> Valores del Cortante estático para el Espectro de la NEC15 y Espectro determinístico. Estructura de 3 pisos .....	120
<b>Tabla 61.</b> Valores del Cortante dinámico para el Espectro de la NEC15. Estructura de 4 pisos .....	121
<b>Tabla 62.</b> Valores del Cortante dinámico para el Espectro determinístico. Estructura de 4 pisos.....	121
<b>Tabla 63.</b> Valores del Cortante estático para el Espectro de la NEC15 y Espectro determinístico. Estructura de 4 pisos .....	122
<b>Tabla 64.</b> Relación del cortante dinámico y estático para la validación de análisis dinámico.....	122
<b>Tabla 65.</b> Derivas elásticas dinámicas para el Espectro de la NEC15. Estructura de 2 pisos .....	123

<b>Tabla 66.</b> Derivas elásticas dinámicas para el Espectro determinístico. Estructura de 2 pisos .....	123
<b>Tabla 67.</b> Derivas elásticas dinámicas para el Espectro de la NEC15. Estructura de 3 pisos .....	124
<b>Tabla 68.</b> Derivas elásticas dinámicas para el Espectro determinístico. Estructura de 3 pisos .....	124
<b>Tabla 69.</b> Derivas elásticas dinámicas para el Espectro de la NEC15. Estructura de 4 pisos .....	125
<b>Tabla 70.</b> Derivas elásticas dinámicas para el Espectro determinístico. Estructura de 4 pisos .....	125
<b>Tabla 71.</b> Derivas de piso elásticas dinámicas con cada espectro ingresado en el sentido X y Y, para cada una de las estructuras .....	126

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Capas internas de la Tierra, se muestra la litosfera y la astenosfera. Además de la corteza oceánica y continental.....	4
<b>Figura 2.</b> Placas litosféricas y límites de placas. Se muestra las Placas Principales: Africana, Euroasiática, Australiana, Norteamericana, Sudamericana, Pacífica y Antártica. Microplacas: Cocos, Nazca, Caribe, Filipinas, Arábica, Somalia, Juan de Fuca.....	5
<b>Figura 3.</b> Límites divergentes. La figura muestra la separación de dos placas continentales las cuales se producen en las dorsales oceánicas, dando origen al suelo oceánico.....	6
<b>Figura 4.</b> Límites convergentes o zona de subducción. La figura muestra la placa oceánica introduciéndose debajo de la placa continental, es decir la Placa de Nazca se subducta bajo la Placa Sudamericana .....	6
<b>Figura 5.</b> Límites Transformantes. La figura muestra la separación de las placas Pacífica y la Norteamérica conocida como La Falla de San Andrés .....	7
<b>Figura 6.</b> Falla Normal. La figura muestra que el bloque de techo se desliza hacia abajo, mientras que el bloque de muro asciende, formando un ángulo de 60°.Además se muestra el mecanismo focal para este tipo de falla .....	8
<b>Figura 7.</b> Falla Inversa. La figura muestra que el bloque de techo asciende, mientras que el bloque de muro se desliza hacia abajo, formando un ángulo de 45°. Se muestra también su mecanismo focal .....	8
<b>Figura 8.</b> Falla de Transformación. La figura muestra que el primer bloque se desliza lateralmente respecto al otro bloque en dirección al plano de falla. Se puede observar también su mecanismo focal .....	9
<b>Figura 9.</b> Foco y Epicentro de un Terremoto.El foco es la zona del interior de la Tierra donde se produce el desplazamiento inicial. El epicentro es el punto de la superficie que está encima del foco. Además se muestra las ondas y el escarpe de falla.....	10
<b>Figura 10.</b> Mapa de Zonificación Sísmica del Ecuador, la imagen muestra las seis zonas sísmicas del Ecuador, caracterizada por el valor del factor de zona Z .....	13



<b>Figura 11.</b> Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño, obtenido a partir de los valores de la aceleración y el período de la estructura .....	15
<b>Figura 12.</b> Curvas de peligro sísmico para Nueva Loja. La figura muestra la curva de aceleración máxima esperada en el terreno (PGA) correspondiente a un valor de 0.11g y una tasa anual de excedencia es 0.002 (Período de retorno 475 años) .....	16
<b>Figura 13.</b> En la figura se muestra todas las Fallas Geológicas existentes en el Ecuador, es decir fallas corticales y de subducción .....	35
<b>Figura 14.</b> Fallas Geológicas existentes en la Provincia de Tungurahua.....	35
<b>Figura 15.</b> Fallas Geológicas existentes en la ciudad de Ambato .....	36
<b>Figura 16.</b> Fallas Geológicas seleccionadas en el Área de estudio (Sector Mayorista) .....	36
<b>Figura 17.</b> Distancia medida desde el punto centro del sitio de estudio hacia la falla Ambato.....	37
<b>Figura 18.</b> Sector Mayorista, ubicación de las 5 perforaciones realizadas en el área de estudio .....	48
<b>Figura 19.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson 2008, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas .....	77
<b>Figura 20.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Akkar y Boomer 2010, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas .....	78
<b>Figura 21.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Kanno 2006, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas .....	79
<b>Figura 22.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Youngs 1997, utilizando la falla de subducción.....	80
<b>Figura 23.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Zhao 2006, utilizando la falla de subducción.....	81
<b>Figura 24.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson-Akkar y Boomer- Kanno, para la falla Ambato .....	83

<b>Figura 25.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson-Akkar y Boomer- Kanno, para la falla Huachi .....	84
<b>Figura 26.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson-Akkar y Boomer- Kanno, para la falla Totoras.....	85
<b>Figura 27.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson-Akkar y Boomer- Kanno, para la falla Samanga .....	86
<b>Figura 28.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Youngs y Zhao, para la falla de Subducción.....	87
<b>Figura 29.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson-Akkar y Boomer- Kanno- NEC 15 para la falla Ambato.....	89
<b>Figura 30.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson-Akkar y Boomer- Kanno-NEC 15, para la falla Huachi .....	90
<b>Figura 31.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson-Akkar y Boomer- Kanno – NEC15, para la falla Totoras.....	91
<b>Figura 32.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson-Akkar y Boomer- Kanno- NEC 15, para la falla Samanga.....	92
<b>Figura 33.</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Youngs – Zhao- NEC 15, para la falla de Subducción .....	93
<b>Figura 34.</b> Espectros de aceleración obtenidos con todos los modelos mencionados, con todas las fallas corticales y de subducción y el espectro de la NEC 15 .....	94
<b>Figura 35.</b> Espectro determinístico comparado con el espectro de la NEC 15.....	97
<b>Figura 36.</b> Vista en planta de la estructura de 2 pisos.....	101
<b>Figura 37.</b> Vista en planta de la estructura de 3 pisos.....	102
<b>Figura 38.</b> Vista en planta de la estructura de 4 pisos.....	103
<b>Figura 39.</b> Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y para la estructura de 2 pisos .....	113
<b>Figura 40.</b> Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y para la estructura de 3 pisos .....	114

<b>Figura 41.</b> Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y para la estructura de 4 pisos .....	115
--	-----

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A</b> .....	135
----------------------	-----

<b>Fotografía 1.</b> Equipo utilizado para realizar el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) tales como martinete, trípode, tubos redondos, acoples, cabo de manila, muestreador. .....	135
---	-----

<b>Fotografía 2.</b> Muestreador.....	135
---------------------------------------	-----

<b>Fotografía 3.</b> Hincado del Martinete.....	136
---	-----

<b>Fotografía 4.</b> Trípode .....	136
------------------------------------	-----

<b>Fotografía 5.</b> Motor.....	137
---------------------------------	-----

<b>Fotografía 6.</b> Realizando ensayo de penetración estándar (SPT) .....	137
--	-----

<b>Fotografía 7.</b> Medición de la muestra de suelo del pozo 2 a una altura de 1m.....	138
---	-----

<b>Fotografía 8.</b> Muestra de suelo retenida en el muestreador. ....	138
--	-----

<b>Fotografía 9.</b> Muestras de suelo secas. ....	138
--	-----

<b>Fotografía 10.</b> Muestras de suelo colocadas en la tamizadora eléctrica. ....	139
--	-----

<b>Fotografía 11.</b> Pesar muestra de suelo. ....	139
--	-----

<b>Fotografía 12.</b> Estructura de 2 pisos empleada para ser modelada en Etabs 2016 V16. .....	140
--	-----

<b>Fotografía 13.</b> Estructura de 3 pisos empleada para ser modelada en Etabs 2016 V16. .....	140
--	-----

<b>Fotografía 14.</b> Estructura de 4 pisos empleada para ser modelada en Etabs 2016 V16. .....	141
--	-----

<b>ANEXO B</b> .....	142
<b>B- 1.</b> Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del período.....	142
<b>B- 2.</b> Coeficientes de escala de distancia ( $M_{ref} = 4,5$ y $R_{ref} = 1,0$ km para todos los períodos, excepto $R_{ref} = 5,0$ km para pga4nl) .....	143
<b>B- 3.</b> Coeficientes de escala de magnitud .....	144
<b>ANEXO C</b> .....	145
<b>C- 1.</b> Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción de Pseudoaceleración Espectral.....	145
<b>ANEXO D</b> .....	146
<b>D- 1.</b> Coeficientes de regresión para el modelo de eventos superficiales de PGA, PGV y espectros de respuesta de aceleración amortiguada del 5%.....	146
<b>ANEXO E</b> .....	148
<b>E- 1.</b> Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral horizontal (5% de amortiguación) para terremotos de subducción para suelo. ....	148
<b>ANEXO F</b> .....	148
<b>F- 1.</b> Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria. ....	148
<b>F- 2.</b> Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción.....	149

## RESUMEN EJECUTIVO

**TEMA:** “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO –SECTOR MAYORISTA”

**Autor:** Jessica Elizabeth Taipe Chicaiza

**Tutor:** Ing. M.Sc Jorge Cevallos

En el presente proyecto de investigación se calculó el periodo de vibración para tres estructuras tipo ubicadas en el área de estudio, también se obtuvo un espectro determinístico para este sector expresado como la aceleración de gravedad, para compararlo con el espectro de respuesta de la NEC.

Para determinar este proceso se realizaron los siguientes pasos: Identificar el régimen tectónico en el área de estudio, seleccionar las fallas geológicas con mayor longitud y las más cercanas que afectan al sitio de estudio, tales como la Falla Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y la falla de Subducción. Mediante el ensayo de penetración estándar (SPT) se calculó la velocidad media de la onda de cortante  $V_{s30}$  utilizando una correlación empírica entre la resistencia a la penetración estándar no corregida (N) y la velocidad de la onda de corte ( $V_s$ ). Se calculó la magnitud de momento para cada una de las fallas seleccionadas, basado en la metodología de Wells – Coppersmith, utilizando parámetros como la distancia al epicentro, hipocentro y profundidad focal. Por medio de las Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPEs) se obtiene espectros de aceleración y mediante una envolvente de aceleraciones máximas se obtiene el espectro determinístico, el cual se compara con el espectro de respuesta de la NEC-15.

Las aceleraciones dadas por el espectro determinístico para las edificaciones que tienen periodos estructurales entre 0.10s a 0.55s (1 a 5 pisos) superan al espectro de la NEC, lo que significa que estas estructuras presentan mayor grado de riesgo.

## ABSTRACT

In the present research project, the vibration period was calculated for three type structures located in the study area. A deterministic spectrum for this sector was also obtained, expressed as the acceleration of gravity, to compare it with the response spectrum of the NEC.

To determine this process, the following steps were taken: Identify the tectonic regime in the study area, select the geological faults with the longest and the closest ones that affect the study site, such as the Falla Ambato, Huachi, Totoras, Samanga and Subduction failure. By means of the standard penetration test (SPT) the average speed of the shear wave  $V_{s30}$  was calculated using an empirical correlation between the uncorrected standard penetration resistance (N) and the shear wave velocity ( $V_s$ ). the moment magnitude for each of the selected faults, based on the Wells - Coppersmith methodology, using parameters such as distance to the epicenter, hypocenter and focal depth.

By means of the Soil Motion Prediction Equations (GMPEs), acceleration spectra are obtained and by means of an envelope of maximum accelerations, the deterministic spectrum is obtained, which is compared with the response spectrum of the NEC-15.

The accelerations given by the deterministic spectrum for buildings that have structural periods between 0.10s to 0.55s (1 to 5 floors) exceed the spectrum of the NEC, which means that these structures present a higher degree of risk.

# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

“Estudio de Peligro Sísmico Determinista para las Estructuras del Cantón Ambato Sector Mayorista”

### **1.2 ANTECEDENTES**

Según Alvarado y Valdebenito consideran: Es importante llevar a cabo estudios de microzonificación sísmica para determinar las características dinámicas del suelo, estos estudios están ligados con las condiciones geológicas y geotécnicas.

Se cuenta con métodos numéricos y experimentales que ayudan a determinar dichas propiedades del suelo, esto contribuye a cuantificar el peligro sísmico a nivel local seleccionando así sitios más seguros para la correcta edificación. [1]

Según Aguiar establece: Existen importantes estudios de microzonificación sísmica que se han realizado en la ciudad de Quito, debido a que esta ciudad se encuentra asentada sobre un sistema de fallas ciegas activas constituyendo un gran peligro. Por este motivo se debe incrementar los factores de aceleraciones espectrales elásticas que pueden producirse en un sismo. Asimismo se han llevado a cabo estudios de refracción sísmica con la finalidad de determinar la velocidad de la onda de corte y los periodos de vibración del suelo. [2]

Según el Ing. Diego Quizanga en su tesis de magister considera: La ciudad de Quito se ve afectada por un sistema de fallas corticales considerando 5 segmentos como la de Puengasí, Ilumbisí-La Bota, Carcelén- El Inca, Bellavista- Catequilla y Tangahuilla. El espectro crítico está asociado al segmento de falla Ilumbisí Bota ubicada en el norte de la ciudad, cuyos valores de aceleraciones son altos en comparación con el espectro de la normativa.

Los espectros críticos obtenidos tienen valores de PGA y formas espectrales semejantes a lo establecido en la NEC, excepto el espectro para perfil tipo E que tiene

un  $V_{S_{30}}$  igual a 200 m/s, la NEC indica que para el perfil tipo E el  $V_{S_{30}}$  son menores a 180 m/s y para estos valores las ecuaciones de atenuación no son aplicables. [3]

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción establece: Nuestro país cuenta con seis zonas sísmicas, de las cuales el Nororiente presenta una amenaza sísmica intermedia mientras que el litoral presenta una amenaza sísmica muy alta. Estas zonas sísmicas están caracterizadas por el factor Z el cual representa la aceleración máxima esperada en roca para el sismo de diseño. Se ha realizado un estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años dando como resultado un mapa de zonificación sísmica. Además se definen seis tipos de perfil del suelo cuya clasificación corresponde a los 30m superiores del perfil, también se presentan coeficientes que amplifican las ordenadas del espectro de respuesta elástico, de desplazamientos y del comportamiento no lineal de los suelos. [4]

Según el Ing. Fabricio Cobos en su tesis establece: Ambato es considerada una zona de alto peligro sísmico y la falla geológica cortical de mayor magnitud es la de Ambato y Totoras de  $M_w=6.5$ , por su longitud, siendo la mayor respuesta la falla de Ambato por tener menor distancia a su epicentro, y la placa de nazca tiene una  $M_w= 8.9$  por su mayor longitud. Se debe tomar en cuenta que la respuesta espectral de aceleración variará en base a la distancia del epicentro, y para la falla de subducción dependerá la profundidad a la que se libere la energía para producir un sismo. [5]

El presente estudio pretende evaluar el peligro sísmico en base al área de estudio para determinar los espectros de respuesta en aceleración que se van a generar con los diferentes segmentos de las fallas seleccionadas.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Aproximadamente el 90% de los terremotos más grandes del mundo se producen a lo largo del Cinturón de Fuego del Pacífico, en donde las placas tectónicas se encuentran en constante movimiento y liberando energía, originando intensa actividad sísmica y volcánica. Ecuador es uno de los países que forma parte del Cinturón de Fuego por lo cual está expuesto a eventos sísmicos, y las edificaciones más propensas a sufrir daños



son aquellas que no cumplan con los requisitos mínimos de diseño establecidos por las normativas vigentes. Chile forma parte del Cinturón de Fuego y es donde se ha registrado uno de los mayores terremotos de la historia. [6]

El nivel de peligro sísmico en el Ecuador es relativamente alto, debido a que nuestro país se encuentra atravesado por el Cinturón de Fuego del Pacífico. La subducción de la placa de Nazca dentro de la Placa Sudamericana es la principal fuente de generación de sismos tectónicos en el país, por esta razón se ha planteado un mapa de zonificación sísmica donde se diferencia las diversas zonas de alto peligro sísmico, estas zonas son las más propensas a sufrir daños en las estructuras. [4] [7]

Debido a la existencia de las tres fallas geológicas determinadas por el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional la ciudad de Ambato es considerada una zona de alto peligro sísmico, por lo cual todo esto desencadena estructuras vulnerables y suelos no aptos para la construcción. En los límites con Tungurahua y Cotopaxi existe la presencia de fallas geológicas que representan el 30% de sismos en el Ecuador [8] [9]

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Realizar el estudio de Peligro Sísmico determinista para las estructuras del Cantón Ambato - Sector Mayorista.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Seleccionar las fallas activas que abarcan el Régimen Tectónico en base al área de estudio.
- Verificar el comportamiento estructural con tres estructuras tipo del sitio en análisis.
- Comparar el espectro obtenido con el espectro general dado por la NEC.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN

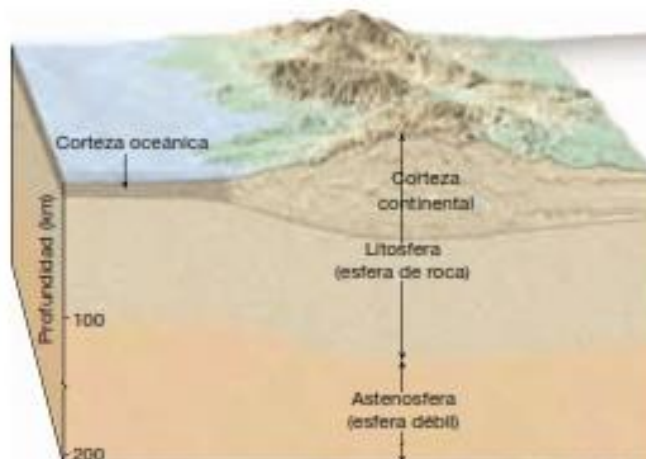
#### 2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

##### 2.1.1 Tectónica de Placas

En 1968 se unieron los conceptos de deriva continental y expansión del fondo oceánico para dar como resultado a una teoría mucho más completa conocida como tectónica de placas. Ésta teoría señala que la capa externa de la tierra, denominada litosfera, está fragmentada por una serie de placas, las cuales se deslizan sobre un estrato del manto superior llamado astenosfera, dando lugar a esfuerzos y deformaciones originando los terremotos.

Las placas de la litosfera son más delgadas en los océanos donde su grosor varía entre unos pocos kilómetros, mientras que la litosfera continental tiene un grosor de entre 100 y 150 kilómetros. [10]

**Figura 1.** Capas internas de la Tierra, se muestra la litosfera y la astenosfera. Además de la corteza oceánica y continental

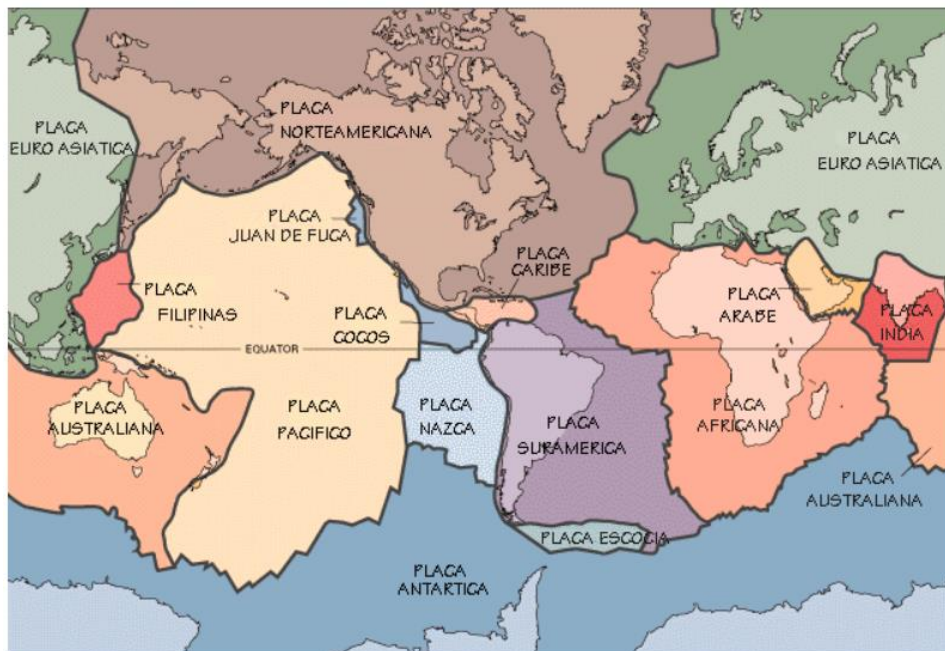


**Fuente:** Tarbuck, E. Lutgens, F. Ciencias de la Tierra

Las placas litosféricas se dividen según su tamaño en:

- **Placas principales:** Africana, Euroasiática, Australiana, Norteamericana, Sudamericana, Pacífica y Antártica.
- **Microplacas:** Cocos, Nazca, Caribe, Filipinas, Árabe, Somalia, Juan de Fuca. [11]

**Figura 2.** Placas litosféricas y límites de placas. Se muestra las Placas Principales: Africana, Euroasiática, Australiana, Norteamericana, Sudamericana, Pacífica y Antártica. Microplacas: Cocos, Nazca, Caribe, Filipinas, Árabe, Somalia, Juan de Fuca

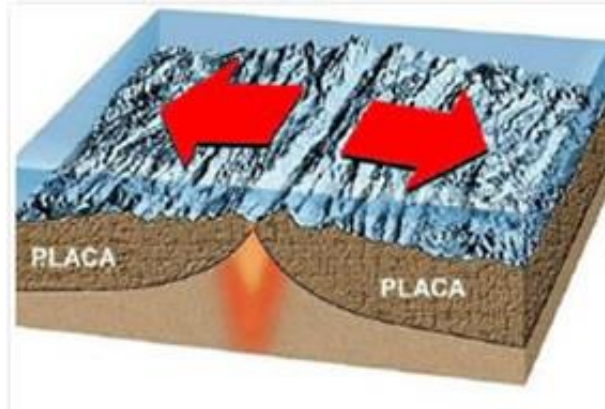


**Fuente:** Tolson, G. Instituto de Geología UNAM

La litosfera está rota en numerosos fragmentos, llamados placas y estas placas presentan 3 tipos de límites, divergentes, convergentes y transformantes.

- **Límites divergentes:** Se denominan también constructivos o dorsales, ocurre cuando dos placas se separan y el material del manto asciende dando origen a un nuevo suelo oceánico. Un ejemplo es la Cordillera Centro - Atlántica. [10]

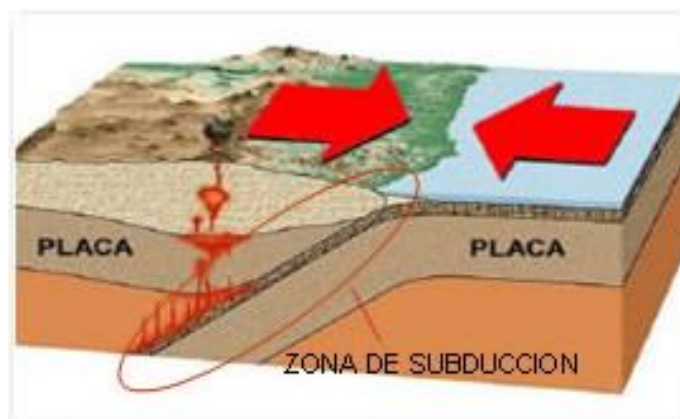
**Figura 3.** Límites divergentes. La figura muestra la separación de dos placas continentales las cuales se producen en las dorsales oceánicas, dando origen al suelo oceánico



**Fuente:** Servicio Geológico Mexicano. Tectónica de Placas.

- **Límites convergentes:** Se denominan también zonas de subducción, fosas o bordes destructivos, sucede cuando dos placas chocan debido a que éstas tienen movimientos con direcciones opuestas, la placa oceánica se introduce debajo de la continental, que es finalmente reabsorbida en el interior del manto generando magma que asciende a la superficie, dando origen a la formación de montañas, actividad sísmica y depósitos minerales. [10]

**Figura 4.** Límites convergentes o zona de subducción. La figura muestra la placa oceánica introduciéndose debajo de la placa continental, es decir la Placa de Nazca se subducta bajo la Placa Sudamericana



**Fuente:** Servicio Geológico Mexicano. Tectónica de Placas.

- **Límites o fallas transformantes:** Se produce cuando dos placas se deslizan lateralmente una respecto de la otra, sin producción o destrucción de litosfera. Pero ésta zona es idónea de sufrir numerosos sismos superficiales debido al rozamiento, por ejemplo, la Falla de San Andrés, que separa las placas Pacífica y la de Norteamérica. [10]

**Figura 5.** Límites Transformantes. La figura muestra la separación de las placas Pacífica y la Norteamérica conocida como La Falla de San Andrés



**Fuente:** Servicio Geológico Mexicano. Tectónica de Placas

### Fallas Geológicas

Las placas tectónicas están sometidas a grandes tensiones lo que genera la ruptura de bloques de rocas en la corteza terrestre, formando así las llamadas fallas geológicas. El plano de falla es la zona de ruptura que generalmente tiene una superficie plana definida y su formación va acompañada de un deslizamiento tangencial de las rocas respecto a ese plano.

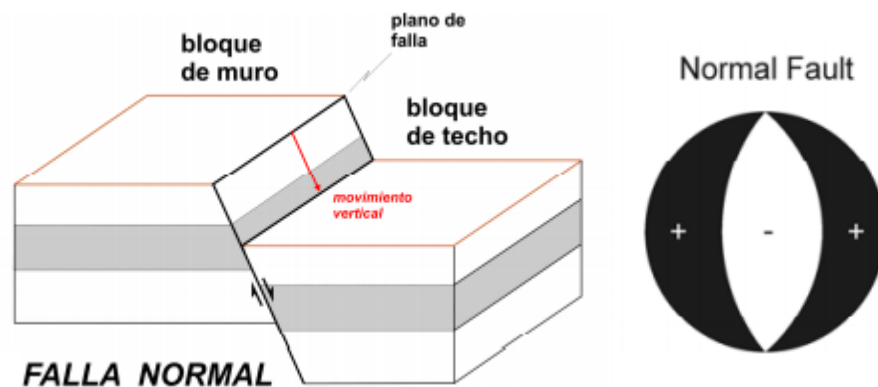
Las fallas pueden ser activas e inactivas. La falla activa es la que tiene mayor probabilidad de producir un movimiento (terremoto), a diferencia de las falla inactiva que no presenta ningún movimiento. [12]

### Tipos de Fallas:

- **Fallas Normales:** Se generan por tensión horizontal. Ocurre cuando existe un

deslizamiento del bloque superior en dirección del plano de la falla en forma descendente, suele tener un ángulo de  $60^\circ$  respecto a la horizontal. [12]

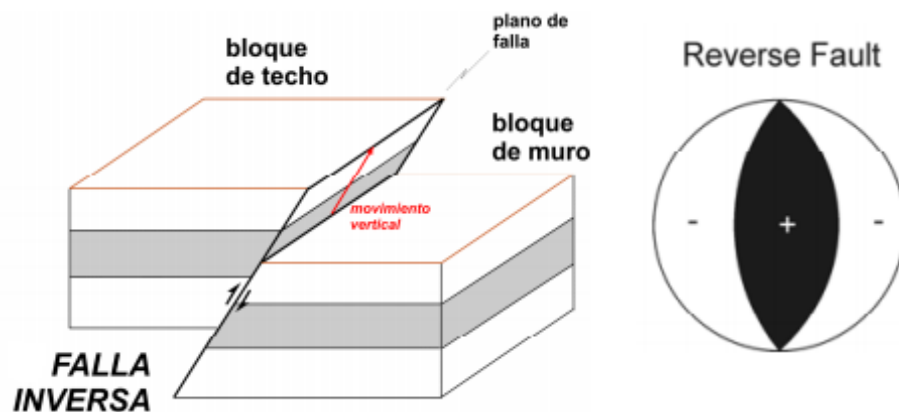
**Figura 6.** Falla Normal. La figura muestra que el bloque de techo se desliza hacia abajo, mientras que el bloque de muro asciende, formando un ángulo de  $60^\circ$ . Además se muestra el mecanismo focal para este tipo de falla



**Fuente:** Giner, J. Pozo, M. Complementos de Geología y Biología.

- **Fallas Inversas:** Se generan por compresión horizontal. Ocurre cuando existe un deslizamiento del bloque superior en dirección del plano de la falla en forma ascendente, tiene un ángulo menor a  $45^\circ$ . [12]

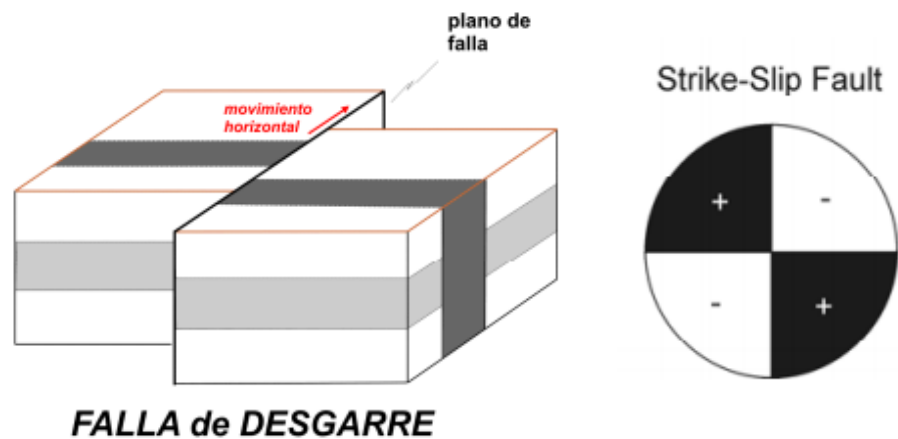
**Figura 7.** Falla Inversa. La figura muestra que el bloque de techo asciende, mientras que el bloque de muro se desliza hacia abajo, formando un ángulo de  $45^\circ$ . Se muestra también su mecanismo focal



**Fuente:** Giner, J. Pozo, M. Complementos de Geología y Biología.

- **Fallas de Transformación:** Este tipo de fallas tiene un movimiento horizontal el cuál es conocido como desgarre. Ocurre cuando un bloque se desliza lateralmente respecto al otro en dirección al plano de falla.[13]

**Figura 8.** Falla de Transformación. La figura muestra que el primer bloque se desliza lateralmente respecto al otro bloque en dirección al plano de falla. Se puede observar también su mecanismo focal

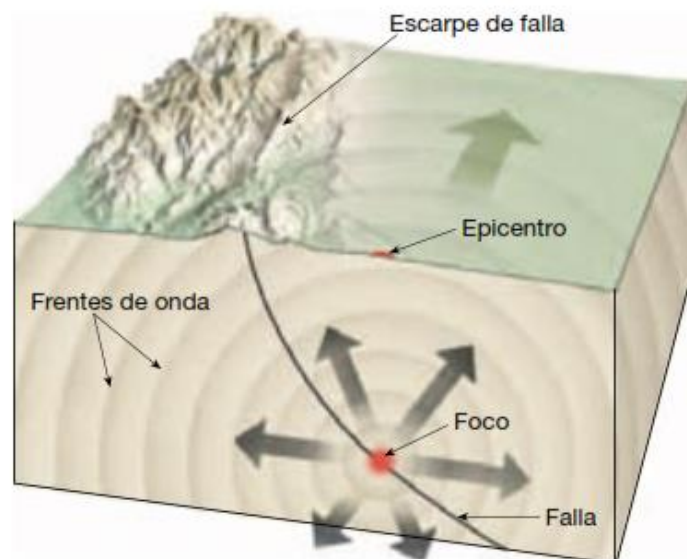


**Fuente:** Giner, J. Pozo, M. Complementos de Geología y Biología.

## Terremotos

Un terremoto es considerado como la vibración de la Tierra, ocasionado por la liberación de energía almacenada en el interior, ésta energía se dispersa en todas las direcciones desde su origen llamado foco o hipocentro, en forma de ondas, llegando a la superficie conocido como epicentro. [10]

**Figura 9.** Foco y Epicentro de un Terremoto. El foco es la zona del interior de la Tierra donde se produce el desplazamiento inicial. El epicentro es el punto de la superficie que está encima del foco. Además se muestra las ondas y el escarpe de falla



**Fuente:** Tarbuck, E. Lutgens, F. Ciencias de la Tierra.

Según su origen los sismos pueden clasificarse en naturales y artificiales. Los sismos que causan mayores efectos son los de origen natural ya que liberan mayor cantidad de energía, entre los cuales tenemos:

- **Sismos Tectónicos:** Se llevan a cabo por la interacción de placas tectónicas y liberación de energía concentrada. Tenemos dos clases, los intraplaca que se desarrollan en la parte interna de las placas y los interplaca que son generados por la fricción en las zonas de contacto entre las placas. [14]
- **Sismos Volcánicos:** Estos sismos se generan al mismo tiempo que las erupciones volcánicas, el principal motivo que los ocasiona es porque las rocas se fracturan debido a movimiento del magma. [14]
- **Sismos de Colapso:** Este tipo de sismos son de naturaleza pequeña, generados por derrumbamiento del techo de cavernas y minas. [14]



### **2.1.2 Peligro Sísmico**

Es la probabilidad de excedencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de una región determinada, de movimientos del suelo cuyos parámetros aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados. [4]

Para llevar a cabo una evaluación de peligro sísmico se debe caracterizar las zonas sísmo tectónicas, utilizando métodos probabilísticos para definir el comportamiento sísmico de una zona, las fuentes sísmicas y la atenuación del movimiento del suelo. Si se requiere realizar una estimación de la peligrosidad sísmica se la puede obtener a partir de la historia sísmica del sitio en estudio. [19]

#### **- Vulnerabilidad Sísmica**

La vulnerabilidad sísmica es considerada como una propiedad intrínseca de la estructura, expuesta a ser afectada o sufrir algún daño ante la ocurrencia de una actividad sísmica determinada, está relacionada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño. [15]

Los estudios de vulnerabilidad sísmica se aplican en cualquier obra de ingeniería civil, tales como edificaciones, carreteras, presas, puentes, etc. Ya que es necesario conocer la calidad estructural y su comportamiento ante un posible terremoto. La vulnerabilidad sísmica se puede evaluar realizando un estudio exhaustivo de las estructuras o un estudio a nivel urbano, para lo cual influyen algunos parámetros como, la calidad de la construcción, la resistencia de los materiales, interacción de los elementos estructurales, etc. [19]

Una estructura puede ser o no vulnerable independientemente de la peligrosidad sísmica del sitio de emplazamiento, es decir, una estructura puede ser vulnerable pero no estar en riesgo, a menos que se encuentre en una zona con peligrosidad sísmica. [19]

## - **Riesgo Sísmico**

Es la estimación de daños o pérdidas esperadas, que sufren las estructuras al estar expuestas a la acción sísmica durante su vida útil. [15]

El riesgo sísmico depende directamente de la peligrosidad y vulnerabilidad, ya que al ocurrir ambos factores se observa el nivel de riesgo sísmico existente en dicho lugar, es decir, una estructura localizada en una determinada zona con cierto peligro sísmico se ve afectada en menor o mayor medida dependiendo de la vulnerabilidad que posea. [19]

Los métodos de Evaluación del Peligro Sísmico son probabilistas y deterministas.

### **Método Probabilista:**

El método probabilista considera los efectos de todos los sismos que puedan ocurrir en un sitio de emplazamiento durante el tiempo de vida útil, y están asociados a un valor de probabilidad, obteniendo una evaluación más completa de la amenaza sísmica. [16]

### **Método Determinista:**

El método determinista considera un escenario sobre el cual se basa la evaluación del peligro del movimiento sísmico, se refiere a la ocurrencia de un terremoto, el más destructivo, en un lugar determinado. [17]

El método determinístico se realiza en los siguientes pasos:

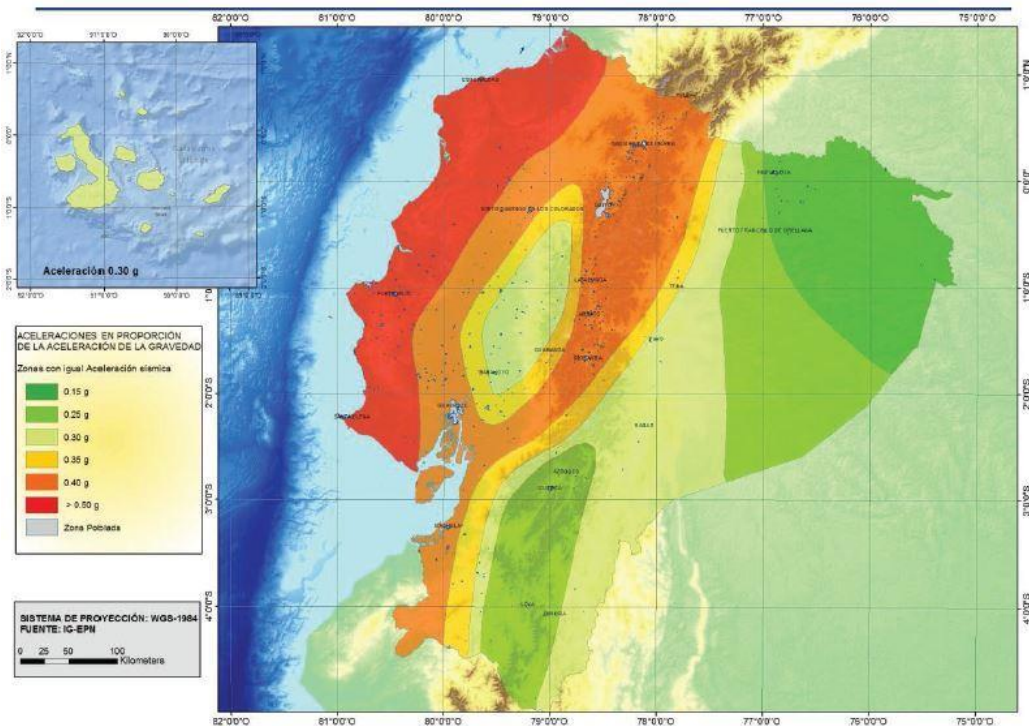
- a) Definición del área de estudio e identificación de todas las fuentes capaces de producir sismos significativos en el sitio de estudio.
- b) Selección de la distancia, tomada desde la fuente hasta el área de estudio, ésta distancia puede ser tomada desde el epicentro o hipocentro, dependiendo de las ecuaciones de atenuación utilizadas. Es importante tener en cuenta que se debe tomar la menor distancia entre la fuente y el área de estudio.

- c) Estimación del terremoto que produzca los mayores niveles de movimiento, expresado en magnitud.
- d) Determinación del peligro sísmico, debido a la presencia de fuentes sísmicas en el área de estudio se producirá un sismo con una magnitud significativa, los valores de aceleración, velocidades y ordenadas se obtienen mediante las Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPE's). [17]

### Zonificación Sísmica en Ecuador

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI. [4]

**Figura 10.** Mapa de Zonificación Sísmica del Ecuador, la imagen muestra las seis zonas sísmicas del Ecuador, caracterizada por el valor del factor de zona Z



**Fuente:** Peligro Sísmico. NEC\_SE\_DS 2015

El mapa reconoce que la principal fuente de generación de energía sísmica en el Ecuador es el hecho de la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana. A este hecho se añade un complejo sistema de fallas local superficial que produce sismos importantes en gran parte del territorio ecuatoriano.

El estudio de peligro sísmico fue realizado de manera integral para todo el territorio nacional, de acuerdo con las metodologías actuales usadas a nivel mundial y a la disponibilidad de la información a nivel local, incluyendo: [4]

- La evaluación de los principales eventos históricos acompañada de un estudio moderno de re-evaluación de la magnitud y localización de dichos eventos.
- El estudio de las principales fuentes sísmicas conocidas (corticales y de subducción) y sus mecanismos focales, que junto con la sismicidad y neotectónica, permitió modelar la geometría de las fuentes sismo genéticas sus parámetros sismológicos.
- La utilización de las ecuaciones de predicción, validadas por el Global Earthquake Model, para las fuentes intraplaca (entre ellas las de Boore y Atkinson, 2008; Akkar y Boomer, 2010; Kanno et. al., 2006; Bindi et. al., 2009) y para las fuentes de subducción (Youngs et. el., 1997; Atkinson y Boore, 2003; Kanno et. al., 2006; McVerry et. al., 2006; Lin y Lee, 2008; Zhao et.al., 2006). [4]

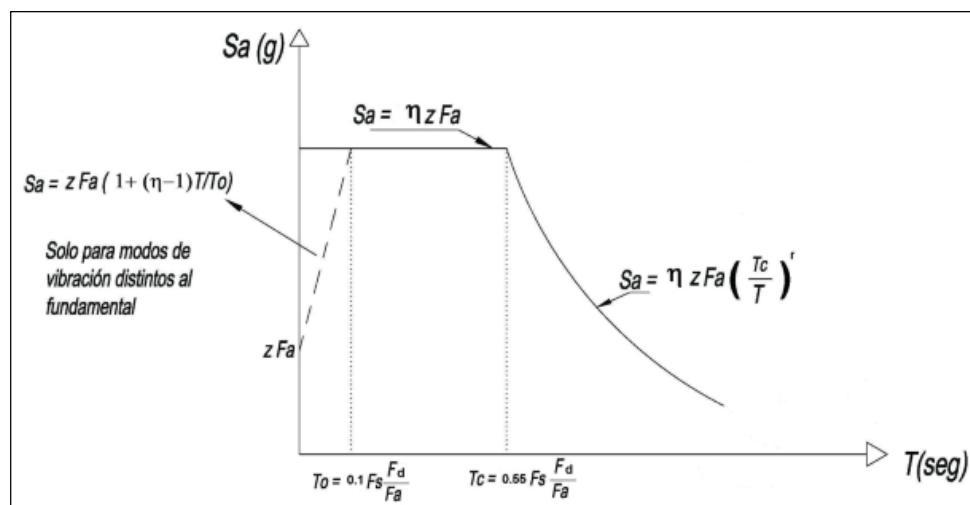
### **Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.**

Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%. El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura. [4]

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones  $S_a$ , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, consistente con:

- **El factor de zona sísmica Z.** La NEC 2015 proporciona un listado de las poblaciones ecuatorianas y su valor del factor Z. [4]
- **El tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura.** Se definen seis tipos de perfil de suelo, cuyos parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores del perfil para los perfiles tipo A, B, C, D, E. Para el perfil tipo F se aplican otros criterios, la respuesta no debe limitarse a los 30 m superiores del perfil. [4]
- **La consideración de los valores de los coeficientes de amplificación de suelo Fa, Fd, Fs.** Se presentan los valores del coeficiente Fa que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, Fd que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de desplazamientos y Fs que considera el comportamiento no lineal de los suelos.[4]

**Figura 11.** Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño, obtenido a partir de los valores de la aceleración y el período de la estructura



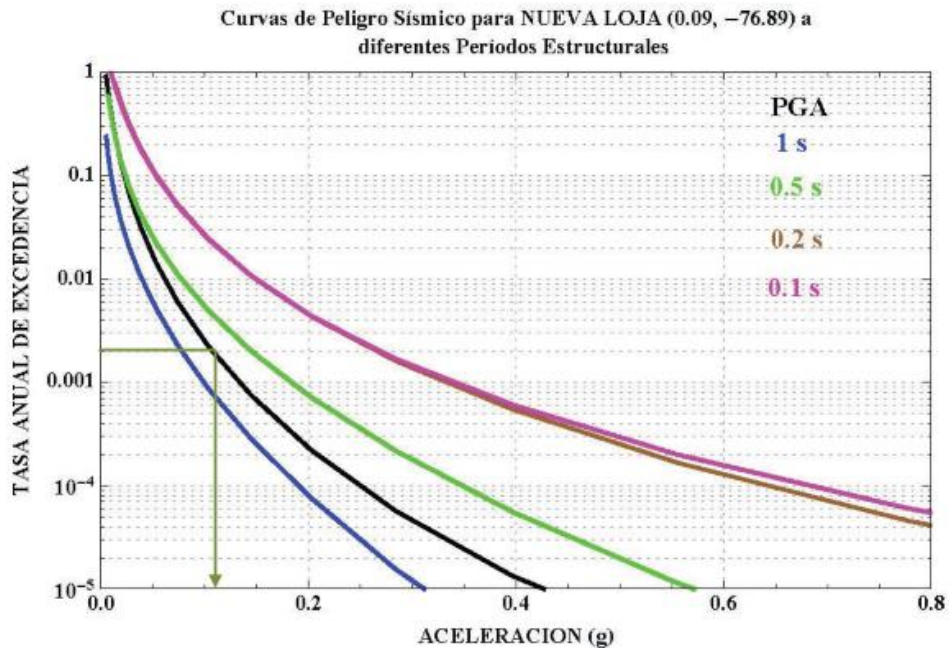
**Fuente:** Peligro Sísmico. NEC\_SE\_DS 2015.

## Curvas de Peligro Sísmico

Para el diseño de estructuras de ocupación especial, estructuras esenciales, puentes, obras portuarias y otras estructuras diferentes a las de edificación; es necesario utilizar diferentes niveles de peligro sísmico con el fin de verificar el cumplimiento de diferentes niveles de desempeño. [4]

Para definir los diferentes niveles de aceleración sísmica esperada en roca, se proporcionan en las curvas de peligro sísmico probabilista para cada capital de provincia, en donde se relaciona el valor de la aceleración sísmica en el terreno (PGA) con un nivel de probabilidad anual de excedencia. El periodo de retorno correspondiente es el inverso de la probabilidad anual de excedencia. Además se incluye también las curvas de aceleraciones máximas espectrales para períodos estructurales de 0.1, 0.2, 0.5 y 1.0 segundos. [4]

**Figura 12.** Curvas de peligro sísmico para Nueva Loja. La figura muestra la curva de aceleración máxima esperada en el terreno (PGA) correspondiente a un valor de 0.11g y una tasa anual de excedencia es 0.002 (Período de retorno 475 años)



**Fuente:** Peligro Sísmico. NEC\_SE\_DS 2015

## **Período de Vibración**

Es el tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico ondulatorio, o vibratorio, para que el sistema vibratorio vuelva a su posición original considerada luego de un ciclo de oscilación. El Período de Vibración Fundamental es el mayor período de vibración de la estructura en la dirección horizontal de interés. [4]

El período de vibración aproximativo de la estructura T, para cada dirección principal, será estimado a partir de 2 métodos. [4]

### **a. Método 1**

Para estructuras de edificación, el valor de T puede determinarse de manera aproximada mediante la expresión:

$$T = C_t * h n^\alpha$$

**Donde:**

**Ct:** Coeficiente que depende del tipo de edificio.

**hn:** Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

**T:** Período de vibración.

### **b. Método 2**

El período fundamental T puede ser calculado, utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes, por medio de un análisis modal. [4]

## **Aceleración Sísmica**

La aceleración sísmica consiste en una medición directa de las aceleraciones que sufre la superficie del suelo, dicho valor es utilizado para establecer normativas sísmicas y zonas de riesgo sísmico. [19]

El daño en las edificaciones durante un terremoto, está relacionado con la velocidad y la aceleración sísmica. En terremotos moderados, la aceleración es un indicador preciso del daño, mientras que en terremotos muy severos la velocidad sísmica adquiere una mayor importancia. [19]

Se conoce al PGA (Peak Ground Acceleration) como la Aceleración sísmica máxima en el terreno. [4]

### **2.1.3 Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (GMPE`s)**

#### **Atenuación Sísmica**

Es la disminución de la amplitud de las ondas sísmicas. Las leyes de atenuación explican la variación de la intensidad del movimiento del terreno, la cual se encuentra en función de la magnitud y de la distancia a la fuente sísmica. Las leyes de atenuación están dadas en términos de la aceleración máxima (PGA) y de las ordenadas espectrales del espectro de aceleraciones (Sa). [18]

#### **Magnitud de un sismo**

La magnitud es una medida cuantitativa de la energía liberada por un terremoto en forma de ondas sísmicas, que son registradas por un sismógrafo. La escala que más se utiliza es la magnitud local de Richter. [19]

#### **Magnitud de Momento**

Es la cantidad de energía liberada en un sismo a partir del Momento Sísmico. El momento de un terremoto o momento sísmico se utiliza para medir el tamaño de un



terremoto. [18] [19]

La magnitud de momento se obtendrá por medio de Wells – Coppersmith, nos dice: Los análisis probabilistas y deterministas, requieren una evaluación del futuro potencial del terremoto en una región. Es necesario estimar el tamaño de los terremotos más grandes que podrían ser generados por una falla particular o una fuente de terremoto. El futuro potencial de terremoto de un fallo comúnmente se evalúa a partir de estimaciones de parámetros de ruptura de falla, ya que están relacionados con la magnitud del terremoto. [20]

**Tabla 1.** La tabla muestra las ecuaciones empleadas para el cálculo de la magnitud de Momento (M). Además las Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura y área de ruptura

Table 2A  
Regressions of Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Moment Magnitude (M)

Equation*	Slip Type†	Number of Events	Coefficients and Standard Errors		Standard Deviation $\sigma$	Correlation Coefficient $r$	Magnitude Range	Length/Width Range (km)
			$a(a)$	$b(b)$				
$M = a + b * \log(\text{SRL})$	SS	43	5.16(0.13)	1.12(0.08)	0.28	0.91	5.6 to 8.1	1.3 to 432
	R	19	5.00(0.22)	1.22(0.16)	0.28	0.88	5.4 to 7.4	3.3 to 85
	N	15	4.86(0.34)	1.32(0.26)	0.34	0.81	5.2 to 7.3	2.5 to 41
	All	77	5.08(0.10)	1.16(0.07)	0.28	0.89	5.2 to 8.1	1.3 to 432
$\log(\text{SRL}) = a + b * M$	SS	43	-3.55(0.37)	0.74(0.05)	0.23	0.91	5.6 to 8.1	1.3 to 432
	R	19	-2.86(0.55)	0.63(0.08)	0.20	0.88	5.4 to 7.4	3.3 to 85
	N	15	-2.01(0.65)	0.50(0.10)	0.21	0.81	5.2 to 7.3	2.5 to 41
	All	77	-3.22(0.27)	0.69(0.04)	0.22	0.89	5.2 to 8.1	1.3 to 432
$M = a + b * \log(\text{RLD})$	SS	93	4.33(0.06)	1.49(0.05)	0.24	0.96	4.8 to 8.1	1.5 to 350
	R	50	4.49(0.11)	1.49(0.09)	0.26	0.93	4.8 to 7.6	1.1 to 80
	N	24	4.34(0.23)	1.54(0.18)	0.31	0.88	5.2 to 7.3	3.8 to 63
	All	167	4.38(0.06)	1.49(0.04)	0.26	0.94	4.8 to 8.1	1.1 to 350
$\log(\text{RLD}) = a + b * M$	SS	93	-2.57(0.12)	0.62(0.02)	0.15	0.96	4.8 to 8.1	1.5 to 350
	R	50	-2.42(0.21)	0.58(0.03)	0.16	0.93	4.8 to 7.6	1.1 to 80
	N	24	-1.88(0.37)	0.50(0.06)	0.17	0.88	5.2 to 7.3	3.8 to 63
	All	167	-2.44(0.11)	0.59(0.02)	0.16	0.94	4.8 to 8.1	1.1 to 350
$M = a + b * \log(\text{RW})$	SS	87	3.80(0.17)	2.59(0.18)	0.45	0.84	4.8 to 8.1	1.5 to 350
	R	43	4.37(0.16)	1.95(0.15)	0.32	0.90	4.8 to 7.6	1.1 to 80
	N	23	4.04(0.29)	2.11(0.28)	0.31	0.86	5.2 to 7.3	3.8 to 63
	All	153	4.06(0.11)	2.25(0.12)	0.41	0.84	4.8 to 8.1	1.1 to 350
$\log(\text{RW}) = a + b * M$	SS	87	-0.76(0.12)	0.27(0.02)	0.14	0.84	4.8 to 8.1	1.5 to 350
	R	43	-1.61(0.20)	0.41(0.03)	0.15	0.90	4.8 to 7.6	1.1 to 80
	N	23	-1.14(0.28)	0.35(0.05)	0.12	0.86	5.2 to 7.3	3.8 to 63
	All	153	-1.01(0.10)	0.32(0.02)	0.15	0.84	4.8 to 8.1	1.1 to 350
$M = a + b * \log(\text{RA})$	SS	83	3.98(0.07)	1.02(0.03)	0.23	0.96	4.8 to 7.9	3 to 5,184
	R	43	4.33(0.12)	0.90(0.05)	0.25	0.94	4.8 to 7.6	2.2 to 2,400
	N	22	3.93(0.23)	1.02(0.10)	0.25	0.92	5.2 to 7.3	19 to 900
	All	148	4.07(0.06)	0.98(0.03)	0.24	0.95	4.8 to 7.9	2.2 to 5,184
$\log(\text{RA}) = a + b * M$	SS	83	-3.42(0.18)	0.90(0.03)	0.22	0.96	4.8 to 7.9	3 to 5,184
	R	43	-3.99(0.36)	0.98(0.06)	0.26	0.94	4.8 to 7.6	2.2 to 2,400
	N	22	-2.87(0.50)	0.82(0.08)	0.22	0.92	5.2 to 7.3	19 to 900
	All	148	-3.49(0.16)	0.91(0.03)	0.24	0.95	4.8 to 7.9	2.2 to 5,184

\*SRL—surface rupture length (km); RLD—subsurface rupture length (km); RW—downdip rupture width (km), RA—rupture area (km<sup>2</sup>).  
†SS—strike slip; R—reverse; N—normal.

**Fuente:** Wells, D. Coppersmith, K. Nuevas relaciones empíricas entre magnitud, longitud de ruptura, Ancho de ruptura, área de ruptura y desplazamiento de superficie.

## **Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (GMPE`s)**

Las ecuaciones de predicción de movimiento de suelo son expresiones matemáticas que relacionan un parámetro específico del movimiento del suelo con otros parámetros sismológicos que caracterizan cuantitativamente la fuente sísmica, la trayectoria de propagación de ondas y el efecto local del suelo. [19]

Los modelos propuestos se los obtiene a partir de las aceleraciones y/o velocidades espectrales, se formulan en función de la magnitud y distancia. Generalmente en los modelos interviene también el tipo de suelo en el emplazamiento, que se incluye a través de un factor S que lo identifica, según la clasificación adoptada. Una diferencia esencial entre los distintos modelos es la zona fuente de los datos, que condiciona su aplicación a zonas de características afines. Además, hay variaciones en las escalas de magnitud y distancia introducidas, así como en los rangos de validez del modelo atendiendo a estos parámetros. Debido a esto, para realizar una correcta aplicación, es importante examinar previamente las características principales de cada modelo y extraer la información necesaria para el posterior cálculo de espectros. [21]

Las ecuaciones de predicción de movimiento de suelo para las fuentes intraplaca y fuentes de subducción a utilizarse son las siguientes:

### **Sismos Intraplaca (Fallamiento Cortical)**

Las fallas corticales son todas aquellas que generan sismos dentro de los primeros 30 km de la corteza, estas son capaces de generar eventos de magnitud  $M_w < 7.5$  con frecuencias de 1.000 a 10.000 años. Algunos sismos corticales pueden llegar a causar daños severos a las poblaciones cercanas al epicentro por su poca profundidad. [22]

Existen distintos tipos de fallas corticales; los interplaca que están relacionados con el deslizamiento entre dos placas tectónicas y los intraplaca que se generan al interior de una determinada placa. [22]

Las ecuaciones de predicción, validadas por el Global Earthquake Model para fuentes intraplaca (Fallas Corticales) que se utilizarán son: Boore y Atkinson, 2008; Akkar y Boomer, 2010 y Kanno et. al, 2006.

- **Boore y Atkinson (2008)**

Este modelo se encuentra en función de la magnitud del terremoto, la distancia de la fuente al sitio, la velocidad de onda de corte promedio local y el tipo de falla.

Con esta ecuación se determina la aceleración máxima esperada en roca (PGA), la velocidad máxima del terreno (PGV) y el 5% de Pseudoaceleración absoluta de los espectros en los períodos entre 0,01 s y 10 s. [23]

La ecuación para la predicción del movimiento del suelo está dada por:

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{s30}, R_{JB}, M) + \varepsilon \sigma_T$$

**Donde:**

$F_M, F_D, F_S$  = Coeficientes que representan la escala de magnitud, la función de distancia y la amplificación del sitio, respectivamente.

$M$  = Magnitud de Momento

$R_{JB}$  = Distancia más cercana a la proyección de la superficie de la falla.

$V_{s30}$  = Velocidad media de la onda de corte a una profundidad de 30m.

$\varepsilon \sigma_T$  = Desviación Estándar.

- **Akkar y Bommer (2010)**

Akkar y Bommer presentaron una nueva ecuación de predicción de movimiento en el suelo, basado en la misma base de datos que Ambraseys y otros (2005). La principal motivación fue ampliar el rango de períodos de respuesta, ya que Ambraseys y otros cubrieron el rango solo hasta 2.5 segundos. Por esta razón, las ecuaciones de Akkar y Bommer se derivaron para predecir los desplazamientos espectrales (SD) y obtener la ecuación para la aceleración máxima del terreno (PGA). [24]

El modelo de Akkar y Bommer presentan algunas ventajas, como por ejemplo que el modelo es efectivamente para la aceleración pseudoespectral en lugar de la aceleración absoluta y la ecuación predice la media geométrica de los componentes horizontales en lugar de la componente horizontal más grande. Además consta de un conjunto de datos de 532 acelerogramas registrados a distancias de hasta 100 km, con magnitudes de Mw 5 a 7.6. [24]

La ecuación para la predicción del movimiento del suelo está dada por:

$$\log y = b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5 M)\log\sqrt{R_{JB}^2 + b_6^2} + b_7S_s + b_8S_A + b_9F_N + b_{10}F_R + \varepsilon \sigma$$

**Donde:**

$b_{1-10}$  = Coeficientes para la predicción de Pseudoaceleración espectral.

$F_N$  = Mecanismo de Falla Normal

$F_R$  = Mecanismo de Falla Inversa

$M$  = Magnitud de Momento

$R_{JB}$  = Distancia más cercana a la proyección de la superficie de la falla.

$S_A$  = Suelo Rígido

$S_S$  = Suelo Suave

$\varepsilon \sigma_T$  = Desviación Estándar.

- **Kanno et al. (2006)**

Tras el terremoto de 1995 ocurrido en Japón, se instalaron redes que consistían en un gran número de estaciones de observación de movimiento fuerte, como el K-NET (Kinoshita 1998), además de mapas nacionales de riesgo sísmico que se pusieron a disposición del público para prevenir futuros desastres. [25]

Estos mapas solo indican la intensidad sísmica local para Japón, para diversas aplicaciones se requieren otros índices como la aceleración espectral de respuesta, por esta razón se estableció una base de datos de registros enteros de movimiento de suelo de Japón entre 1963 y 2003 para identificar una nueva relación de atenuación estándar, para la aceleración de respuesta y la aceleración máxima de terreno (PGA) y la

velocidad (PGV). [25]

Éste modelo base, usa solo dos parámetros la magnitud de momento ( $M_w$ ) y la distancia fuente ( $X$ ). Además dos ecuaciones, una para eventos superficiales y la otra para eventos profundos.

### **Eventos Superficiales**

Si  $D \leq 30$  Km:

$$\log pre = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 10^{0,5 M_w}) + c_1$$

### **Eventos Profundos**

Si  $D > 30$  Km:

$$\log pre = a_2 M_w + b_2 X - \log(X) + c_2$$

### **Donde:**

**D** =Profundidad Focal

**a, b, c, d**= Coeficientes

**M<sub>w</sub>**= Magnitud de momento

**X**= Distancia de la fuente hasta el sitio de estudio.

### **Sismos Subducción**

Las ecuaciones de atenuación consideran dos tipos de subducción, los sismos de interplaca e intraplaca. Las zonas de subducción de sismos interplaca son superficiales mientras que las zonas de subducción para sismos intraplaca ocurren dentro de las placas oceánicas de subducción. La profundidad focal para estos modelos de subducción será de 125 km. [26]

Las ecuaciones de predicción, validadas por el Global Earthquake Model para fuentes de subducción que se utilizarán son: Youngs et. el., 1997 y Zhao et.al., 2006.

- **Youngs et al. (1997)**

Se presenta las relaciones de atenuación para aceleraciones máximas en el suelo y la respuesta espectral de aceleración para la subducción de zonas de superficies de contacto. También para los sismos que generan magnitudes de Mw 5 o mayores, entre distancias de 10 a 500 kilómetros.

La profundidad focal para estos modelos de subducción será de 125 km, ya que en eventos registrados las profundidades han sido mayores a los 100 km

Los parámetros que intervienen en este modelo son: la distancia más cercana a la ruptura, profundidad focal, magnitud, y tipo de fuente. [26]

La ecuación para la predicción del movimiento del suelo está dada por:

$$\ln(y) = -0,6687 + 1,438M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \ln(R + 1,097e^{0,617M}) + 0,00648H + 0,3643 Z_T$$

**Donde:**

**Y** = Aceleración Espectral en g

**C** = Coeficientes de relación de atenuación.

**M** = Magnitud de Momento

**R** = Distancia más cercana a la ruptura (km)

**H** = Profundidad Focal

**Z<sub>T</sub>** = Tipo de fuente, 0 para interface, 1 para intraplaca.

- **Zhao (2006)**

Se presenta un modelo de atenuación de aceleración espectral para Japón y el conjunto de datos incluye una gran cantidad de registros de movimiento de suelo fuerte. Los parámetros que intervienen en este modelo son la magnitud del terremoto, distancia más corta al plano de falla sísmica y profundidad focal. [27]

La ecuación para la predicción del movimiento del suelo está dada por:

$$\log y = aMw + bx - \log(r) + e(h - hc) \delta h + F_R + S_I + S_S + S_{SL} \log(x) + C_K$$

**Dónde:**

**M**=Magnitud de momento

**a, b, e, C<sub>k</sub>**= Coeficientes

**x**= Distancia a la fuente en Km

**h**= Profundidad focal

**hc**= Constante

**C<sub>k</sub>**= Clase de sitio

## **2.2 HIPÓTESIS**

¿El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras del cantón Ambato Sector Mayorista?

## **2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

### **2.3.1 Variable Dependiente**

Nivel de amenaza de las estructuras del cantón Ambato Sector Mayorista.

### **2.3.2 Variable Independiente**

Método Determinista.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Los tipos de investigación a ser utilizados en este proyecto serán: exploratorio y de laboratorio.

Exploratorio debido a que se va a realizar el estudio de peligro sísmico para las estructuras del cantón Ambato-Sector Mayorista, la metodología es evaluar los espectros de respuesta de los sistemas de fallas seleccionadas con el espectro propuesto por la NEC-15.

De laboratorio debido a que no se conoce con certeza el tipo de suelo que posee cada sector de la ciudad de Ambato, para lo cual se realizará el ensayo de penetración estándar SPT. Además se utilizarán los equipos del laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

#### **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Población:

El Estudio de Peligro Sísmico Determinista se lo realizará para el Sector Mayorista. Para ello es necesario conocer las características geotectónicas del suelo y las Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (GMPE's) que van a hacer empleadas.

Muestra:

Se tomará en cuenta lo que recomienda la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-15, debido a que es un trabajo experimental, la recomendación mínima son 3 perforaciones para el estudio de suelos.



Las Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (GMPE`s) que se utilizarán son:

- Akkar y Bommer (2010)
- Boore y Atkinson (2008)
- Kanno (2006)
- Youngs (1997)
- Zhao (2006)

### 3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.3.1 Variable Independiente

Método Determinista.

**Tabla 2.** Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p>Considera la ocurrencia de un terremoto el más destructivo, en un lugar determinado, que puede afectar a una estructura o grupo de estructuras específicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuentes sísmicas</li> <li>• Distancia fuente-sitio</li> <li>• Magnitud</li> <li>• Velocidad media de la onda de corte (Vs30)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallas Geológicas</li> <li>• Distancia de Joyner-Boore (Rjb)</li> <li>• Longitud de ruptura superficial</li> <li>• Correlación empírica (Nspt)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuáles son las fallas geológicas cercanas al área de estudio?</li> <li>• ¿Cómo se mide la distancia de Joyner-Boore.</li> <li>• ¿Cuál es la longitud de cada una de las fallas?</li> <li>• ¿Cuál es la correlación empírica empleada?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experimental</li> <li>• Bibliográfica</li> <li>• Experimental</li> <li>• Bibliográfica</li> <li>• Experimental</li> <li>• Bibliográfica</li> </ul>

**Elaboración:** Jessica Taipe

### 3.3.2 Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las estructuras del cantón Ambato Sector Mayorista.

**Tabla 3.** Operacionalización de la variable dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Es la probabilidad de ocurrencia de un sismo en un sitio determinado, durante un período de tiempo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de Suelo</li> <li>• Ecuaciones de Atenuación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensayo Granulométrico</li> <li>• Aceleración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es el tipo de suelo obtenido?</li> <li>• ¿Cuál es la aceleración obtenida?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experimental</li> <li>• Bibliográfica</li> <li>• Experimental</li> <li>• Bibliográfica</li> </ul>

**Elaboración:** Jessica Taipe

### 3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

**Tabla 4.** Plan de recolección de información

<b>Preguntas Básicas</b>	<b>Explicación</b>
<b>1. ¿Para qué?</b>	- Para evaluar el peligro sísmico en el Sector Mayorista, mediante la determinación de espectros de respuesta asociados a las fallas seleccionadas.
<b>2. ¿De qué personas u objetos?</b>	- Régimen tectónico, fallas seleccionadas y tipo de suelo en el área de estudio.
<b>3. ¿Sobre qué aspectos?</b>	- Influencia del peligro sísmico determinista para las estructuras.
<b>4. ¿Quién?</b>	- Jessica Elizabeth Taipe Chicaiza
<b>5. ¿Dónde?</b>	- Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
<b>6. ¿Cómo?</b>	- Investigación bibliográfica - Ensayos de laboratorio - Norma NEC-15

**Elaboración:** Jessica Taipe

### 3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El proceso a seguir será de la siguiente manera:

- Identificación del régimen tectónico en base al área de estudio.
- Selección de las fallas más importantes que afectan al área de estudio, basado en NeoTec/Ecuador, tales como la Falla Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y la falla de Subducción.
- Determinación de la magnitud máxima de las fallas seleccionadas, basado en la metodología de Wells - Coppersmith.

Wells y Coppersmith establecen ecuaciones para determinar la magnitud de momento, la ecuación que se utilizará está en función de la longitud de ruptura para los diferentes tipos de fallas (normal, inversa y transcurrente).

- Identificación del tipo de perfil de suelo mediante el ensayo de penetración estándar SPT, basado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Estimar la aceleración máxima de suelo de acuerdo al régimen tectónico, basado en Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPEs).
- Comparación de espectro de respuesta analizada con los de la NEC-15.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

##### 4.1.1 Régimen Tectónico

El sector Mayorista se encuentra ubicada en la ciudad de Ambato con una elevación de 2580 msnm y una superficie de 1200 km<sup>2</sup>, se encuentra en la región interandina del Ecuador. La ciudad está ubicada en la provincia de Tungurahua en una región sísmica y volcánica. [28]

##### 4.1.1.1 Caracterización de la sismicidad en Ecuador

El origen de los sismos tiene dos fuentes principales, las fallas corticales que afecta al Bloque Norandino y a la Placa Sudamericana y el proceso de subducción de la Placa Oceánica Nazca bajo el Bloque Norandino y la Placa Sudamericana. [28]

Entre los fenómenos asociados a la subducción, los más peligrosos son los terremotos ya que liberan alrededor del 80% de energía sísmica. La placa Nazca se hunde bajo la Sudamericana a una velocidad de 60mm/año con una dirección Este-Oeste, y es discontinua a una profundidad cercana a los 200km. En Ecuador se ha registrado un total de 485 eventos de subducción, de los cuales 99 poseen magnitudes superiores a los 4.0 grados. [28] [29]

El Ecuador presenta tres tipos de regímenes tectónicos: Cortical, subducción interplaca y subducción intraplaca.

Una de las principales fuentes superficiales que causan mayor cantidad de eventos sísmicos es la fuente Pallatanga-Pisayambo. Los sismos de origen volcánico generalmente tienen magnitudes bajas, entre 1 y 4.5 grados máximo, además una profundidad de 1 a 10 km; mientras que los sismos de origen tectónico pueden alcanzar

magnitudes  $M_w$  de hasta 9.5. [29]

Ecuador es un país sísmicamente activo y ha sido afectado por numerosos terremotos destructivos, entre los que se puede citar el terremoto de Riobamba en 1797, Ambato en 1949 ( $M=6.8$ ), Esmeraldas en 1906 ( $M=8.8$ ), Reventador en 1987 ( $M=6.1$  y  $6.9$ ), Macas en 1995, Bahía de Caráquez en 1998 ( $M=7.2$ ) y el sismo más reciente ocurrido en Manabí en 2016 ( $M=7.8$ ). [29]

El sismo de Riobamba ocurrió en febrero de 1797 con una intensidad máxima de XI, cuyo origen fue por la ruptura de la falla Pallatanga, causó muchos daños e incluso ocurrieron cambios en la topografía del terreno. Las provincias de Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar y Pichincha también se vieron afectadas. [29]

El sismo del 5 de agosto de 1949, ocurrió en la provincia de Tungurahua cuyo epicentro se ubica en una falla al sur del Nido Sísmico de Pisayambo, aproximadamente a 20 km nororiente de Pelileo, con una una magnitud de  $M_w=6.8$ . [30]

El sismo más reciente fue el ocurrido el 16 de abril de 2016 en la provincia de Manabí cuyo hipocentro se ubicó frente a Pedernales a 20 km de profundidad, como resultado de la subducción de la placa de Nazca (placa oceánica) bajo la placa Sudamericana (placa continental), con una una magnitud de  $M_w=7.8$ . [31]

Este mismo fenómeno de subducción originó los sismos del 31 enero 1906 ( $M_w$  8.8), que es el más grande registrado en Ecuador y el sexto más grande a escala mundial; el del 14 mayo 1942 ( $M_w$  7.8); 19 enero de 1958 ( $M_w$  7.8) y del 12 diciembre de 1979 ( $M_w$  8.1). [31]

**Tabla 5.** Eventos sísmicos con mayor intensidad en la ciudad de Ambato, ordenados cronológicamente con sus respectivas intensidades

EVENTO	AÑO	INTENSIDAD	ESCALA
Terremoto de Lima – Perú	1687	VIII	MSK
Terremoto de Riobamba -Ambato	1698	IX	MSK
Terremoto de Riobamba	1797	X	MSK
Sismo de Ambato o Pelileo	1949	X	MSK
Sismo de Pedernales	2016	V	MSK

**Fuente:** Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

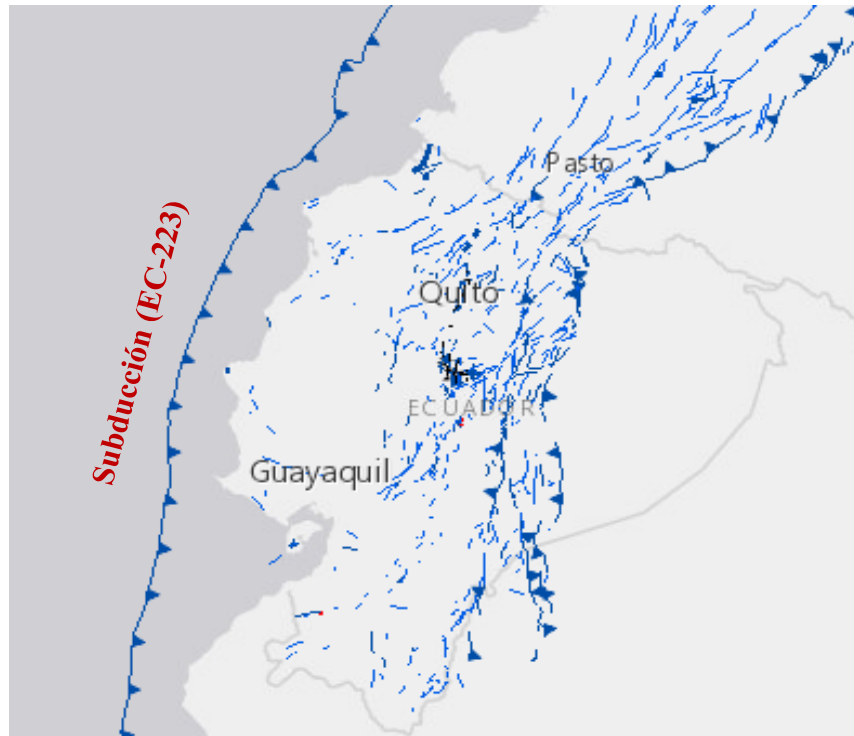
#### 4.1.2 Selección de Fallas Geológicas

Para el desarrollo de esta investigación primero se establecerán las fallas activas que se localicen cerca del área de estudio, utilizando los datos que nos proporciona la página Neo Tec/Ecuador.

A continuación se muestran imágenes obtenidos de la Neo Tec, indicando las fallas existentes en el Ecuador, Tungurahua y Ambato.

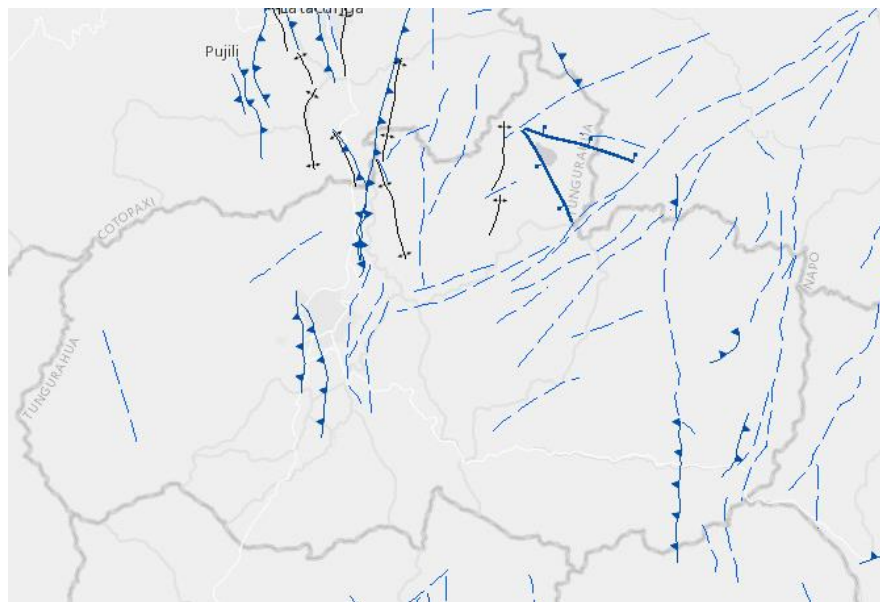


**Figura 13.** En la figura se muestra todas las Fallas Geológicas existentes en el Ecuador, es decir fallas corticales y de subducción



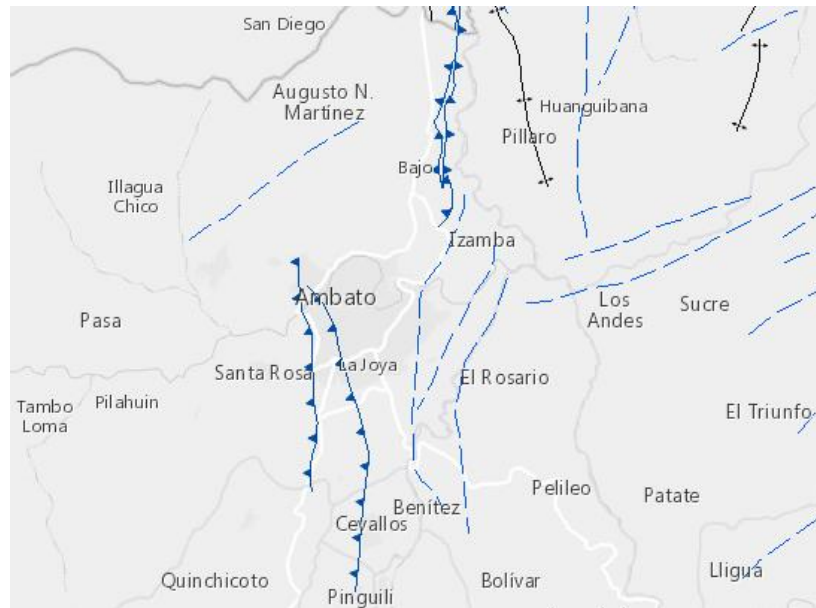
**Fuente:** NeoTec-Ecuador.

**Figura 14.** Fallas Geológicas existentes en la Provincia de Tungurahua



**Fuente:** NeoTec-Ecuador

**Figura 15.** Fallas Geológicas existentes en la ciudad de Ambato



**Fuente:** NeoTec-Ecuador.

Se procedió a seleccionar las fallas con mayor longitud y las más cercanas al sitio de estudio, ya que éstas son las que generan sismos de mayor magnitud.

**Figura 16.** Fallas Geológicas seleccionadas en el Área de estudio (Sector Mayorista)



**Fuente:** NeoTec-Ecuador.

**Tabla 6.** Código de las Fallas Geológicas seleccionadas en el Área de estudio (Sector Mayorista)

CÓDIGO	NOMBRE FALLAS
EC-344b	AMBATO
EC-344a	HUACHI
EC-345	TOTORAS
EC-54	SAMANGA
EC-223	SUBDUCCIÓN

**Fuente:** NeoTec-Ecuador.

Seleccionadas ya las fallas geológicas se procede a medir una distancia perpendicular desde un punto centro del área de estudio hacia cada una de las fallas geológicas (Rjb distancia de Joyner y Boore), utilizando el Programa Google Earth.

**Figura 17.** Distancia medida desde el punto centro del sitio de estudio hacia la falla Ambato.



**Fuente:** Google Earth.

En la tabla 7 se especifica las fallas seleccionadas con su respectiva longitud y distancia desde la fuente al sitio de estudio:

**Tabla 7.** La tabla muestra los datos de las Fallas Geológicas en estudio, como código, Tipo, Longitud y Distancia

<b>CÓDIGO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO</b>	<b>LONGITUD (Km)</b>	<b>DISTANCIA (Km)</b>
EC-344b	AMBATO	Inversa Ciega	16,30	1,40
EC-344a	HUACHI	Inversa Ciega	12,05	2,94
EC-345	TOTORAS	Transcurrente Inversa Ciega	17,60	2,42
EC-54	SAMANGA	Inversa Ciega	32,70	9,45
EC-223	SUBDUCCIÓN	Inversa/Subducción	1536,00	297,74

**Fuente:** NeoTec-Ecuador.

#### **4.1.3 Características del Suelo**

Los suelos son materiales que poseen partículas que tienen un tamaño menor de 7,5cm (3") y su clasificación está dada en base a su composición granulométrica y sus características de plasticidad, representada por los límites de consistencia.

Los suelos se clasifican en suelos gruesos cuando más del 50% de sus partículas son de tamaño mayor que 0,075mm (malla N°200) y como suelos finos cuando el 50% de sus partículas son de menor tamaño, como se muestra en la siguiente tabla. [32]

**Tabla 8.** Clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Tipo	Sub-Tipos		Identificación		Simbolo de Grupo		
Suelos (partículas menores de 7,5 cm)	SUELOS GRUESOS Más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 (0,075 mm)	GRAVA Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla N°4	GRAVA LIMPIA	Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) entre 1 y 3 <sup>[1]</sup>	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GW	
			(Poco o nada de partículas finas)	Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GP	
			GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	GM	
				Grava arcillosa; mezclas de grava, arena y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	GC	
			ARENA Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4	ARENA LIMPIA	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) entre 1 y 3 <sup>[1]</sup>	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SW
				(Poco o nada de partículas finas)	Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SP
		ARENA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)		Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	SM	
				Arena arcillosa; mezclas de arena, grava y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	SC	
		SUELOS FINOS Más de la mitad del material pasa la malla N°200 (0,075 mm)	LIMO Y ARCILLA Límite líquido	Menor de 50%	Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	ML	
					Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CL	
	Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.				OL		
	Mayor de 50%			Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	MH		
				Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CH		
				Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la Carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OH		
ALTAMENTE ORGANICOS				Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	P <sub>t</sub>		

**Fuente:** Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (SUCS)

El ensayo de campo requerido para esta investigación es el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), con estas muestras de suelo obtenidas se procedió a realizar el ensayo de granulometría en el laboratorio de Mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. Mediante el análisis granulométrico se determina el tipo de suelo en base al Sistema Unificado de

Clasificación de Suelos (SUCS).

En las siguientes tablas se muestran los valores obtenidos en el ensayo de la granulometría, con lo cual se determinara el tipo de suelo en base a la SUCS.

**Tabla 9.** Se muestra los datos del Análisis Granulométrico realizado. (Pozo 1)

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA
<b>PRIMER METRO</b>			
#4	0,60	0,31	99,69
#10	0,40	0,21	99,79
#40	23,50	12,31	87,69
#60	18,60	9,74	90,26
#100	28,80	15,09	84,91
#200	66,10	34,63	65,37
Retenido hasta #200	137,40	71,97	28,03
FUENTE	52,90	27,71	
TOTAL	190,90	100,00	
<b>SEGUNDO METRO</b>			
#4	2,10	0,58	99,42
#10	4,80	1,33	98,67
#40	43,90	12,15	87,85
#60	39,50	10,94	89,06
#100	58,60	16,22	83,78
#200	103,40	28,63	71,37
Retenido hasta #200	250,20	69,27	30,73
FUENTE	108,90	30,15	
TOTAL	361,20	100,00	
<b>TERCER METRO</b>			
#4	5,49	1,20	98,80
#10	8,30	1,82	98,18
#40	122,90	26,93	73,07
#60	68,90	15,10	84,90
#100	63,50	13,92	86,08
#200	92,10	20,18	79,82
Retenido hasta #200	355,70	77,95	22,05
FUENTE	95,10	20,84	
TOTAL	456,29	100,00	
<b>CUARTO METRO</b>			
#4	2,54	0,74	99,26
#10	1,80	0,52	99,48

#40	78,00	22,63	77,37
#60	55,10	15,98	84,02
#100	60,30	17,49	82,51
#200	84,60	24,54	75,46
Retenido hasta #200	279,80	81,16	18,84
FUENTE	62,40	18,10	
TOTAL	344,74	100,00	

**Elaboración:** Jessica Taipe

Con los valores obtenidos en el ensayo granulométrico y en base a la Tabla 8, la cual muestra una clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), se pudo determinar que para cada metro calculado más del 50% del material se retiene en la malla N°200 (0,075mm) indicando que es un suelo grueso y más del 50% de la fracción gruesa pasa la malla N°4 (4,75mm), por lo que se concluye que el tipo de suelo obtenido es arena.

**Tabla 10.** Se muestra los datos del Análisis Granulométrico realizado. (Pozo 2)

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA
<b>PRIMER METRO</b>			
#4	0,90	0,58	99,42
#10	1,40	0,90	99,10
#40	17,90	11,54	88,46
#60	16,40	10,57	89,43
#100	25,60	16,51	83,49
#200	48,10	31,01	68,99
Retenido hasta #200	109,40	70,54	29,46
FUENTE	44,80	28,88	
TOTAL	155,10	100,00	
<b>SEGUNDO METRO</b>			
#4	4,66	1,17	98,83
#10	9,20	2,32	97,68
#40	63,50	15,99	84,01
#60	45,70	11,51	88,49
#100	59,60	15,01	84,99
#200	108,70	27,37	72,63
Retenido hasta #200	286,70	72,19	27,81
FUENTE	105,80	26,64	
TOTAL	397,16	100,00	

<b>TERCER METRO</b>			
#4	4,23	0,84	99,16
#10	15,70	3,13	96,87
#40	118,10	23,58	76,42
#60	51,80	10,34	89,66
#100	64,20	12,82	87,18
#200	114,50	22,86	77,14
Retenido hasta #200	364,30	72,72	27,28
FUENTE	132,40	26,43	
TOTAL	500,93	100,00	
<b>CUARTO METRO</b>			
#4	3,15	1,17	98,83
#10	4,90	1,82	98,18
#40	65,10	24,23	75,77
#60	44,90	16,71	83,29
#100	40,90	15,22	84,78
#200	55,60	20,70	79,30
Retenido hasta #200	211,40	78,69	21,31
FUENTE	54,10	20,14	
TOTAL	268,65	100,00	

**Elaboración:** Jessica Taipe

En la tabla anterior se pudo determinar que para cada metro calculado más del 50% del material se retiene en la malla N°200 (0,075mm) indicando que es un suelo grueso y más del 50% de la fracción gruesa pasa la malla N°4 (4,75mm), por lo que se concluye que el tipo de suelo obtenido es arena.

**Tabla 11.** Datos del Análisis Granulométrico realizado. (Pozo 3)

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b>PRIMER METRO</b>			
#4	0,60	0,37	99,63
#10	5,50	3,39	96,61
#40	28,00	17,25	82,75
#60	18,00	11,09	88,91
#100	23,00	14,17	85,83
#200	40,40	24,89	75,11
Retenido hasta #200	114,90	70,79	29,21
FUENTE	46,80	28,84	
TOTAL	162,30	100,00	



<b>SEGUNDO METRO</b>			
#4	5,40	1,46	98,54
#10	26,00	7,02	92,98
#40	112,60	30,39	69,61
#60	33,70	9,10	90,90
#100	37,40	10,09	89,91
#200	67,00	18,08	81,92
Retenido hasta #200	276,70	74,68	25,32
FUENTE	88,40	23,86	
TOTAL	370,50	100,00	
<b>TERCER METRO</b>			
#4	2,60	0,58	99,42
#10	5,30	1,18	98,82
#40	102,60	22,82	77,18
#60	77,40	17,22	82,78
#100	66,40	14,77	85,23
#200	71,60	15,93	84,07
Retenido hasta #200	323,30	71,91	28,09
FUENTE	123,70	27,51	
TOTAL	449,60	100,00	
<b>CUARTO METRO</b>			
#4	8,60	2,22	97,78
#10	8,00	2,06	97,94
#40	78,40	20,22	79,78
#60	62,10	16,02	83,98
#100	53,70	13,85	86,15
#200	74,80	19,29	80,71
Retenido hasta #200	277,00	71,45	28,55
FUENTE	102,10	26,33	
TOTAL	387,70	100,00	
<b>QUINTO METRO</b>			
#4	5,97	1,81	98,19
#10	13,60	4,12	95,88
#40	44,20	13,39	86,61
#60	43,30	13,12	86,88
#100	49,20	14,91	85,09
#200	76,60	23,21	76,79
Retenido hasta #200	226,90	68,74	31,26
FUENTE	97,20	29,45	
TOTAL	330,07	100,00	

**Elaboración:** Jessica Taipe

En la tabla anterior se pudo determinar que para cada metro calculado más del 50% del material se retiene en la malla N°200 (0,075mm) indicando que es un suelo grueso y más del 50% de la fracción gruesa pasa la malla N°4 (4,75mm), por lo que se concluye que el tipo de suelo obtenido es arena.

**Tabla 12.** Se muestra los datos del Análisis Granulométrico realizado. (Pozo 4)

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA
<b>PRIMER METRO</b>			
#4	18,50	2,71	97,29
#10	3,40	0,50	99,50
#40	85,90	12,60	87,40
#60	84,60	12,41	87,59
#100	104,40	15,32	84,68
#200	162,40	23,83	76,17
Retenido hasta #200	440,70	64,67	35,33
FUENTE	222,30	32,62	
TOTAL	681,50	100,00	
<b>SEGUNDO METRO</b>			
#4	17,90	4,41	95,59
#10	60,00	14,79	85,21
#40	91,00	22,43	77,57
#60	35,00	8,63	91,37
#100	37,90	9,34	90,66
#200	61,60	15,18	84,82
Retenido hasta #200	285,50	70,37	29,63
FUENTE	102,30	25,22	
TOTAL	405,70	100,00	
<b>TERCER METRO</b>			
#4	20,80	2,20	97,80
#10	95,30	10,09	89,91
#40	159,20	16,85	83,15
#60	51,10	5,41	94,59
#100	84,60	8,95	91,05
#200	197,80	20,93	79,07
Retenido hasta #200	588,00	62,23	37,77
FUENTE	336,10	35,57	
TOTAL	944,90	100,00	
<b>CUARTO METRO</b>			
#4	0,00	0,00	100,00
#10	12,30	1,46	98,54

#40	755,70	89,69	10,31
#60	41,40	4,91	95,09
#100	11,10	1,32	98,68
#200	9,10	1,08	98,92
Retenido hasta #200	829,60	98,46	1,54
FUENTE	13,00	1,54	
TOTAL	842,60	100,00	

**Elaboración:** Jessica Taipe

En la tabla anterior se pudo determinar que para cada metro calculado más del 50% del material se retiene en la malla N°200 (0,075mm) indicando que es un suelo grueso y más del 50% de la fracción gruesa pasa la malla N°4 (4,75mm), por lo que se concluye que el tipo de suelo obtenido es arena.

**Tabla 13.** Se muestra los datos del Análisis Granulométrico realizado. (Pozo 5)

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA
<b>PRIMER METRO</b>			
#4	0,00	0,00	100,00
#10	1,70	0,36	99,64
#40	47,70	9,99	90,01
#60	62,10	13,00	87,00
#100	99,30	20,79	79,21
#200	157,90	33,06	66,94
Retenido hasta #200	368,70	77,20	22,80
FUENTE	108,90	22,80	
TOTAL	477,60	100,00	
<b>SEGUNDO METRO</b>			
#4	0,00	0,00	100,00
#10	5,00	0,54	99,46
#40	101,90	10,96	89,04
#60	135,50	14,57	85,43
#100	198,00	21,29	78,71
#200	289,40	31,12	68,88
Retenido hasta #200	729,80	78,48	21,52
FUENTE	200,10	21,52	
TOTAL	929,90	100,00	

<b>TERCER METRO</b>			
#4	0,00	0,00	100,00
#10	4,10	0,42	99,58
#40	87,80	9,04	90,96
#60	132,10	13,60	86,40
#100	222,90	22,95	77,05
#200	347,70	35,79	64,21
Retenido hasta #200	794,60	81,80	18,20
FUENTE	176,80	18,20	
TOTAL	971,40	100,00	

**Elaboración:** Jessica Taipe

En la tabla 13 se pudo determinar que para cada metro calculado más del 50% del material se retiene en la malla N°200 (0,075mm) indicando que es un suelo grueso y más del 50% de la fracción gruesa pasa la malla N°4 (4,75mm), por lo que se concluye que el tipo de suelo obtenido es arena.

#### **4.1.3.1 Ensayo de Penetración Estándar**

El Ensayo de Penetración Estándar (SPT) se realizó siguiendo la NORMA INEN 689 y utilizando el equipo proporcionado por el laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

La norma INEN 689 establece el procedimiento para realizar el ensayo de penetración estándar, como se muestra a continuación: [33]

### **PREPARACIÓN PREVIA AL ENSAYO**

- Efectuada la perforación y alcanzada la profundidad a la que se va a realizar el ensayo, se limpia el pozo, cuidando que el material a muestrear no resulte alterado por dicha operación.
- Cuando se detecten suelos sin cohesión, poco cohesivos o muy blandos, debe asegurarse la estabilidad de las paredes de la perforación entibando la misma.
- En el caso de arenas o limos saturados, las herramientas de perforación deben retirarse lentamente.

- No se debe entibar una perforación más abajo del nivel en que se va a tomar la muestra.

### **PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

- Luego de apoyar el muestreador en el fondo del pozo perforado, se procede a hincarlo mediante golpes del martinete lanzado en caída libre desde una altura de  $75 \pm 5$  cm sobre la cabeza de golpe.
- Para el izaje del martinete debe usarse cabo de manila o similar y, en caso de ser accionado mecánicamente, el cabo no debe enrollarse más de dos vueltas en el malacate.
- Debe cuidarse de que la barra rígida de acero que sirve de guía en la caída del martinete esté completamente vertical, con lo cual se asegura que la energía de los golpes no resulte disminuida por efecto de la fricción del martinete sobre dicha barra.
- El muestreador debe penetrar en primer lugar 15 cm, lo cual se considera como un proceso necesario de preparación y ajuste para el ensayo.
- Se inicia el ensayo contando el número de golpes (N) necesarios para hacer penetrar el muestreador 30 cm, lo cual determina la resistencia a la penetración de dicho suelo. Si al hincar este tramo se sobrepasan los 50 golpes, sin que hubiera penetrado la totalidad de la medida indicada, se debe anotar el número de golpes efectuados y la fracción o longitud de penetración del muestreador.
- Luego del hincado y antes de extraer el muestreador debe girarse por lo menos dos revoluciones, luego de lo cual se extrae el muestreador a la superficie, se lo abre y se determina la longitud de la muestra recuperada.

- La muestra se la debe acondicionar y cerrar herméticamente en un envase apropiado para su envío al laboratorio. Se debe etiquetar las muestras adecuadamente con todos los datos necesarios para realizar los ensayos requeridos. [33]

Para el ensayo de campo se realizó cinco (5) perforaciones en el Sector Mayorista a cada metro de profundidad, a continuación se muestra una imagen de Google Earth indicando los puntos donde se realizaron las perforaciones y sus respectivas coordenadas.

**Figura 18.** Sector Mayorista, ubicación de las 5 perforaciones realizadas en el área de estudio



**Fuente:** Google Earth Pro.

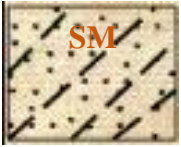
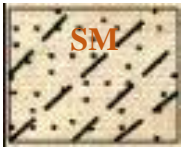


**Tabla 14.** Coordenadas U.T.M de las 5 perforaciones realizadas en el Sector Mayorista

<b>PERFORACIÓN</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
Pozo 1	765564.24	9858562.94
Pozo 2	765611.80	9858831.13
Pozo 3	765633.39	9859273.96
Pozo 4	765953.31	9858474.43
Pozo 5	765308.55	9859004.49

**Elaboración:** Jessica Taipe





En las siguientes tablas se muestran los valores obtenidos en el ensayo de penetración estándar, de los cuales se procedió a sumar los dos últimos valores parciales para obtener el valor Nspt total de cada metro perforado.

**Tabla 15.** En la siguiente tabla se muestra una clasificación SUCS y los datos obtenidos en el Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 1

<b>CLASIFICACIÓN S.U.C.S</b>		<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>Nspt (Parcial)</b>	<b>Nspt (Total)</b>
	<b>Arena</b>	0,55	Limpieza	16
		0,70	7	
		0,85	8	
		1,00	8	
	<b>Arena</b>	1,55	10	65
		1,70	14	
		1,85	27	
		2,00	38	
	<b>Arena</b>	2,55	33	67
		2,70	31	
		2,85	35	
		3,00	32	
	<b>Arena</b>	3,55	36	82
		3,70	42	
		3,85	39	
		4,00	43	




**Elaboración:** Jessica Taipe

**Tabla 16.** La tabla muestra una clasificación SUCS y los datos obtenidos en el Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 2



CLASIFICACIÓN S.U.C.S		PROFUNDIDAD (m)	Nspt (Parcial)	Nspt (Total)
	Arena	0,55	Limpieza	15
		0,70	4	
		0,85	5	
		1,00	10	
	Arena	1,55	11	30
		1,70	13	
		1,85	14	
		2,00	16	
	Arena	2,55	20	53
		2,70	28	
		2,85	29	
		3,00	24	
	Arena	3,55	30	123
		3,70	60	
		3,85	61	
		4,00	62	

**Elaboración:** Jessica Taipe

**Tabla 17.** Se muestra una clasificación SUCS y los datos obtenidos en el Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 3





CLASIFICACIÓN S.U.C.S		PROFUNDIDAD (m)	Nspt (Parcial)	Nspt (Total)
	Arena	0,55	Limpieza	25
		0,70	11	
		0,85	12	
		1,00	13	
	Arena	1,55	45	61
		1,70	30	
		1,85	32	
		2,00	29	
	Arena	2,55	34	49
		2,70	20	
		2,85	25	
		3,00	24	



	<b>Arena</b>	3,55	24	60
		3,70	28	
		3,85	32	
		4,00	28	
	<b>Arena</b>	4,55	29	91
		4,70	40	
		4,85	45	
		5,00	46	




**Elaboración:** Jessica Taípe

**Tabla 18.** La tabla muestra una clasificación SUCS y los datos obtenidos en el Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 4

<b>CLASIFICACIÓN S.U.C.S</b>		<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>Nspt (Parcial)</b>	<b>Nspt (Total)</b>
	<b>Arena</b>	0,55	Limpieza	21
		0,70	8	
		0,85	9	
		1,00	12	
	<b>Arena</b>	1,55	19	32
		1,70	14	
		1,85	15	
		2,00	17	
	<b>Arena</b>	2,55	24	57
		2,70	29	
		2,85	33	
		3,00	24	
	<b>Arena</b>	3,55	27	83
		3,70	33	
		3,85	38	
		4,00	45	

**Elaboración:** Jessica Taípe

**Tabla 19.** Se muestra una clasificación SUCS y los datos obtenidos en el Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 5

CLASIFICACIÓN S.U.C.S		PROFUNDIDAD (m)	Nspt (Parcial)	Nspt (Total)
	Arena	0,55	Limpieza	20
		0,70	6	
		0,85	10	
		1,00	10	
	Arena	1,55	12	31
		1,70	12	
		1,85	16	
		2,00	15	
	Arena	2,55	38	80
		2,70	33	
		2,85	40	
		3,00	40	

**Elaboración:** Jessica Taipe

Una vez obtenidos los datos del Ensayo de Penetración Estándar, se procede a calcular el valor de la Velocidad media de la onda de cortante  $V_{s30}$  utilizando los valores de Nspt total para cada estrato, como se lo realizará más adelante.

#### 4.1.4 Velocidad media de la onda de cortante $V_{s30}$

Las velocidades  $V_{s30}$  se pueden evaluar en el sitio por medio de estimaciones semiempíricas que correlacionan las velocidades de las ondas cortantes con parámetros geotécnicos, para suelos de características similares. [4]

Los parámetros que se utilizan para definir el tipo de perfil de suelo con base en los 30 m superiores del mismo son:

- La velocidad media de la onda de cortante,  $V_{s30}$  (m/s),
- El número medio de golpes del Ensayo de Penetración Estándar (SPT en inglés para “Standard Penetration Test”). [4]

La Norma Ecuatoriana de la Construcción establece seis tipos de perfil de suelo los cuales se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 20.** Clasificación de los Perfiles de Suelo, descripción y definición del tipo de perfil A, B, C, D, E, F.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360$ m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100$ kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	<b>F1</b> —Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	<b>F2</b> —Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	<b>F3</b> —Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad IP >75)	
	<b>F4</b> —Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30m)	
	<b>F5</b> —Suelos con contrastes de impedancia $\alpha$ ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
	<b>F6</b> —Rellenos colocados sin control ingenieril.	

**Fuente:** Peligro Sísmico. NEC\_SE\_DS 2015.

#### 4.1.4.1 Determinación de la Velocidad media de la onda de cortante Vs30.

La velocidad sísmica de la onda de corte de la capa superior del suelo de 30 m (Vs30) es un parámetro importante en la ingeniería cuantitativa actual de terremotos, debido a que ésta es responsable de la amplificación del movimiento del suelo. [34]

Debido a la importancia de conocer el valor del Vs30 se han desarrollado un gran número de correlaciones empíricas, ya que en ciertas ocasiones no se cuenta con los datos necesarios para estimar rápidamente las propiedades geotécnicas del suelo.

La correlación más frecuente es la que relaciona la resistencia a la penetración estándar no corregida (N) y la velocidad de la onda de corte el Vs, para representar esta correlación se usan 500 pares de datos secundarios y se obtienen formulaciones tomando en cuenta las características geológicas y geotécnicas. [34] [35]

Existen algunas correlaciones que se han ido desarrollando al paso de los años para todos los suelos como arenas, limos y arcillas. De todas estas ecuaciones establecidas se utilizó la ecuación de Fauzi et al. (2014), extraída del artículo “Correlación empírica entre la resistencia a la penetración estándar no corregida (N) y la velocidad de la onda de corte (Vs) para el Valle de Katmandú, Nepal”, cuya fórmula se muestra a continuación:

$$(*) V_s = 105.03 N^{0.286}$$

**Dónde:**

N= Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil de suelo.

Vs30= Velocidad media de la onda de cortante.

A continuación se muestra el cálculo de la velocidad media de la onda de cortante para los 5 pozos tomando alturas indistintas.

POZO 1, H=3m

$$V_s = 105.03 N^{0.286}$$
$$V_s = 105.03 * 67^{0.286}$$
$$V_s = 349.60 \text{ m/s}$$

POZO 2, H=2m

$$V_s = 105.03 N^{0.286}$$
$$V_s = 105.03 * 30^{0.286}$$
$$V_s = 277.82 \text{ m/s}$$

POZO 3, H=3m

$$V_s = 105.03 N^{0.286}$$
$$V_s = 105.03 * 49^{0.286}$$
$$V_s = 319.68 \text{ m/s}$$

POZO 4, H=4m

$$V_s = 105.03 N^{0.286}$$
$$V_s = 105.03 * 83^{0.286}$$
$$V_s = 371.68 \text{ m/s}$$

POZO 5, H=2m

$$V_s = 105.03 N^{0.286}$$
$$V_s = 105.03 * 31^{0.286}$$
$$V_s = 280.44 \text{ m/s}$$

Para el cálculo del  $V_s$  promedio se estableció una relación entre la altura y la velocidad media de la onda de corte correspondiente a cada estrato, como se muestra a continuación:

$$V_s \text{ promedio} = \frac{H}{\frac{h1}{Vs1} + \frac{h2}{Vs2} + \frac{h3}{Vs3} + \frac{hn}{Vsn}}$$

**Tabla 21.** Se muestran los valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) calculados y su respectivo tipo de perfil. – Pozo 1

PROFUNDIDAD (m)	Nspt(Total)	Vs 30 (m/s) (*)	Tipo de Perfil	Vs 30 promedio (m/s)
0,55	16	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	65	346,58	D	355,22
1,70				
1,85				
2,00				
2,55	67	349,60	D	
2,70				
2,85				
3,00				
3,55	82	370,39	C	
3,70				
3,85				
4,00				

**Elaboración:** Jessica Taipe.

**Tabla 22.** Se muestran los valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) calculados y su respectivo tipo de perfil. – Pozo 2

PROFUNDIDAD (m)	Nspt(Total)	Vs 30 (m/s) (*)	Tipo de Perfil	Vs 30 promedio (m/s)
0,55	15	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	30	277,82	D	331,04
1,70				
1,85				
2,00				
2,55	53	326,93	D	
2,70				

2,85				
3,00				
3,55	123	415,94	C	
3,70				
3,85				
4,00				

**Elaboración:** Jessica Taipe

**Tabla 23.** Valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) calculados y su respectivo tipo de perfil. – Pozo 3

<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>Nspt(Total)</b>	<b>Vs 30 (m/s) (*)</b>	<b>Tipo de Perfil</b>	<b>Vs 30 promedio (m/s)</b>
0,55	25	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		343,67
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	61	340,34	D	
1,70				
1,85				
2,00				
2,55	49	319,68	D	
2,70				
2,85				
3,00				
3,55	60	338,74	D	
3,70				
3,85				
4,00				
4,55	91	381,59	C	
4,70				
4,85				
5,00				

**Elaboración:** Jessica Taipe

**Tabla 24.** Valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) calculados y su respectivo tipo de perfil. – Pozo 4

PROFUNDIDAD (m)	Nspt(Total)	Vs 30 (m/s) (*)	Tipo de Perfil	Vs 30 promedio (m/s)
0,55	21	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	32	283,00	D	325,39
1,70				
1,85				
2,00				
2,55	57	333,81	D	
2,70				
2,85				
3,00				
3,55	83	371,68	C	
3,70				
3,85				
4,00				

**Elaboración:** Jessica Taipe

**Tabla 25.** Valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) calculados y su respectivo tipo de perfil. – Pozo 5

PROFUNDIDAD (m)	Nspt(Total)	Vs 30 (m/s) (*)	Tipo de Perfil	Vs 30 promedio (m/s)
0,50	20	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	31	280,44	D	318,23
1,70				
1,85				
2,00				
2,55	80	367,79	C	
2,70				
2,85				
3,00				

**Elaboración:** Jessica Taipe.



Para determinar el Vs30 del área del proyecto se realizó un promedio de los valores de Vs obtenidos en cada uno de los pozos.

**Tabla 26.** Valores promedio de Vs30 obtenidos en cada pozo, tipo de perfil de suelo y valor promedio total de Vs30 del área del proyecto.

<b>TABLA RESUMEN</b>			
<b>POZO</b>	<b>Vs30 (m/s)</b>	<b>Tipo de Perfil</b>	<b>Vs 30 Promedio (m/s)</b>
<b>Pozo 1</b>	355,22	D	<b>334,71</b>
<b>Pozo 2</b>	331,04	D	
<b>Pozo 3</b>	343,67	D	
<b>Pozo 4</b>	325,39	D	
<b>Pozo 5</b>	318,23	D	

**Elaboración:** Jessica Taipe

La Tabla 20 dada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 establece la clasificación de los perfiles de Suelo, cuya clasificación se lo puedo realizar tomando en cuenta el número de golpes o la velocidad media de la onda de cortante, como se muestra a continuación:

#### **Número de golpes (N)**

Cuando el número de golpes es mayor a 50 ( $N \geq 50$ ), se obtiene un tipo de perfil C, conocido como perfiles de suelos muy densos o roca blanda.

#### **Velocidad media de la onda de cortante**

Cuando los valores de velocidad media de la onda de cortante se encuentran en el rango de  $360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$ , se obtiene un perfil D, conocido como perfiles de suelos rígidos.

En este caso tenemos dos tipos de perfil de suelo en el área de estudio C y D, esto se da debido a la variación de la estratigrafía existente en el suelo, pero por criterio conservador se va a utilizar la referencia de la velocidad media de la onda de cortante, cuyo valor final obtenido es  $V_{s30}=334,71\text{m/s}$ , que se encuentra en el rango de  $360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$  indicando que es un **tipo de perfil D**, como se muestra en la Tabla 26.

#### 4.1.5 Ecuaciones de atenuación para sismos intraplaca cortical.

Las ecuaciones de atenuación son una herramienta indispensable para determinar el peligro sísmico de una zona en particular.

Los Sismos corticales intraplaca son lo que ocurren dentro de la placa continental, en la corteza a profundidades menores que 30 km, debido a deformación generada principalmente por la convergencia entre las placas y por esfuerzos locales. [36]

##### 4.1.5.1 Modelo Boore y Atkinson (2008)

Este modelo se encuentra en función de la magnitud del terremoto, la distancia de la fuente al sitio, la velocidad de onda de corte promedio local y el tipo de falla.

Con esta ecuación se determina la aceleración máxima esperada en roca (PGA), la velocidad máxima del terreno (PGV) y el 5% de Pseudoaceleración absoluta de los espectros en los períodos entre 0,01 s y 10 s. [23]

Para períodos inferiores a 1s, el análisis utilizó 1.574 registros en el rango de distancia de 0 km a 400 km. Las variables primarias son la magnitud de momento  $M$ , la distancia horizontal más cercana a la proyección de superficie del plano de fallo conocida como  $R_{JB}$  y la velocidad media de onda de corte desde la superficie hasta 30m conocida como  $V_{s30}$ . [23]

La ecuación para la predicción del movimiento del suelo está dada por:

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{s30}, R_{JB}, M) + \epsilon \sigma_T$$

La función de la distancia está dada por:

$$F_D(R_{JB}, M) = [c_1 + c_2(M - M_{ref})]\ln(R/R_{ref}) + c_3(R - R_{ref})$$

**DÓNDE:**

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2}$$

$c_1, c_2, c_3, M_{ref}, R_{ref}$  y  $h$  son los coeficientes de escala de distancia. (Ver Anexo B-2)  
Para la distancia de referencia, **Rref** se usa un valor de 1km. Esto es conveniente porque las curvas que describen la dependencia de la distancia giran alrededor de  $R = R_{ref}$ . Para la magnitud de referencia, **Mref** se usa un valor de 4.5, ya que se trata de la magnitud aproximada de gran parte de los datos utilizados para determinar los coeficientes fijos. [23]

La escala de magnitud viene dada por:

a)  $M \leq M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_5(M - M_h) + e_6(M - M_h)^2$$

b)  $M > M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_7(M - M_h)$$

**Donde:**

$U, SS, NS$  y  $RS$  son variables ficticias que se usan para indicar el tipo de falla no especificada, transcurrente, normal e inversa, respectivamente, y se encuentran establecidos según los valores de la Tabla 27.

La “magnitud de giro” **Mh**, representa la forma de la escala de magnitud. Si  $M_{max}$  para un período dado es menor que 8.5, realizamos una regresión de dos segmentos, articulada en  $M_h$ . (Ver Anexo B-3)

**Tabla 27.** Valores de variables ficticias para diferentes tipos de fallas.

<b>Tipo de Falla</b>	<b>U</b>	<b>SS</b>	<b>NS</b>	<b>RS</b>
No especificada	1	0	0	0
Transcurrente	0	1	0	0
Normal	0	0	1	0
Inversa	0	0	0	1

**Fuente:** Boore, D. Atkinson, M. (2008). Ecuaciones de predicción de movimiento en el suelo para el componente horizontal promedio de PGA, PGV y PSA amortiguado al 5% en períodos espectrales entre 0.01s y 10.0 s.

**Categorías:**

Transcurrente:  $4.3 \leq M \leq 7.9$ . SS= 1; U= 0; NS= 0; RS= 0

Inversa:  $5.6 \leq M \leq 7.6$ . SS= 0; U= 0; NS= 0; RS= 1

Normal:  $5.3 \leq M \leq 6.9$ . SS= 0; U= 0; NS= 1; RS= 0

La ecuación de amplificación de sitio está dada por:

$$F_S = F_{LIN} + F_{NL}$$

**Donde:**

$F_{LIN}$  y  $F_{NL}$  son los términos lineales y no lineales, respectivamente.

El término lineal está dado por:

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln(V_{S30}/V_{ref})$$

**Donde:**

$b_{lin}$  es un coeficiente que depende del período y  $V_{ref}$  es la velocidad de referencia especificada igual a 760 m/s. Estos coeficientes fueron prescritos de manera empírica según el trabajo de Choi y Stewart 2005.

El término no lineal está dado por:

a)  $pga_{nl} \leq a_1$ :

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{low}/0.1)$$

b)  $a_1 < pga_{4nl} \leq a_2$ :

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{low}/0.1) + c[\ln(pga_{4nl}/a_1)]^2 + d[\ln(pga_{4nl}/a_1)]^3$$

c)  $a_2 < pga_{4nl}$ :

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{4nl}/0.1)$$

**Dónde:**

$a_1=0.03g$  y  $a_2=0.09g$  se les asignan niveles para la amplificación lineal y no lineal, respectivamente,  $pga_{low}=0.06$  es una variable asignada a la transición entre comportamientos lineales y no lineales,  $pga_{4nl}$  es la predicción de PGA en g para  $V_{ref}=760m/s$ , dada por la ecuación principal con  $F_s=0$  y  $\varepsilon=0$ .

Las tres ecuaciones para la porción no lineal de la respuesta del suelo son necesarias por dos razones:

- 1) para evitar que la amplificación no lineal aumente indefinidamente a medida que disminuye  $pga_{4nl}$ .
- 2) para suavizar la transición del comportamiento lineal al no lineal.

Los coeficientes  $c$  y  $d$  están dados por:

$$c = (3\Delta y - b_{nl}\Delta x/\Delta x^2)$$

y

$$d = -(2\Delta y - b_{nl}\Delta x/\Delta x^3)$$

**Donde:**

$$\Delta x = \ln(a_2/a_1)$$

y

$$\Delta y = b_{nl} \ln(a_2/pga_{low})$$

La pendiente no lineal  $b_{nl}$  es una función de ambos períodos y el  $V_{s30}$  está dada por:

$$\text{a) } V_{S30} \leq V_1$$

$$b_{nl} = b_1$$

$$\text{b) } V_1 < V_{S30} \leq V_2$$

$$b_{nl} = (b_1 - b_2) \ln(V_{S30}/V_2) / \ln(V_1/V_2) + b_2$$

$$\text{c) } V_2 < V_{S30} < V_{ref}$$

$$b_{nl} = b_2 \ln(V_{S30}/V_{ref}) / \ln(V_2/V_{ref})$$

$$\text{d) } V_{ref} \leq V_{S30}$$

$$b_{nl} = 0.0$$

**Donde:**

$V_1 = 180\text{m/s}$ ,  $V_2 = 300\text{m/s}$  y  $b_1$  y  $b_2$  son coeficientes dependientes del período (y consecuentemente,  $b_{nl}$  es una función del período así como de  $V_{S30}$  ).

**Limitaciones del modelo**

Estas ecuaciones no deben ser aplicadas para sitios de roca muy dura. Las ecuaciones son aplicables para:

$$M_w = 5 - 8$$

$$V_{S30} = 180\text{-}1300 \text{ m/s}$$

$$R_{JB} < 200 \text{ km}$$

**Tabla 28.** Valores empleados en el modelo de Boore y Atkinson

<b>Mw =</b>	6,5	<b>Rjb(km) =</b>	1,40	Falla Ambato	<b>Vs30</b> (m/s)	334,71			
<b>Mw =</b>	6,3	<b>Rjb(km) =</b>	2,94	Falla Huachi					
<b>Mw =</b>	6,6	<b>Rjb(km) =</b>	2,42	Falla Totoras					
<b>Mw =</b>	6,8	<b>Rjb(km) =</b>	9,45	Falla Samanga					
<b>Tipo de Falla</b>	<b>U</b>	<b>SS</b>	<b>NS</b>	<b>RS</b>					
Inversa	0	0	0	1					
<b>a1</b>	<b>a2</b>	<b>pga_low</b>	<b>V1 (m/s)</b>	<b>V2 (m/s)</b>	<b>Vref (m/s)</b>	<b>Mref</b>	<b>Mh</b>	<b>Rref (Km)</b>	
0,03	0,09	0,06	180	300	760	4,5	6,75	1	

**Elaborado:** Jessica Taipe

#### 4.1.5.2 Modelo Akkar y Bommer (2010)

Akkar y Bommer (2007a) presentaron un nuevo GMPE, basado en la misma base de datos que Ambraseys y otros (2005). La principal motivación fue ampliar el rango de períodos de respuesta, debido a que se requieren ordenadas espectrales en periodos más largos, así como a valores de amortiguación diferentes al omnipresente 5% del crítico. Por esta razón, las ecuaciones de Akkar y Bommer (2007a) se derivaron para predecir los desplazamientos espectrales (SD) y obtener la ecuación para la aceleración máxima del terreno (PGA). [24]

El modelo de Akkar y Bommer consta de un conjunto de datos de 532 acelerogramas registrados a distancias de hasta 100 km de 131 terremotos con magnitudes de Mw 5 a Mw 7.6. [24]

Se deriva ecuaciones para la predicción de la aceleración pseudoespectral del 5%, en unidades de cm/s<sup>2</sup>:

$$\log y = b_1 + b_2 M + b_3 M^2 + (b_4 + b_5 M) \log \sqrt{R_{JB}^2 + b_6^2} + b_7 S_s + b_8 S_A + b_9 F_N + b_{10} F_R$$

**DONDE:**

$b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, \sigma_1, \sigma_2$  = Coeficientes para la predicción de Pseudoaceleración espectral. (Ver Anexo C-1)

$M$ = Magnitud de Momento (Tabla 33)

$R_{JB}$ = Distancia Joyner y Boore (Tabla 7)

$S_S$  y  $S_A$  toman el valor de 1 para sitios de suelos blandos y rígidos ( $V < 360$  m/s); de lo contrario para los sitios de roca ( $V_{S30} > 750$  m/s) es cero; de manera similar,  $F_N$  y  $F_R$  toman el valor de la unidad para terremotos de fallas normales e inversas respectivamente, de lo contrario, es cero.

Al igual que en el modelo original, se utilizó el método de máxima probabilidad de una etapa de Joyner y Boore (1993) para calcular los coeficientes.

Uno de los aspectos a explorar para estas ecuaciones paneuropeas es la exclusión de la profundidad focal, ya que hemos utilizado la distancia de Joyner-Boore ( $R_{JB}$ ), que es la distancia perpendicular a la proyección vertical en la superficie. [24]

**Categorías:**

Suelo blando:  $SS= 1$ ;  $SA=0$ ;  $V_{s30} < 360$ m/s.

Suelo rígido:  $SS= 0$ ;  $SA= 1$ ;

Roca:  $SS= 0$ ;  $SA= 0$ ;  $V_{s30} > 750$ m/s.

**Categorías mecanismo de falla:**

Falla normal:  $FN= 1$ ;  $FR= 0$

Falla inversa:  $FN= 0$ ;  $FR= 1$

Falla transcurrente:  $FN= 0$ ;  $FR= 0$

La variabilidad se descompone en un inter-evento ( $\sigma_2$ ) y un componente intra-evento ( $\sigma_1$ ), la desviación estándar total,  $\sigma$ , viene dada por la raíz cuadrada de la suma de sus cuadrados:



$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

Existe un salto muy pronunciado en los valores de sigma, más notablemente en la variabilidad entre eventos, en aproximadamente 3,2 segundos.

### Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para:

- Se recomiendan hasta un período de 3 segundos.
- El rango de aplicabilidad es para distancias de hasta 100 km y para terremotos de magnitudes entre 5.0 y 7.6.

**Tabla 29.** Valores empleados en el modelo de Akkar y Bommer

<b>Mw =</b>	6,5	<b>Rjb(km) =</b>	1,40	Falla Ambato	<b>Vs30 (m/s)</b>	334,71
<b>Mw =</b>	6,3	<b>Rjb(km) =</b>	2,94	Falla Huachi		
<b>Mw =</b>	6,6	<b>Rjb(km) =</b>	2,42	Falla Totoras		
<b>Mw =</b>	6,8	<b>Rjb(km) =</b>	9,45	Falla Samanga		
<b>Tipo de Falla</b>	<b>FN</b>	<b>FR</b>		<b>Si Vs30 &lt;360 m/s</b>	<b>Ss</b>	<b>SA</b>
Inversa	0	1		Suelo Blando	1	0

**Elaborado:** Jessica Taipe

#### 4.1.5.3 Modelo Kanno (2006)

Debido a los desastrosos terremotos ocurridos en Japón, como el terremoto de 1995 en Hyogo-ken Nanbu, Kobe se instalaron redes que consistían en un gran número de estaciones de observación de movimiento fuerte, como el K-NET (Kinoshita 1998), además de mapas nacionales de riesgo sísmico para prevenir futuros desastres.[25]

Para otras aplicaciones se requieren otros índices como la aceleración espectral de respuesta, por esta razón se estableció una base de datos de registros enteros de movimiento de suelo de Japón entre 1963 y 2003 para identificar una nueva relación

de atenuación estándar, para la aceleración de respuesta y la aceleración máxima de terreno (PGA) y la velocidad (PGV).

Por lo tanto este modelo tiene solo tres variables: magnitud de terremoto, distancia más corta al plano de falla sísmica y profundidad focal. [25]

La ecuación para la predicción del movimiento del suelo está dada por:

### **Eventos Superficiales**

Si  $D \leq 30$  Km:

$$\log \text{pre} = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 10^{0.5M_w}) + c_1 + \varepsilon_1$$

### **Eventos Profundos**

Si  $D > 30$  Km:

$$\log \text{pre} = a_2 M_w + b_2 X - \log(X) + c_2 + \varepsilon_2$$

### **DONDE:**

pre es el PGA o la aceleración espectral de respuesta amortiguada del 5% (cm / seg<sup>2</sup>)

D = profundidad focal (km).

M= Magnitud de Momento (Tabla 33)

X= Distancia Joyner y Boore. (Tabla 7)

$a_1, b_1, c_1, d_1, \varepsilon_1, p, q$  = Coeficientes de regresión para el modelo de eventos superficiales de PGA, PGV y espectros de respuesta de aceleración amortiguada del 5%. (Ver Anexo D-1)

En el caso de terremotos poco profundos, se utiliza un esquema de ponderación adoptado por Midorikawa y Ohtake (2003), donde considera:

- 6.0 ( $X \leq 25$  km)
- 3.0 ( $25 < X \leq 50$  km)
- 1.5 ( $50 < X \leq 75$  km)
- 1.0 ( $X > 75$  km)

Zhao et al. (2004) utilizaron factores de amplificación individuales para cuatro clases de sitios discretos. Para obtener un término de corrección de sitio continuo, asumimos la siguiente ecuación simple:

$$G = p \log Vs_{30} + q$$

Donde **G** es un término de corrección adicional correspondiente a los efectos del sitio y  $\log(\text{obs} / \text{pre})$  es el residuo entre la amplitud observada de PGA, PGV y la aceleración espectral (obs) y los valores predichos (pre) por el modelo base. Los coeficientes p y q se obtuvieron mediante análisis de regresión de los residuos promediados a intervalos de cada 100 m/seg en  $Vs_{30}$ . El valor predicho después de aplicar los términos de correcciones adicionales ( $\text{pre}_G$ ) se puede interpretar de la siguiente manera:

$$\log \text{pre}_G = \log \text{pre} + G$$

### **Limitaciones del Modelo**

Se adoptaron dos modelos de regresión simple:

- Para eventos superficiales con una profundidad focal de 0 a 30 km
- Para eventos profundos con una profundidad focal de 30 a 180 km.

**Tabla 30.** Valores empleados en el modelo de Kanno

<b>Mw =</b>	6,5	<b>Rjb(km) =</b>	1,40	Falla Ambato	<b>Vs30 (m/s)</b>	334,71
<b>Mw =</b>	6,3	<b>Rjb(km) =</b>	2,94	Falla Huachi		
<b>Mw =</b>	6,6	<b>Rjb(km) =</b>	2,42	Falla Totoras		
<b>Mw =</b>	6,8	<b>Rjb(km) =</b>	9,45	Falla Samanga		

<b>Tipo de Evento</b>	Superficial
-----------------------	-------------

**Elaborado:** Jessica Taipe

#### **4.1.6 Ecuaciones de atenuación para subducción.**

Las ecuaciones de atenuación consideran dos tipos de subducción, los sismos de interplaca e intraplaca. Las zonas de subducción de sismos interplaca son superficiales y tienen un ángulo de empuje menor para eventos que ocurre en la superficie entre las placas de subducción y las placas superiores.

Las zonas de subducción para sismos intraplaca ocurren dentro de las placas oceánicas de subducción y son típicamente eventos de fallas normales de alto ángulo que responden a la tensión invertida en la placa de subducción.

La profundidad focal para estos modelos de subducción será de 125 km, ya que en eventos registrados las profundidades han sido mayores a los 100 km. [26]

##### **4.1.6.1 Modelo Youngs (1997)**

El desarrollo de las relaciones de atenuación en este modelo es considerado apropiado para los sismos de magnitudes 5 o mayores, y para distancias de superficie de rotura de 10 a 500 kilómetros.

Se presenta relaciones de atenuación para subducción de zonas sísmicas. Se considera dos tipos de subducción: los terremotos de interplaca e intraplaca.

Las zonas de subducción de sismos interplaca son superficiales y los sismos intraplaca ocurren dentro de las placas oceánicas de subducción. Los parámetros de la fuente del sismo, (localización del epicentro, profundidad focal, magnitud, y mecanismo de expansión desde el foco) son recopilados de estudios especializados de Harvard. [26]

La ecuación para la predicción del movimiento del suelo está dada por:

$$\ln(y) = -0,6687 + 1,438M + C_1 + C_2(10 - M)^3 \\ + C_3 \ln(R + 1,097e^{0,617M}) + 0,00648H + 0,3643 Z_T$$

**DONDE:**

Y = aceleración espectral en g.

H= Profundidad focal

M= Magnitud de Momento (Tabla 33)

R= Distancia Joyner y Boore. (Tabla 7)

ZT= Tipo de origen, 0 para interplaca, 1 para intraplaca.

c1, c2, c3= Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral horizontal (5% de amortiguación) para terremotos de subducción. (Ver Anexo E-1)

**Categorías:**

- **Suelo Profundo:** La profundidad a la roca madre es mayor a 20 metros.

Z=1, Zds= 1, Zss=0, Zr=0

- **Suelo Poco Profundo:** La profundidad a la roca madre es menor a 20 metros.

Z=0, Zds=0, Zss=1, Zr=0

## Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para:

- Magnitudes desde  $M_w = 5$
- Profundidades focales entre 10 y 229 km

**Tabla 31.** Valores empleados en el modelo de Youngs

<b>M<sub>w</sub></b>	<b>R<sub>jb</sub> (km)</b>	<b>H (km)</b>	<b>Tipo Tectónico</b>	<b>Z<sub>T</sub></b>
8,9	297,74	125	Intraplaca	1

**Elaborado:** Jessica Taipe

### 4.1.6.2 Modelo Zhao (2006)

Se presenta un modelo de atenuación de aceleración espectral para Japón y el conjunto de datos incluye una gran cantidad de registros de movimiento de suelo fuerte.

Para eventos de subducción, se emplea un factor de modificación de distancia simple para lograr predicciones imparciales. Se presenta la magnitud de terremoto, distancia más corta al plano de falla sísmica y profundidad focal. [27]

La ecuación para la predicción del movimiento del suelo está dada por:

$$\log y = aM_w + bx - \log(r) + e(h - hc) \delta h + F_R + S_I + S_S + S_{SL} \log(x) + Ck$$

$$r = x + c \exp(d M_w)$$

**DONDE:**

$y$  = PGA ( $\text{cm}/\text{seg}^2$ ) o 5% de espectro de respuesta de aceleración amortiguada para un período espectral  $T$ .

$Ck$  = Término de clase de sitio para un tipo de suelo determinado

$r$ =Factor de modificación de distancia simple

$M_w$ = Magnitud del momento. (Tabla 33)

$x$  = Distancia de Joyner y Boore. (Tabla 7)

$h$  = profundidad focal en kilómetros.

### **Profundidades focales (h)**

Evento Cortical:  $h= 0 - 25$  km

Eventos interplaca:  $h= 10 - 50$  km

Eventos intraplaca:  $h= 15 - 162$  km

- El parámetro de falla inversa  $F_R$  se aplica solo a eventos corticales con un mecanismo de fallas inversas y es cero para todos los demás eventos.
- El parámetro tectónico  $S_I$  se aplica a eventos interplaca y es 0 para todos los demás eventos.
- El parámetro  $S_S$  se aplica solo a eventos de subducción y es cero para todos los demás eventos.
- El parámetro  $S_{SL}$  es un término de modificación independiente de la magnitud para los eventos intraplaca.
- Los coeficientes **a, b, c, d, e**, el término de clase de sitio **Ck**, el término de falla inversa  $F_R$  y los términos de tipo de fuente  $S_I, S_S, S_{SL}$  se determinan mediante análisis de regresión para cada período. ( Ver Anexo F-1)

### **El coeficiente $h_c$ es una constante de profundidad**

- Cuando  $h > h_c$  el término de la profundidad  $(h-h_c)$  toma efecto con  $\delta h$  que es una variable ficticia, por lo tanto  $\delta h= 0$  cuando  $h < h_c$  y  $\delta h=1$  cuando  $h \geq h_c$ .
- Cuando  $h > 125$ km se utiliza  $h=125$ km de modo que es un factor constante usado para terremotos más profundos.
- Para el coeficiente de profundidad  $h_c$  se usa el valor de 15 km, ya que este valor parece tener el mejor efecto de profundidad para eventos superficiales (con profundidad  $< 25$  km).

### Clasificación de los Eventos

- Para eventos de Interfase usar el valor de S1
- Para eventos de Intraplaca usar los valores de SS y SSL

El parámetro Ck se usa en basa a las 5 clases de sitio definidas en el estudio de Zhao:

- Roca Dura denominada clase A, donde  $Vs30 > 1100$  m/s. Usar datos de CH
- Roca con clase de sitio A + B, donde  $Vs30 > 600$  m/s. Usar datos de C1
- Suelo Duro con clase de sitio C, donde  $300 < Vs30 \leq 600$  m/s. Usar datos de C2
- Suelo Medio de clase D, donde  $200 < Vs30 \leq 300$  m/s. Usar datos de C3
- Suelo Suave de clase E + F, donde  $Vs30 \leq 200$  m/s. Usar datos de C3

**Tabla 32.** Valores empleados en el modelo de Zhao

		Tipo Tectónico			Tipo de Falla	Vs30 (m/s)
Mw =	8,9	Intraplaca			Inversa	334,71
X (km) =	297,74	S1	SS	SSL	FR	Ck
h (km) =	50	0	Usar los datos de la tabla establecida por Zhao		1	Usar los datos de la tabla dada por Zhao
hc (km) =	0					
δh =	1					

**Elaborado:** Jessica Taipe



## 4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 4.2.1 Magnitud de las fallas

La ecuación establecida por Wells y Coppersmith sirve para determinar la magnitud de momento  $M_w$  con la fórmula que se muestra a continuación:

$$M = a + b * \log(SRL)$$

**Dónde:**

a, b: Coeficientes dados por Wells y Coppersmith (Tabla 1)

SRL: Longitud de rotura superficial dada en km. (Tabla 7)

Se procede a realizar el cálculo de la magnitud de momento para cada una de las fallas seleccionadas, a continuación se muestra un ejemplo tomando el caso de la falla Ambato.

$$M = a + b * \log(SRL)$$

$$M = 5 + 1.22 * (16.30)$$

$$M = 6.48$$

Los coeficientes a y b se obtienen de la tabla 1 (Wells y Coppersmith) y los valores de la longitud de la falla Ambato (SRL) se tomó de la tabla 7.

**Tabla 33.** Magnitud de momento calculado ( $M_w$ ) de cada una de las Fallas Geológicas seleccionadas

CÓDIGO	NOMBRE	MAGNITUD DE MOMENTO(M)
EC-344b	AMBATO	6,48
EC-344a	HUACHI	6,32
EC-345	TOTORAS	6,55
EC-54	SAMANGA	6,85
EC-223	SUBDUCCIÓN	8,89

**Elaborado:** Jessica Taipe.

## **4.2.2 Cálculo de Espectros**

El espectro de respuesta es una importante herramienta de la dinámica estructural y de gran utilidad en el área del diseño sismorresistente, fue propuesta por Biot en 1932 y desarrollados por Housner, Newmark y otros investigadores. El espectro muestra la respuesta máxima expresada en términos de desplazamiento, velocidad y aceleración que produce una acción dinámica determinada en una estructura.

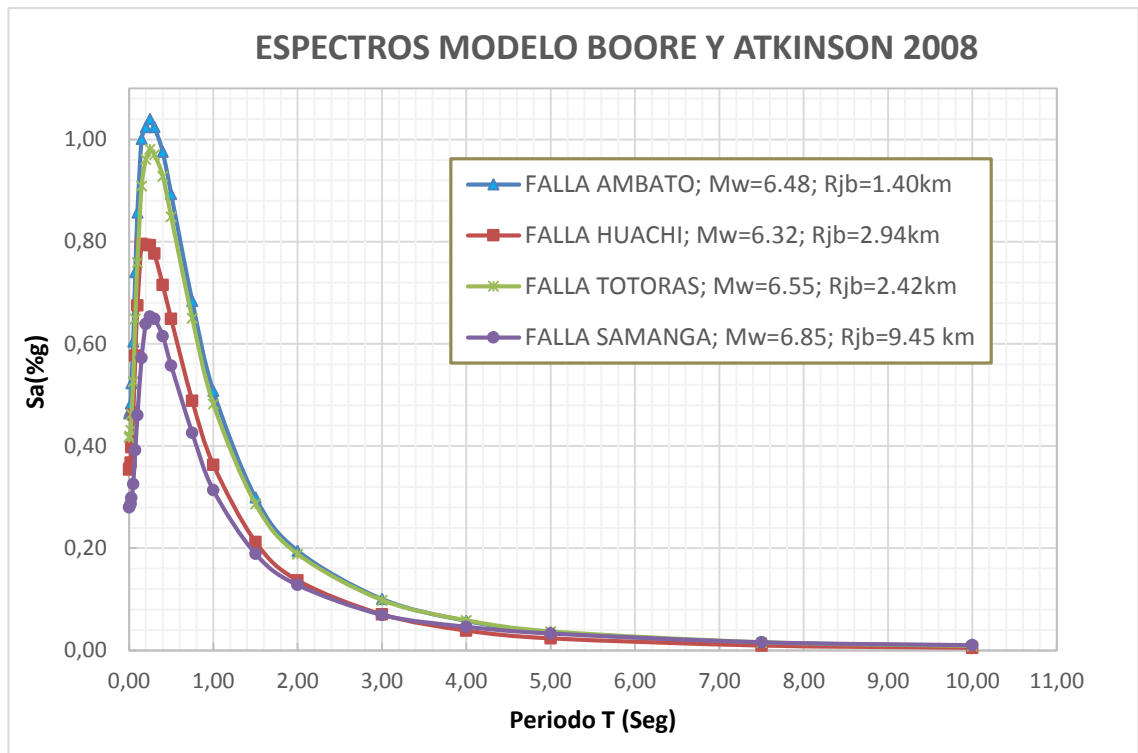
La gráfica del espectro presenta en el eje de las abscisas el periodo propio de la estructura y en el eje de las ordenadas la respuesta máxima calculada para distintos factores de amortiguamiento. [37]

Una vez seleccionadas las fallas, identificado el sitio de estudio, calculada la Magnitud de momento, la velocidad media de la onda de cortante y analizado las ecuaciones de atenuación se continúan con las gráficas de los espectros de respuesta. Se realizará la comparación de los espectros de aceleración obtenidos con los modelos mencionados anteriormente y con los espectros obtenidos de la NEC-15.

### **4.2.2.1 Espectros calculados con el modelo de Boore y Atkinson 2008**

En el siguiente gráfico se muestra el espectro obtenido con el modelo de Boore y Atkinson 2008 para cada una de las fallas corticales (Falla Ambato, Huachi, Totoras y Samanga). Éste modelo requiere el valor de la velocidad media de la onda de cortante para lo cual se utilizó el  $V_{s30}$  calculado, correspondiente a 334.71 m/s. (Tabla 26)

**Figura 19.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson 2008, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas



**Elaboración:** Jessica Taipe

En la figura 19 se observa que la Falla Ambato tiene un período de 0.25seg correspondiente a un aceleración de 1.04g, la Falla Totoras y Samanga tienen un período de 0.3seg y una aceleración de 0.98g y 0.65g respectivamente y la Falla Huachi con un período de 0.15seg y aceleración de 0.91g.

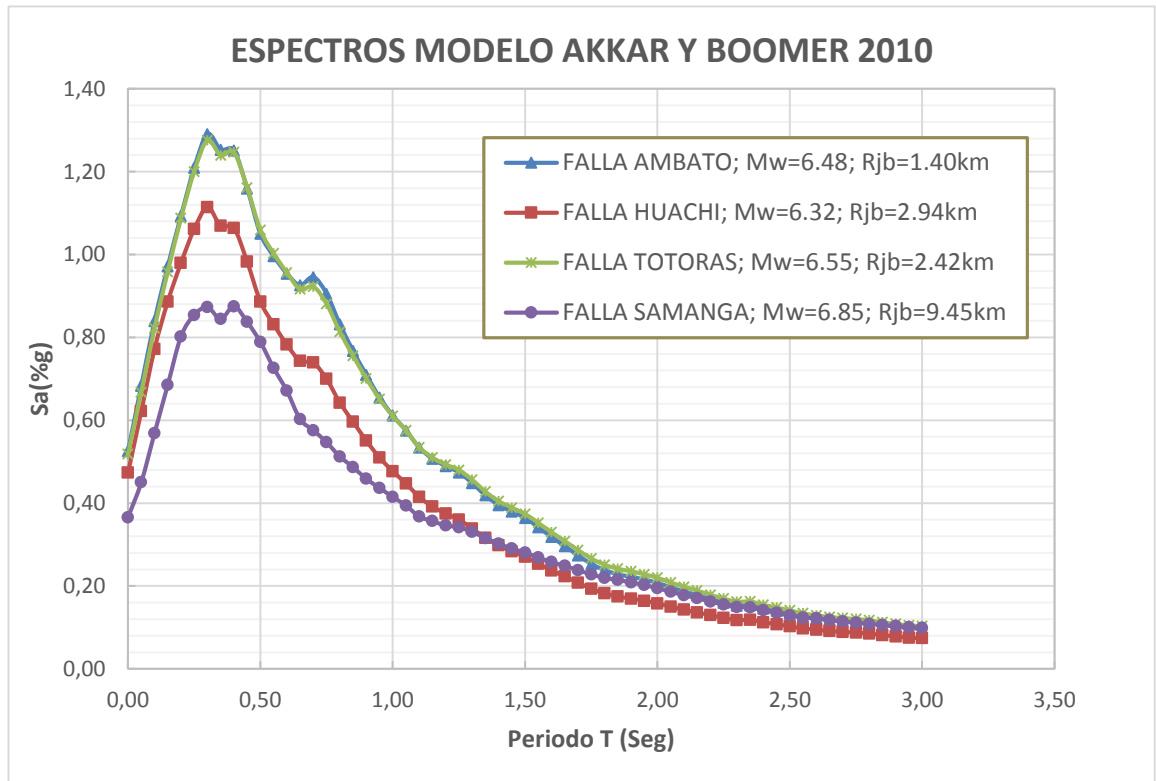
Estos valores indican que la **Falla Ambato** es la que predomina en el modelo de Boore y Atkinson con un valor máximo de aceleración de **1.04g** correspondiente a un período de **0.25seg** y después va decreciendo hasta llegar a un período de 10seg.

Con respecto a la Falla Ambato que es la que posee un valor máximo de aceleración, existe una variación del 12.50% a la Falla Huachi, el 5.77% a la Falla Totoras y el 37.50% a la Falla Samanga.

#### 4.2.2.2 Espectros calculados con el Modelo de Akkar y Bommer 2010

En la figura 20 se muestra el espectro obtenido con el modelo de Akkar y Bommer 2010 para cada una de las fallas corticales (Falla Ambato, Huachi, Totoras y Samanga).

**Figura 20.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Akkar y Boomer 2010, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas



**Elaboración:** Jessica Taipe

En la figura 20 se observa que la Falla Ambato y Totoras coinciden, con un período de 0.30seg correspondiente a una aceleración de 1.28g, la Falla Huachi tiene un período de 0.3seg y una aceleración de 1.11g y la Falla Samanga con un período de 0.4 seg correspondiente a una aceleración de 0.88g.

Estos valores indican que la **Falla Ambato** y la **Falla Totoras** predominan en el modelo de Akkar y Boomer con un valor máximo de aceleración de **1.28g** correspondiente a un período de **0.30 seg** y después va decreciendo hasta llegar a un período de 3seg.

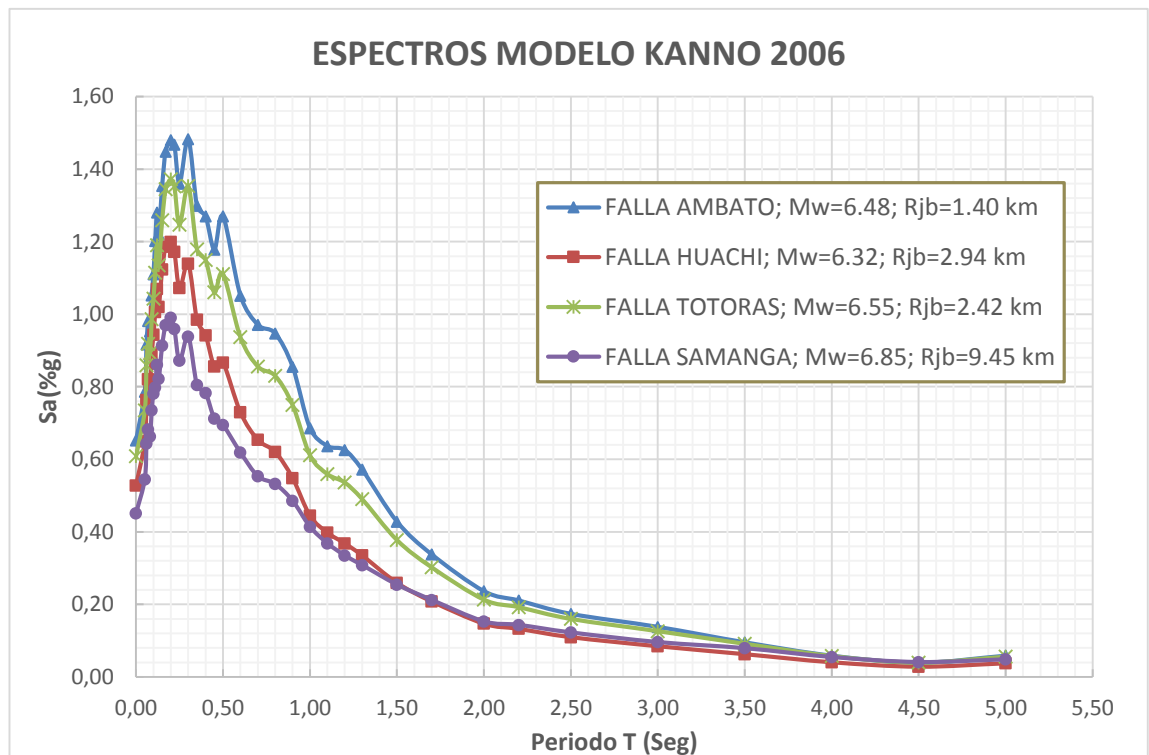
Con respecto a la Falla Ambato y Totoras que son las que poseen un valor máximo de aceleración, existe una variación del 13.28% a la Falla Huachi y el 31.25% a la Falla Samanga.

#### 4.2.2.3 Espectros calculados con el Modelo de Kanno 2006.

En la figura 21 se muestra el espectro obtenido con el modelo de Kanno 2006 para cada una de las fallas corticales (Falla Ambato, Huachi, Totoras y Samanga).

Éste modelo requiere el valor de la velocidad media de la onda de cortante para lo cual se utilizó el Vs30 calculado, correspondiente a 334.71 m/s. (Tabla 26)

**Figura 21.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Kanno 2006, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas



**Elaboración:** Jessica Taipe

En la figura 21 se observa que la Falla Ambato, Huachi, Totoras y Samanga tienen un período de 0.20seg correspondiente a una aceleración de 1.48g, 1.2g, 1.37g y 0.99g respectivamente. Estos valores indican que la **Falla Ambato** predomina en el modelo de Kanno con un valor máximo de aceleración de **1.48g** correspondiente a un período

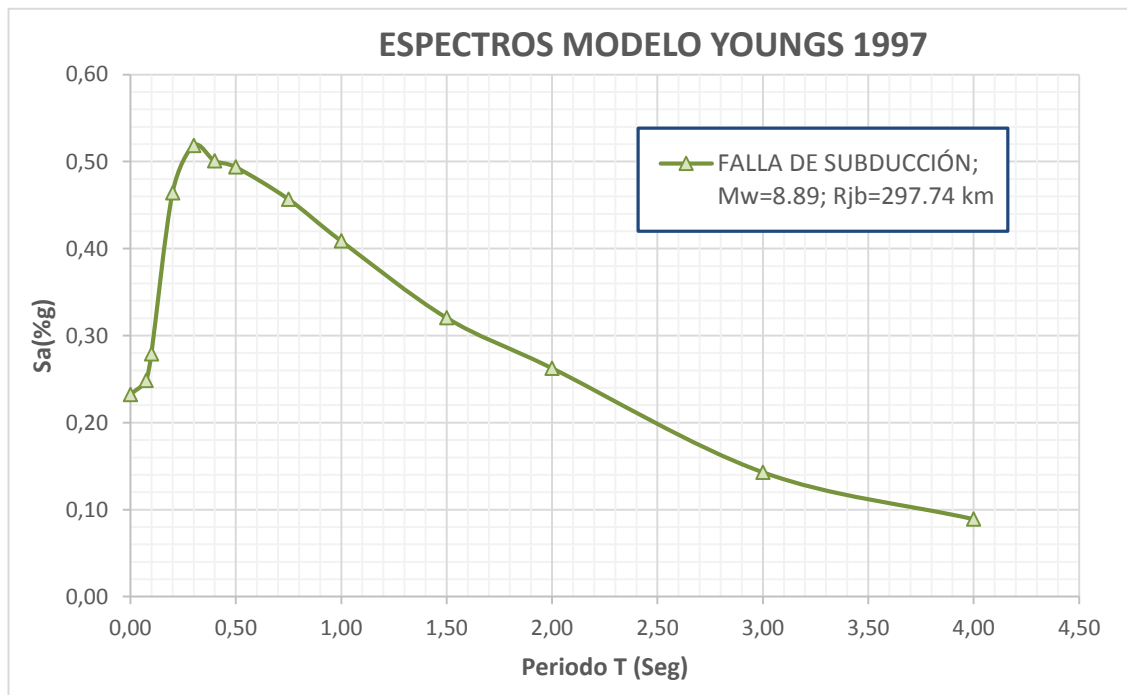
de **0.20 seg** y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5seg.

Con respecto a la Falla Ambato que es la que posee un valor máximo de aceleración, existe una variación del 18.92% a la Falla Huachi, el 7.43% a la Falla Totoras y el 33.11% a la Falla Samanga.

#### 4.2.2.4 Espectros calculados con el Modelo de Youngs 1997.

En la siguiente figura se muestra el espectro obtenido con el modelo de Youngs 1997 para la falla de Subducción.

**Figura 22.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Youngs 1997, utilizando la falla de subducción



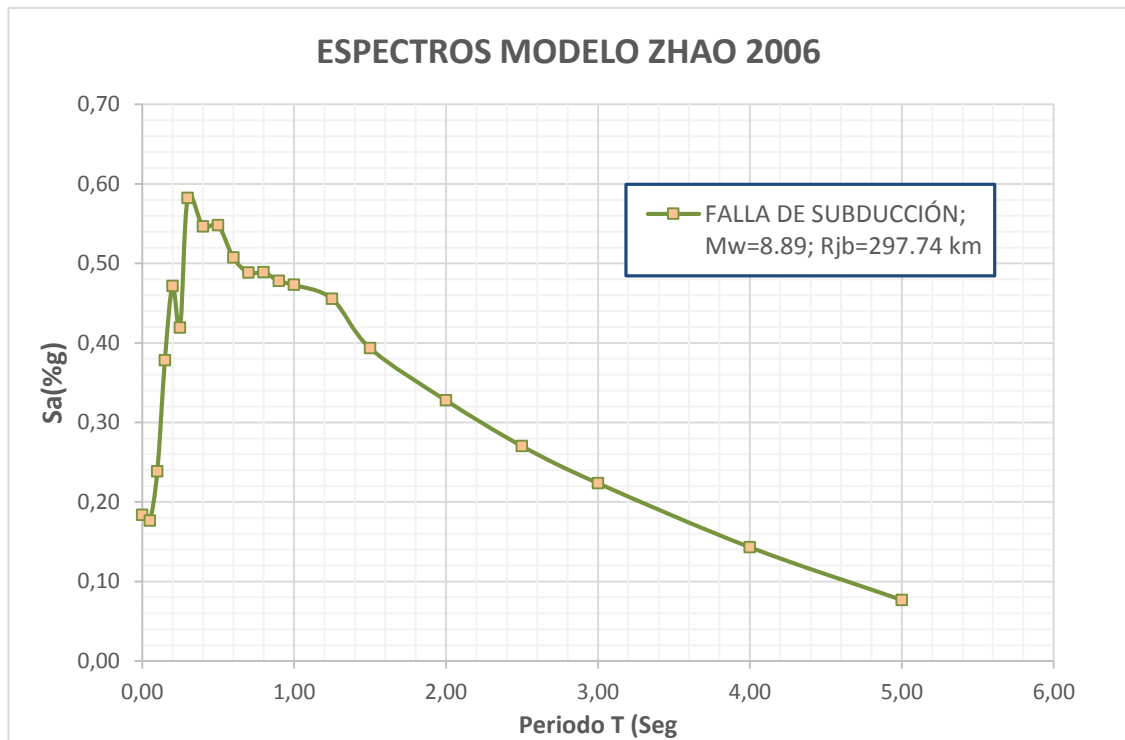
**Elaboración:** Jessica Taipe

En la figura 22 se muestra un espectro de aceleración correspondiente a la falla de subducción, en donde se puede observar que los valores de aceleración van creciendo mientras el período aumenta hasta llegar a un valor máximo de aceleración de **0.52g** en un período de **0.3seg** y después la aceleración va decreciendo hasta llegar a un período límite de 4seg.

#### 4.2.2.5 Espectros calculados con el Modelo de Zhao 2006.

En la siguiente figura se muestra el espectro obtenido con el modelo de Zhao 2006 para la falla de Subducción.

**Figura 23.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Zhao 2006, utilizando la falla de subducción



**Elaboración:** Jessica Taipe

En la figura 23 se muestra un espectro de aceleración correspondiente a la falla de subducción, en donde se puede observar que los valores de aceleración van creciendo hasta llegar a un primer valor pico de aceleración de 0,47g en un periodo de 0,2seg, luego la aceleración decrece momentáneamente y vuelve a aumentar a un valor máximo de aceleración de **0,58g** en un periodo de **0,3seg**, posterior a este pico los valores van disminuyendo hasta llegar a un periodo límite de 5seg.

A continuación se muestra una tabla resumen con todas las aceleraciones máximas, períodos y su variación porcentual para cada uno de los modelos y fallas.

**Tabla 34.** Valores de aceleraciones máximas y su variación porcentual.

<b>MODELO BOORE Y ATKINSON</b>				
<b>Fallas</b>	<b>Aceleración máx.(Sa)</b>	<b>Período (T)</b>	<b>Variación % de Aceleración</b>	
Ambato	1,04	0,25	<b>Modelos</b>	<b>%</b>
Huachi	0,91	0,15	Ambato-Huachi	12,50
Totoras	0,98	0,30	Ambato-Totoras	5,77
Samanga	0,65	0,30	Ambato-Samanga	37,50
<b>MODELO AKKAR Y BOOMER</b>				
<b>Fallas</b>	<b>Aceleración máx.(Sa)</b>	<b>Período (T)</b>	<b>Variación % de Aceleración</b>	
Ambato	1,28	0,30	<b>Modelos</b>	<b>%</b>
Huachi	1,11	0,30	Ambato-Huachi	13,28
Totoras	1,28	0,30	Ambato-Totoras	0,00
Samanga	0,88	0,40	Ambato-Samanga	31,25
<b>MODELO KANNO</b>				
<b>Fallas</b>	<b>Aceleración máx.(Sa)</b>	<b>Período (T)</b>	<b>Variación % de Aceleración</b>	
Ambato	1,48	0,20	<b>Modelos</b>	<b>%</b>
Huachi	1,20	0,20	Ambato-Huachi	18,92
Totoras	1,37	0,20	Ambato-Totoras	7,43
Samanga	0,99	0,20	Ambato-Samanga	33,11
<b>MODELO YOUNGS</b>				
<b>Fallas</b>	<b>Aceleración máx.(Sa)</b>		<b>Período (T)</b>	
Subducción	0,52		0,3	
<b>MODELO ZHAO</b>				
<b>Fallas</b>	<b>Aceleración máx.(Sa)</b>		<b>Período (T)</b>	
Subducción	0,58		0,3	

**Elaboración:** Jessica Taipe

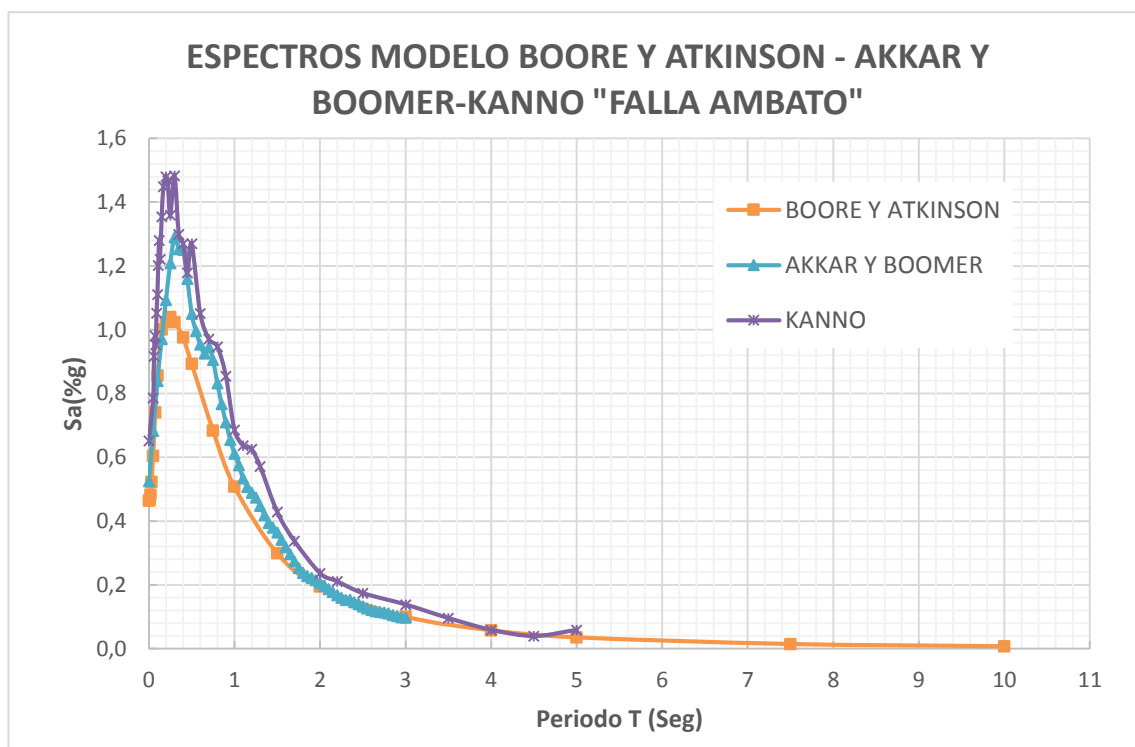
De la tabla 34 se puede concluir que de las 14 aceleraciones máximas obtenidas el **7.14%** ocurren para períodos de **0.15seg, 0.25seg, 0.4seg, 0.52seg, 0.58seg**, mientras que el **35.71%** ocurre en un período de **0.30seg** y el **28.57%** ocurre en un período de **0.2seg**.



### 4.2.3 Espectros con los modelos para una falla.

Se procede a graficar el espectro de aceleración con cada uno de los modelos establecidos (Boore y Atkinson-Akkar y Boomer- Kanno- Young- Zhao) para cada una de las fallas mencionadas anteriormente (Falla Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y Subducción)

**Figura 24.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson-Akkar y Boomer- Kanno, para la falla Ambato

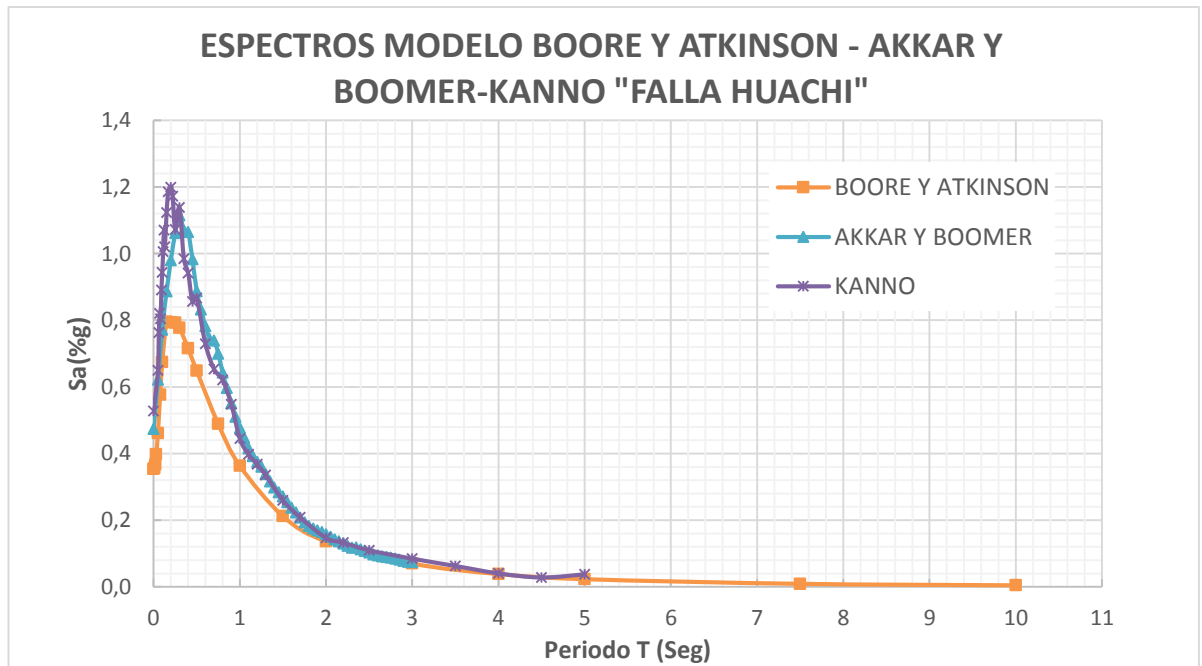


**Elaboración:** Jessica Taipe

En la figura 24 se observa que el modelo de Boore y Atkinson – Kanno tiene un período de 0.20seg correspondiente a un aceleración de 1.09g y 1.48g respectivamente y el modelo de Akkar y Boomer tiene una aceleración de 1.3g en un periodo de 0.35seg. Estos valores indican que el modelo de **Kanno** es la que predomina en la Falla Ambato con un valor máximo de aceleración de **1.48g** correspondiente a un período de **0.2seg** y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5seg.

Con respecto al modelo de Kanno que es el que presenta el valor máximo de aceleración, existe una variación del 12.16% al modelo de Akkar y Boomer, el 26.35% al modelo de Boore y Atkinson.

**Figura 25.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson- Akkar y Boomer- Kanno, para la falla Huachi

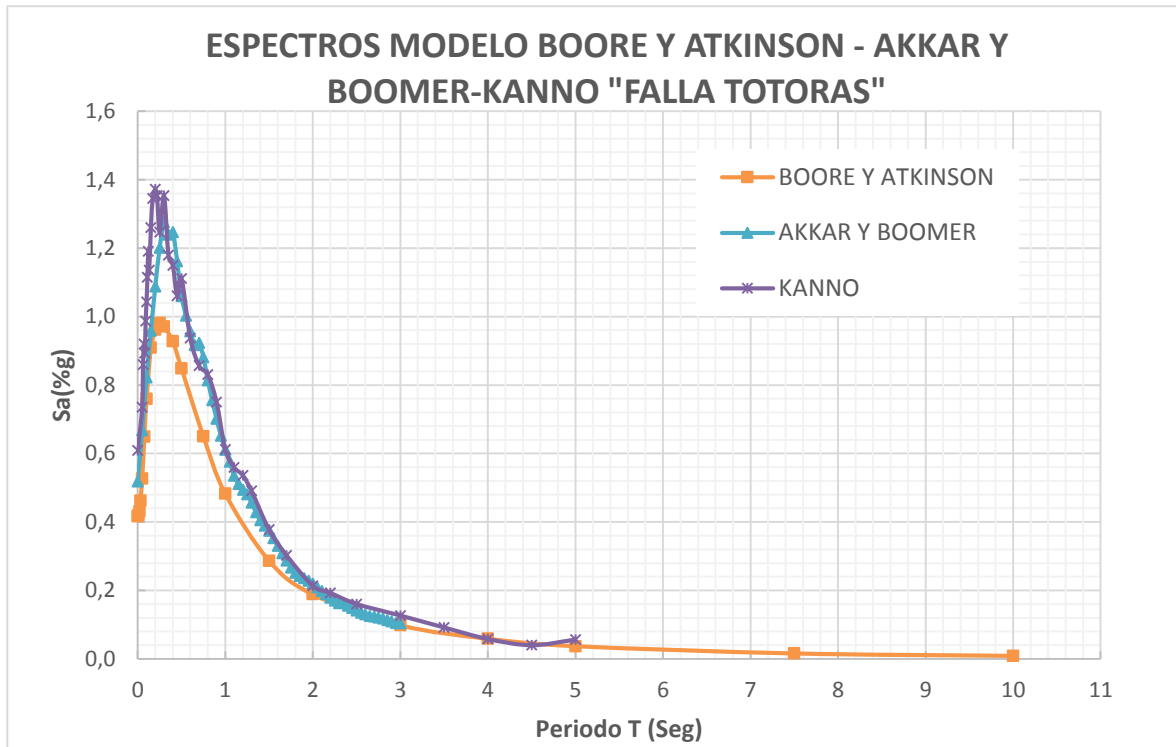


**Elaboración:** Jessica Taipe

En la figura 25 se observa que el modelo de Boore y Atkinson – Kanno tiene un período de 0.20seg correspondiente a un aceleración de 0.80g y 1.20g respectivamente y el modelo de Akkar y Boomer tiene una aceleración de 1.11g en un periodo de 0.30seg. Estos valores indican que el modelo de **Kanno** es la que predomina en la Falla Huachi con un valor máximo de aceleración de **1.20g** correspondiente a un período de **0.2seg** y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5seg.

Con respecto al modelo de Kanno que es el que presenta el valor máximo de aceleración, existe una variación del 7.50% al modelo de Akkar y Boomer, el 33.33% al modelo de Boore y Atkinson.

**Figura 26.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson-Akkar y Boomer- Kanno, para la falla Totoras



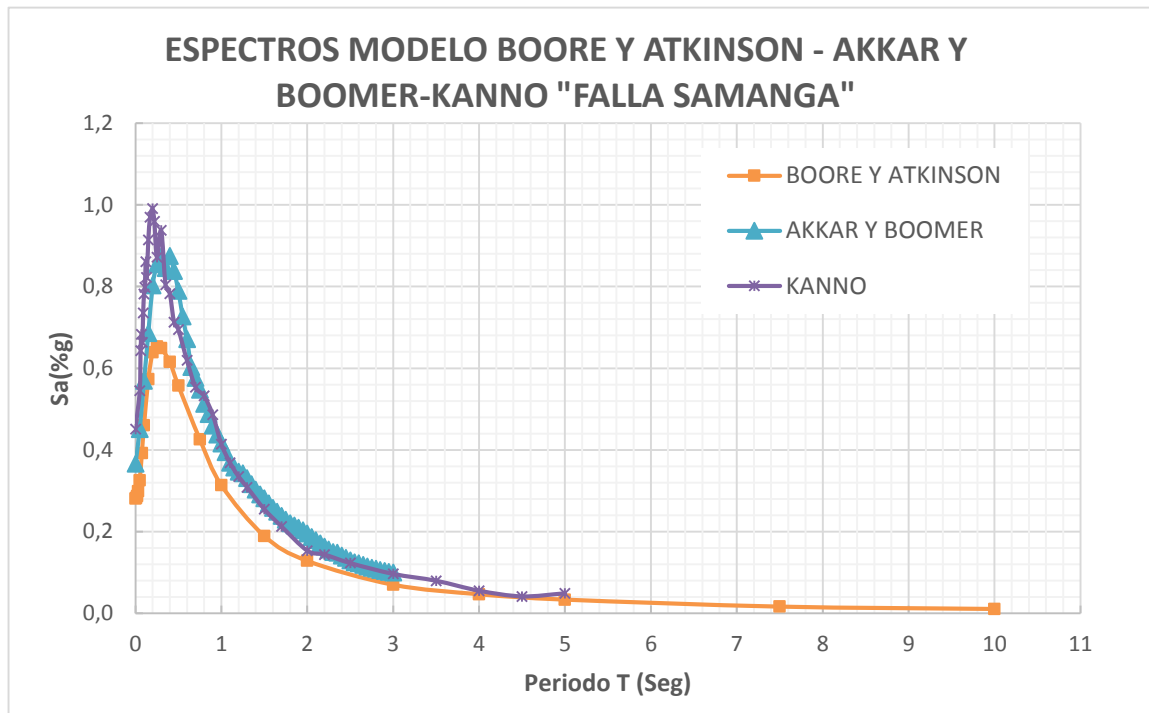
**Elaboración:** Jessica Taipe

La figura 26 muestra que el modelo de Boore y Atkinson – Akkar y Boomer tiene un período de 0.30seg correspondiente a un aceleración de 0.97g y 1.28g respectivamente y el modelo de Kanno tiene una aceleración de 1.37g en un periodo de 0.20seg.

Estos valores indican que el modelo de **Kanno** es la que predomina en la Falla Totoras con un valor máximo de aceleración de **1.37g** correspondiente a un período de **0.2seg** y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5seg.

Con respecto al modelo de Kanno que es el que presenta el valor máximo de aceleración, existe una variación del 6.57% al modelo de Akkar y Boomer, el 19.17% al modelo de Boore y Atkinson.

**Figura 27.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson- Akkar y Boomer- Kanno, par a la falla Samanga

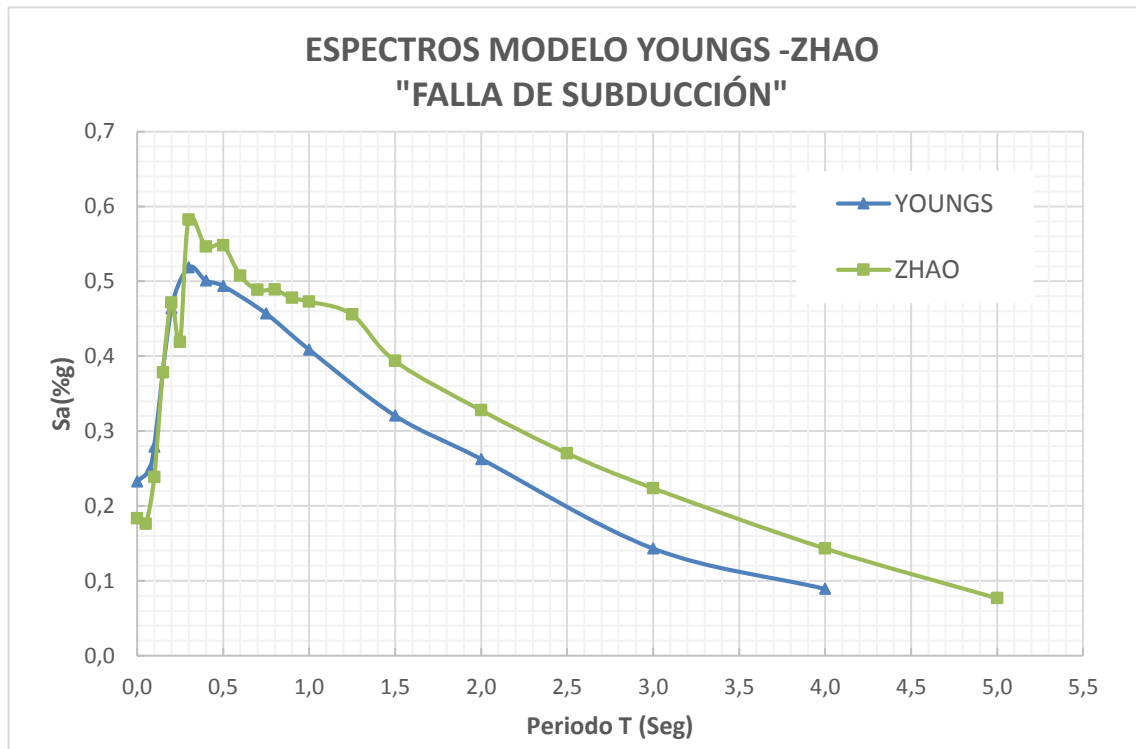


**Elaboración:** Jessica Taipe

La figura 27 muestra que el modelo de Boore y Atkinson – Akkar y Boomer tiene un período de 0.30seg correspondiente a un aceleración de 0.85g y 0.87g respectivamente y el modelo de Kanno tiene una aceleración de 0.99g en un periodo de 0.20seg. Estos valores indican que el modelo de **Kanno** es la que predomina en la Falla Samanga con un valor máximo de aceleración de **0.99g** correspondiente a un período de **0.2seg** y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5seg.

Con respecto al modelo de Kanno que es el que presenta el valor máximo de aceleración, existe una variación del 12.12% al modelo de Akkar y Boomer, el 14.14% al modelo de Boore y Atkinson.

**Figura 28.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Youngs y Zhao, para la falla de Subducción.



**Elaboración:** Jessica Taipe

En la figura 28 se muestra dos modelos de espectros, el modelo de Zhao y Youngs, cuya aceleración es 0.58g y su período es 0.30seg. Estos valores indican que ambos modelos tienen el mismo valor máximo de aceleración.

En el modelo de Zhao se puede observar también que los valores de aceleración van creciendo hasta llegar a un primer valor pico de aceleración de 0.47g en un período de 0.2seg, luego la aceleración decrece momentáneamente y vuelve a aumentar a un valor máximo de aceleración de **0.58g** en un periodo de **0.3seg**, posterior a este pico los valores van disminuyendo hasta llegar a un periodo límite de 5seg.

A continuación se muestra una tabla resumen con todas las aceleraciones máximas, períodos y su variación porcentual para cada uno de los modelos y fallas.

**Tabla 35.** Valores de aceleraciones máximas y su variación porcentual

<b>FALLA AMBATO</b>				
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración máx.(Sa)</b>	<b>Período (T)</b>	<b>Variación % de Aceleración</b>	
Kanno	1,48	0,20	<b>Modelos</b>	<b>%</b>
Akkar y Boomer	1,30	0,30	Kanno - Akkar y Boomer	12,16
Boore y Atkinson	1,09	0,20	Kanno - Boore y Atkinson	26,35
<b>FALLA HUACHI</b>				
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración máx.(Sa)</b>	<b>Período (T)</b>	<b>Variación % de Aceleración</b>	
Kanno	1,20	0,20	<b>Modelos</b>	<b>%</b>
Akkar y Boomer	1,11	0,30	Kanno - Akkar y Boomer	7,50
Boore y Atkinson	0,80	0,20	Kanno - Boore y Atkinson	33,33
<b>FALLA TOTORAS</b>				
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración máx.(Sa)</b>	<b>Período (T)</b>	<b>Variación % de Aceleración</b>	
Kanno	1,37	0,20	<b>Modelos</b>	<b>%</b>
Akkar y Boomer	1,28	0,30	Kanno - Akkar y Boomer	6,57
Boore y Atkinson	0,97	0,30	Kanno - Boore y Atkinson	19,17
<b>FALLA SAMANGA</b>				
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración máx.(Sa)</b>	<b>Período (T)</b>	<b>Variación % de Aceleración</b>	
Kanno	0,99	0,20	<b>Modelos</b>	<b>%</b>
Akkar y Boomer	0,87	0,30	Kanno - Akkar y Boomer	12,12
Boore y Atkinson	0,85	0,30	Kanno - Boore y Atkinson	14,14
<b>FALLA SUBDUCCIÓN</b>				
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración máx.(Sa)</b>	<b>Período (T)</b>	<b>Variación % de Aceleración</b>	
Youngs	0,58	0,30	<b>Modelos</b>	<b>%</b>
Zhao	0,58	0,30	Youngs- Zhao	0,00

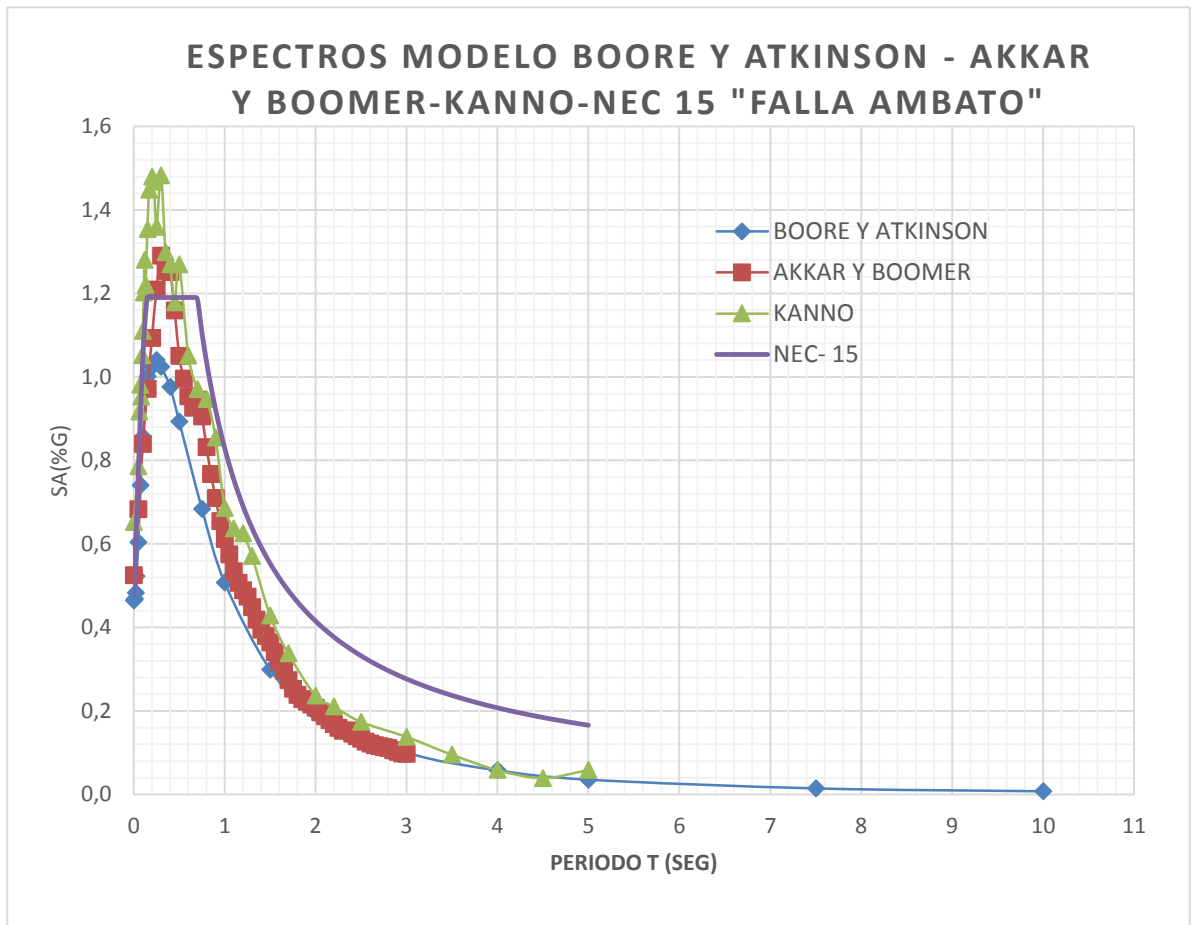
**Elaboración:** Jessica Taipe

De la tabla 34 se puede concluir que 6 de las 14 aceleraciones máximas obtenidas ocurren en un período **0.2seg** las cuales representan el **42.86%**, mientras tanto los 8 valores restantes de aceleración ocurren en un periodo de **0.3seg** que representan **57.14%**.

#### 4.2.4 Espectros con la NEC-15

A continuación se realiza la comparación de los espectros con los modelos establecidos para cada una de las fallas seleccionadas y el espectro de la NEC-15.

**Figura 29.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson- Akkar y Boomer- Kanno- NEC 15 para la falla Ambato

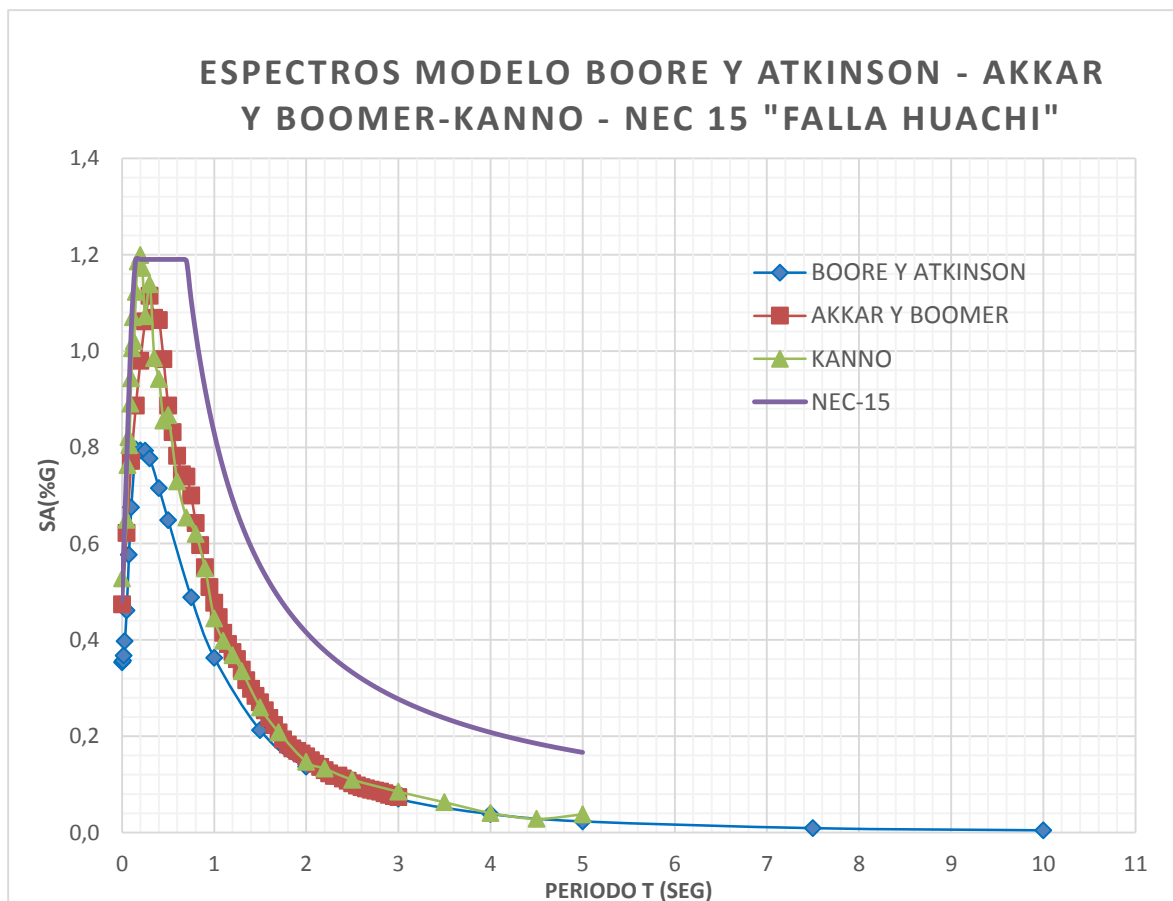


**Elaboración:** Jessica Taipe

En la figura 29 se observa que el espectro de Boore y Atkinson está totalmente dentro del rango de los valores de aceleración del espectro de la NEC15, mientras que el modelo de Akkar y Boomer y el modelo de Kanno lo sobrepasan durante un intervalo de período, pero después vuelve a descender colocándose nuevamente dentro del rango.

El espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración máxima de **1.19g** durante un periodo de **0.25seg a 0.70seg**, este valor supera al obtenido con el modelo Boore y Atkinson (1.09g) en un 8.40%, en cambio el espectro de Akkar y Boomer (1.3g) supera al espectro de la NEC-15 durante un período de 0.30seg a 0.50seg en un 8.40%. El modelo de **Kanno** supera al modelo de la NEC-15 durante un periodo de **0.15seg a 0.55seg** en donde la aceleración máxima del modelo de Kanno es **1.48g** que representa una variación de **19.59%**.

**Figura 30.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson- Akkar y Boomer- Kanno-NEC 15, para la falla Huachi



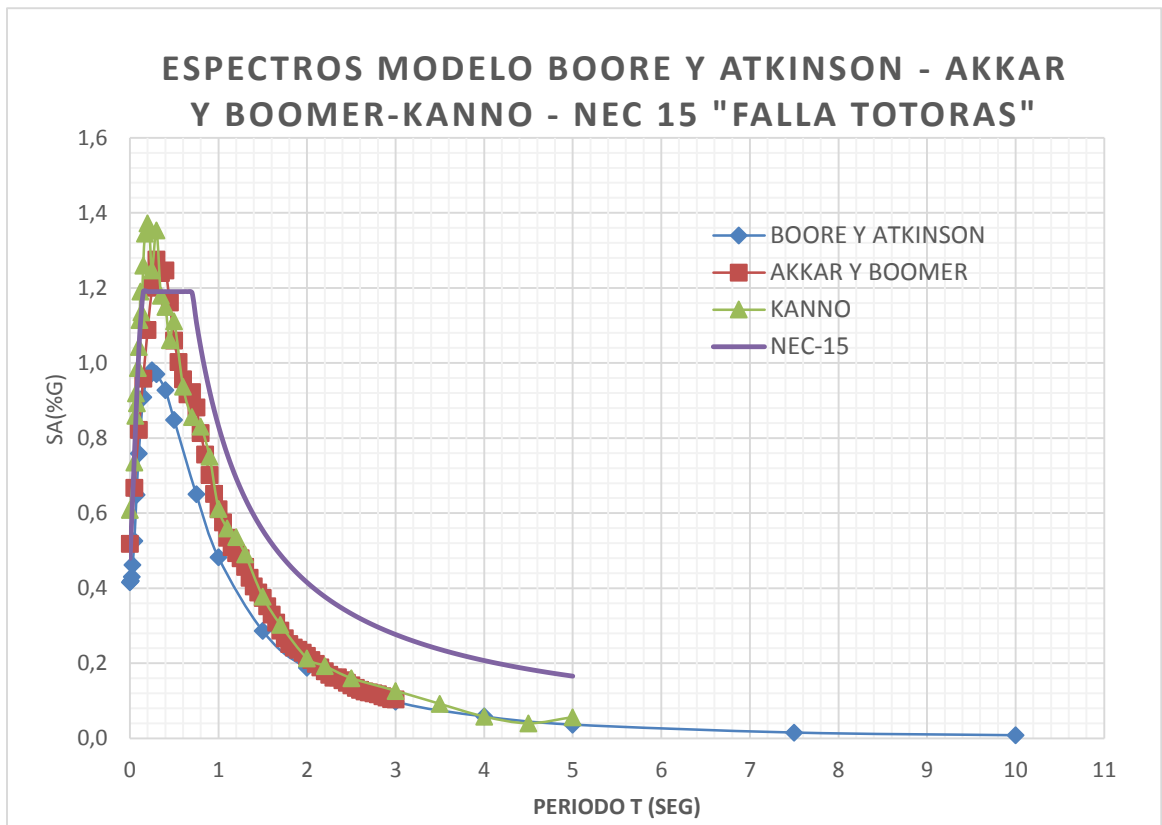
**Elaboración:** Jessica Taipe

En la figura 30 se observa que los espectros de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno están totalmente dentro del rango de los valores de aceleración del espectro de la NEC15.



El espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración máxima de **1.19g** durante un periodo de **0.25seg a 0.70seg**, este valor supera al obtenido con el modelo Boore y Atkinson (0.80g) en un 32.77%, al modelo Akkar y Boomer (1.11g) en un 6.72% y para el modelo de **Kanno** presenta el mismo valor máximo de aceleración de **1.19g** con un período de **0.20seg**.

**Figura 31.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson- Akkar y Boomer- Kanno – NEC15, para la falla Totoras

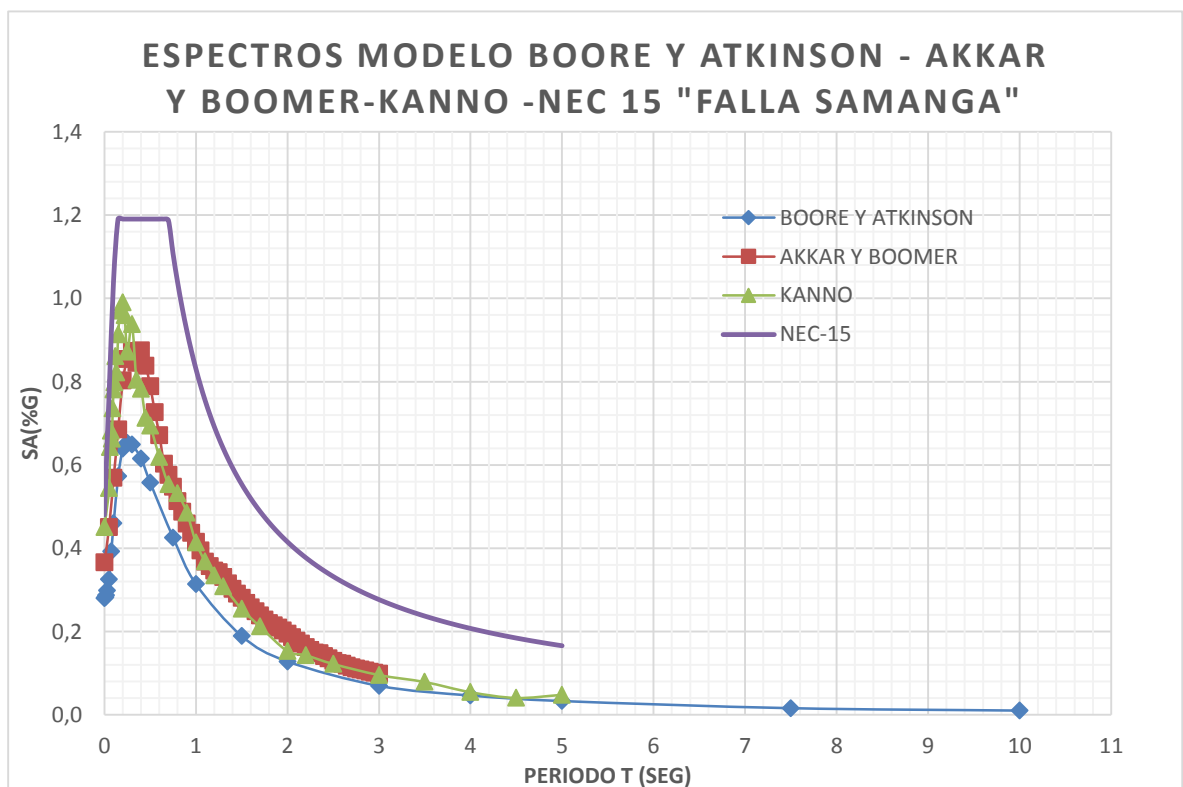


**Elaboración:** Jessica Taipe

En la figura 31 se observa que el espectro de Boore y Atkinson está totalmente dentro del rango de los valores de aceleración del espectro de la NEC15, mientras que el modelo de Akkar y Boomer y el modelo de Kanno lo sobrepasan durante un intervalo de período, pero después vuelve a descender colocándose nuevamente dentro del rango.

El espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración máxima de **1.19g** durante un periodo de **0.25seg a 0.70seg**, este valor supera al obtenido con el modelo Boore y Atkinson (0.97g) en un 18.49%, en cambio el espectro de Akkar y Boomer (1.28g) supera al espectro de la NEC-15 durante un período de 0.25seg a 0.45seg en un 7.03%. El modelo de **Kanno** supera al modelo de la NEC-15 durante un período de **0.25seg a 0.30seg** en donde la aceleración máxima del modelo de Kanno es **1.37g** que representa una variación de **13.14%**.

**Figura 32.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson- Akkar y Boomer- Kanno- NEC 15, para la falla Samanga

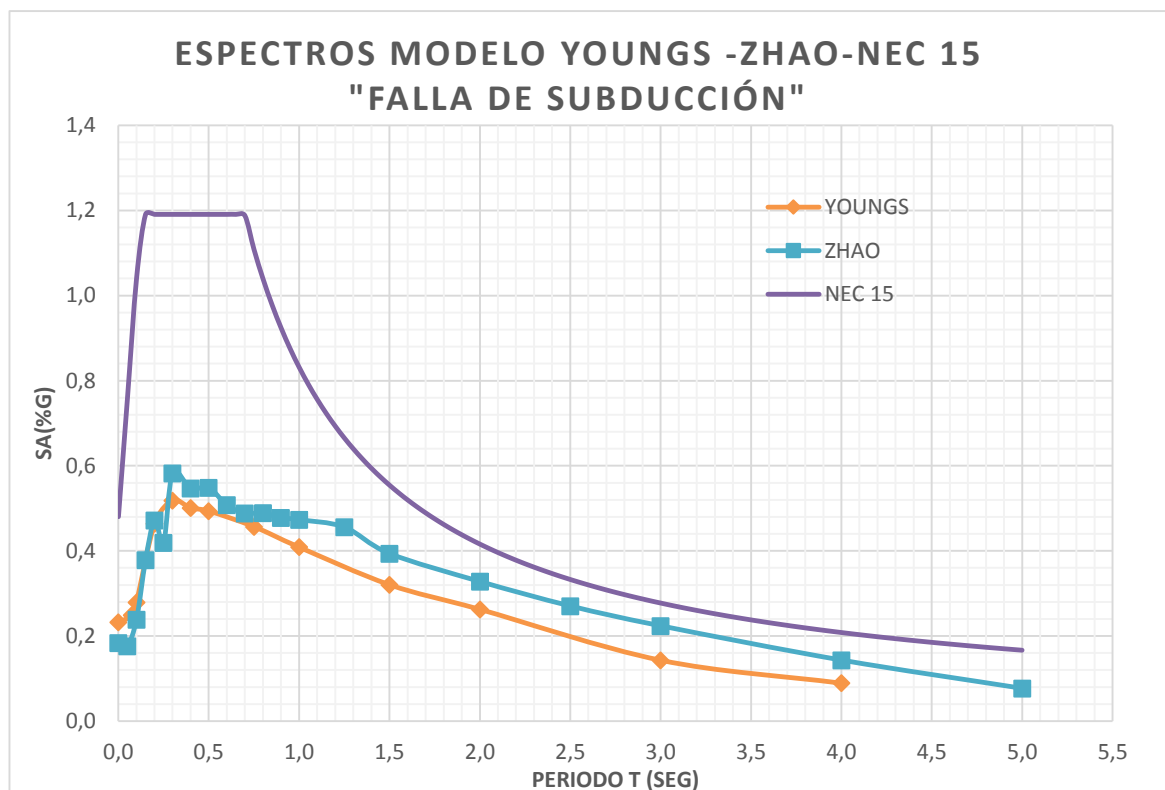


**Elaboración:** Jessica Taipe

En la figura 32 se observa que los espectros de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno están totalmente dentro del rango de los valores de aceleración del espectro de la NEC15.

El espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración máxima de **1.19g** durante un periodo de **0.25seg a 0.70seg**, este valor supera al obtenido con el modelo Boore y Atkinson (0.85g) en un 28.57%, al modelo Akkar y Boomer (0.87g) en un 26.89% y al modelo de Kanno (0.99g) en un 16.81%.

**Figura 33.** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Youngs – Zhao- NEC 15, para la falla de Subducción



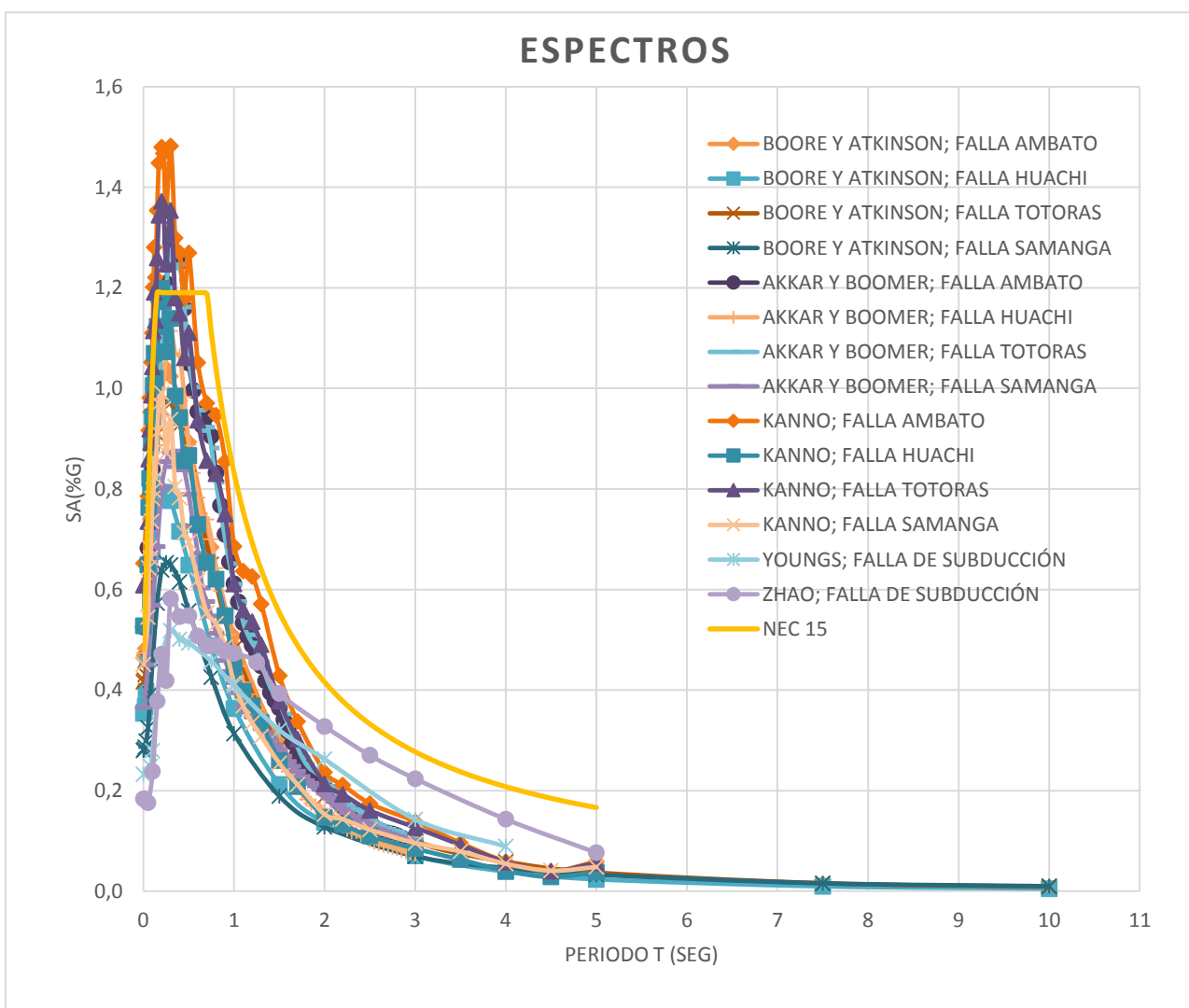
**Elaboración:** Jessica Taipe

En la figura 33 se observa que los espectros de los modelos de Zhao y Youngs están totalmente dentro del rango de los valores de aceleración del espectro de la NEC15. El espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración máxima de **1.19g** durante un período de **0.25seg a 0.70seg**, este valor supera al obtenido con el modelo de Zhao y Youngs los cuales tienen una aceleración máxima de **0.58g** en un período de **0.30seg** que representa el **51.26%**.

#### 4.2.5 Espectros de todos los modelos con la NEC-15

A continuación se muestra la gráfica del espectro de aceleración con cada uno de los modelos establecidos (Boore y Atkinson-Akkar y Boomer- Kanno- Young- Zhao) para cada una de las fallas mencionadas anteriormente ((Falla Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y Subducción) y el espectro de la NEC 15.

**Figura 34.** Espectros de aceleración obtenidos con todos los modelos mencionados, con todas las fallas corticales y de subducción y el espectro de la NEC 15



**Elaboración:** Jessica Taipe

En la figura 34 se puede observar que los espectros generados por las fallas corticales predominan en periodos cortos y afectan a estructuras de 2 a 3 pisos, al igual que los espectros generados por la falla de subducción.

Es importante mencionar que para cada una de las fallas corticales empleadas el modelo de Kanno es el que más sobresale, ya que con este modelo se obtuvo la máxima aceleración para cada una de las fallas, además supera al espectro de la NEC-15 para las fallas Ambato y Totoras.

#### 4.2.6 Espectro determinístico comparado con la NEC-15

Para obtener el espectro determinístico se toman los valores máximos de aceleración de los modelos graficados con cada una de las fallas, para después compararlo con el espectro de la NEC 15.

En la siguiente tabla se observa los valores para del espectro determinístico de aceleración y su gráfica.

**Tabla 36.** Valores de los períodos y aceleraciones para el espectro determinístico.

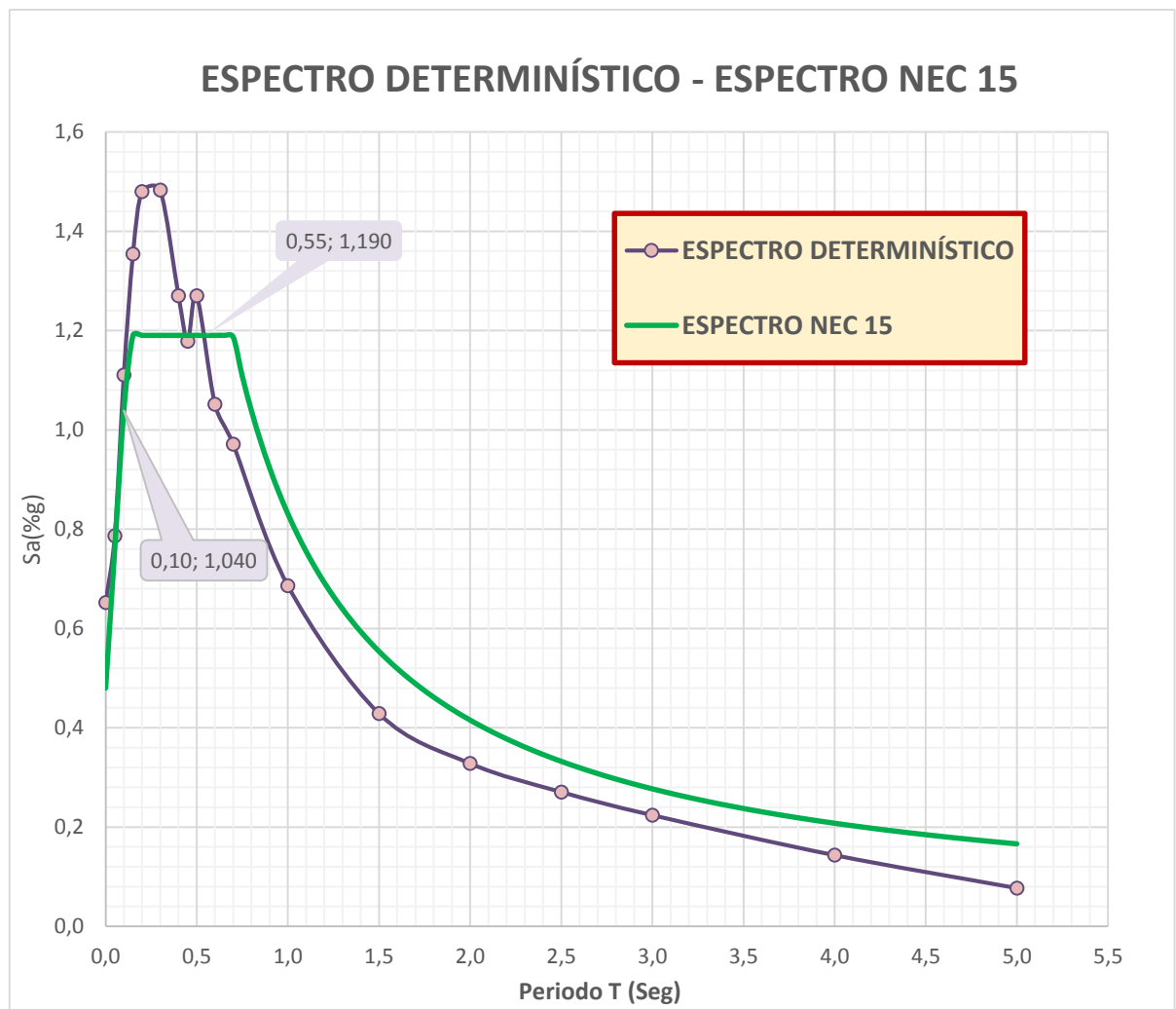
<b>ESPECTRO DETERMINÍSTICO</b>	
<b>T(seg)</b>	<b>Sa(g)</b>
0	0,65
0,01	0,47
0,02	0,48
0,03	0,52
0,05	0,79
0,06	0,92
0,07	0,98
0,075	0,74
0,08	0,95
0,09	1,05
0,1	1,11
0,11	1,20
0,12	1,28
0,13	1,22
0,15	1,35
0,17	1,45
0,2	1,48
0,22	1,47
0,25	1,36

0,3	1,48
0,35	1,30
0,4	1,27
0,45	1,18
0,5	1,27
0,55	1,00
0,6	1,05
0,65	0,93
0,7	0,97
0,75	0,91
0,8	0,95
0,85	0,77
0,9	0,85
0,95	0,66
1	0,69
1,05	0,58
1,1	0,64
1,15	0,51
1,2	0,63
1,25	0,48
1,3	0,57
1,35	0,43
1,4	0,41
1,45	0,39
1,5	0,43
1,55	0,35
1,6	0,33
1,65	0,31
1,7	0,34
1,75	0,27
1,8	0,25
1,85	0,24
1,9	0,24
1,95	0,23
2	0,33
2,05	0,21
2,1	0,20
2,15	0,19
2,2	0,21
2,25	0,17
2,3	0,16
2,35	0,16
2,4	0,15
2,45	0,15
2,5	0,27
2,55	0,13
2,6	0,13
2,65	0,13
2,7	0,12
2,75	0,12
2,8	0,12

2,85	0,11
2,9	0,11
3	0,22
3,5	0,10
4	0,14
4,5	0,04
5	0,08

**Elaboración:** Jessica Taipe

**Figura 35.** Espectro determinístico comparado con el espectro de la NEC 15



**Elaboración:** Jessica Taipe

La figura 35 muestra el espectro determinístico y el de la NEC-15 para el área de estudio, el espectro determinístico sobrepasa al espectro de la NEC durante un intervalo de período, pero después vuelve a descender bajo dicho espectro.

Se puede observar que los valores de aceleración del espectro determinístico van creciendo hasta llegar a un primer valor máximo de aceleración de **1.48g** en un período de **0.3seg**, luego la aceleración decrece momentáneamente y vuelve a aumentar a un valor pico de aceleración de **1.27g** en un período de **0.5seg**, posterior a este pico los valores van disminuyendo bajo el espectro de la NEC-15 hasta llegar a un período límite de 5seg.

El espectro determinístico supera al espectro de la NEC-15 durante un período de **0.10 seg a 0.55 seg** en donde la aceleración máxima del modelo es de **1.48g** que representa una variación de **19.59%** con respecto a la NEC-15, y a partir del período 0.55s empieza a descender bajo el espectro de la NEC 15.



#### 4.2.7 Comportamiento estructural de las estructuras tipo en el sitio de análisis.

Se procede a modelar tres estructuras tipo ubicadas en el sitio de estudio, para lo cual se utilizó el programa ETABS 2016 v16, con la finalidad de analizar su comportamiento estructural y verificar si los resultados adquiridos cumplen con lo establecido en la Norma Ecuatoriano de Construcción NEC 2015.

##### 4.2.7.1 Reducción de los espectros elásticos.

Para la modelación de las estructuras se ingresan los espectros reducidos, por lo tanto se procede a reducir el espectro de la NEC 15 y el espectro determinístico, que se calcula con la siguiente expresión:

$$C = \frac{I * S_a}{R * \phi_P * \phi_E}$$

#### Donde:

C= Coeficiente de reducción.

I= Factor de importancia.

S<sub>a</sub>=Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g).

R= Factor de reducción de resistencia sísmica.

ϕ<sub>P</sub>= Coeficiente de configuración en planta.

ϕ<sub>E</sub>= Coeficiente de configuración en elevación.

**Tabla 37.** Coeficientes obtenidos para la reducción de los espectros elásticos

ESTRUCTURAS TIPO	ϕ <sub>P</sub>	ϕ <sub>E</sub>	I	R
ESTRUCTURA 2 PISOS	1	1	1	8
ESTRUCTURA 3 PISOS	0.9	1	1	8
ESTRUCTURA 4 PISOS	1	0.9	1	8

**Elaboración:** Jessica Taipe

#### 4.2.7.2 Características estructurales de las edificaciones en el sitio.

A continuación se indica las secciones de los elementos estructurales empleadas en las tres estructuras tipo:

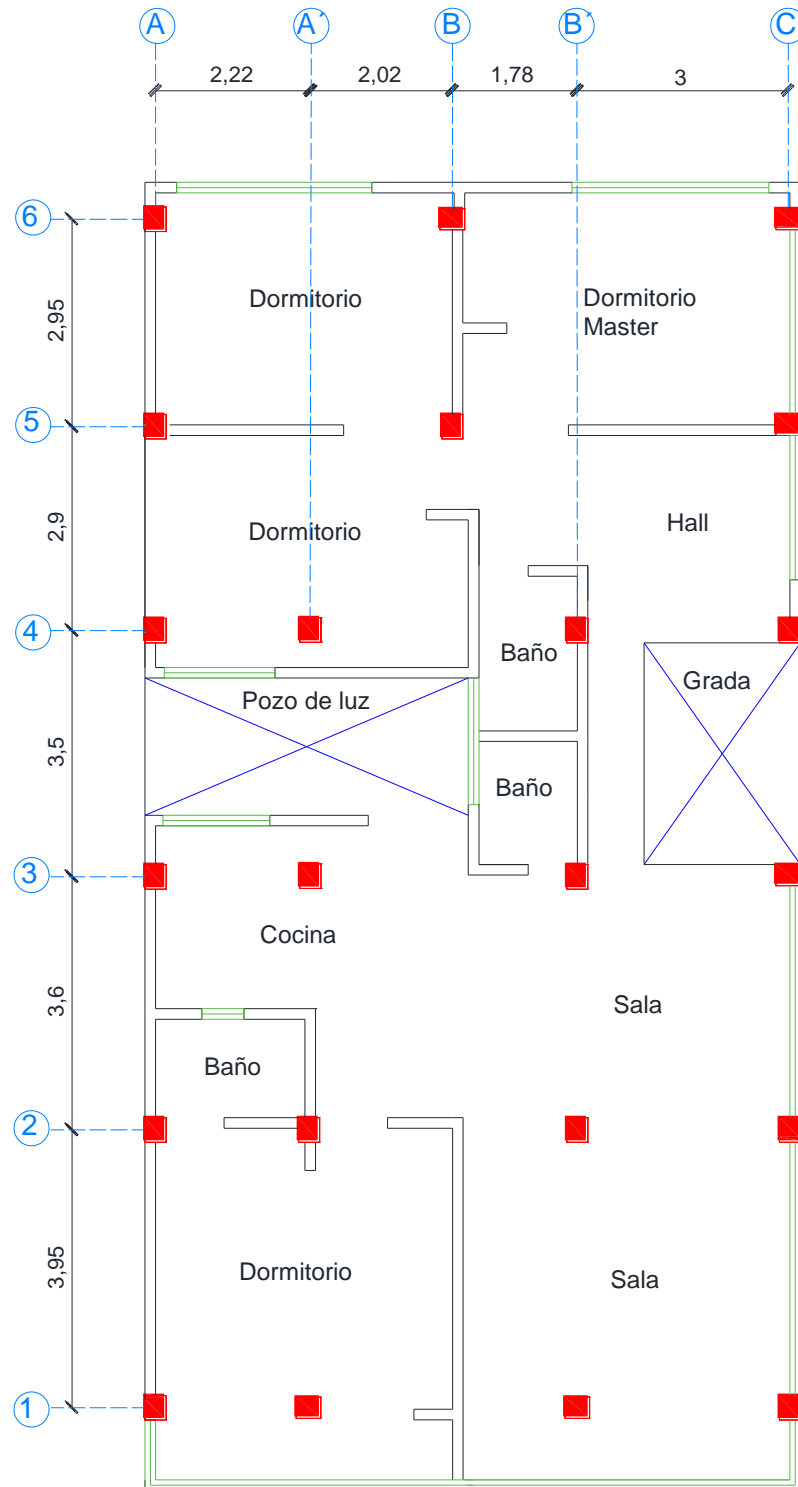
**Tabla 38.** Secciones de elementos estructurales

<b>ESTRUCTURAS TIPO</b>	<b>COLUMNAS</b>	<b>VIGAS</b>	<b>VIGAS DE VOLADO</b>	<b>LOSA</b>	<b>ALTURA</b>
ESTRUCTURA 2 PISOS	(30x35)cm	(25x30)cm	(20x20)cm	20cm	7.54 m
ESTRUCTURA 3 PISOS	(30x30)cm	(25x30)cm	(20x20)cm	20cm	10.20 m
ESTRUCTURA 4 PISOS	(30x35)cm	(30x30)cm	(20x20)cm	20cm	13.32 m

**Elaboración.** Jessica Taipe

Además se muestra la Vista en planta de las tres estructuras en el sitio de análisis.

**Figura 36.** Vista en planta de la estructura de 2 pisos

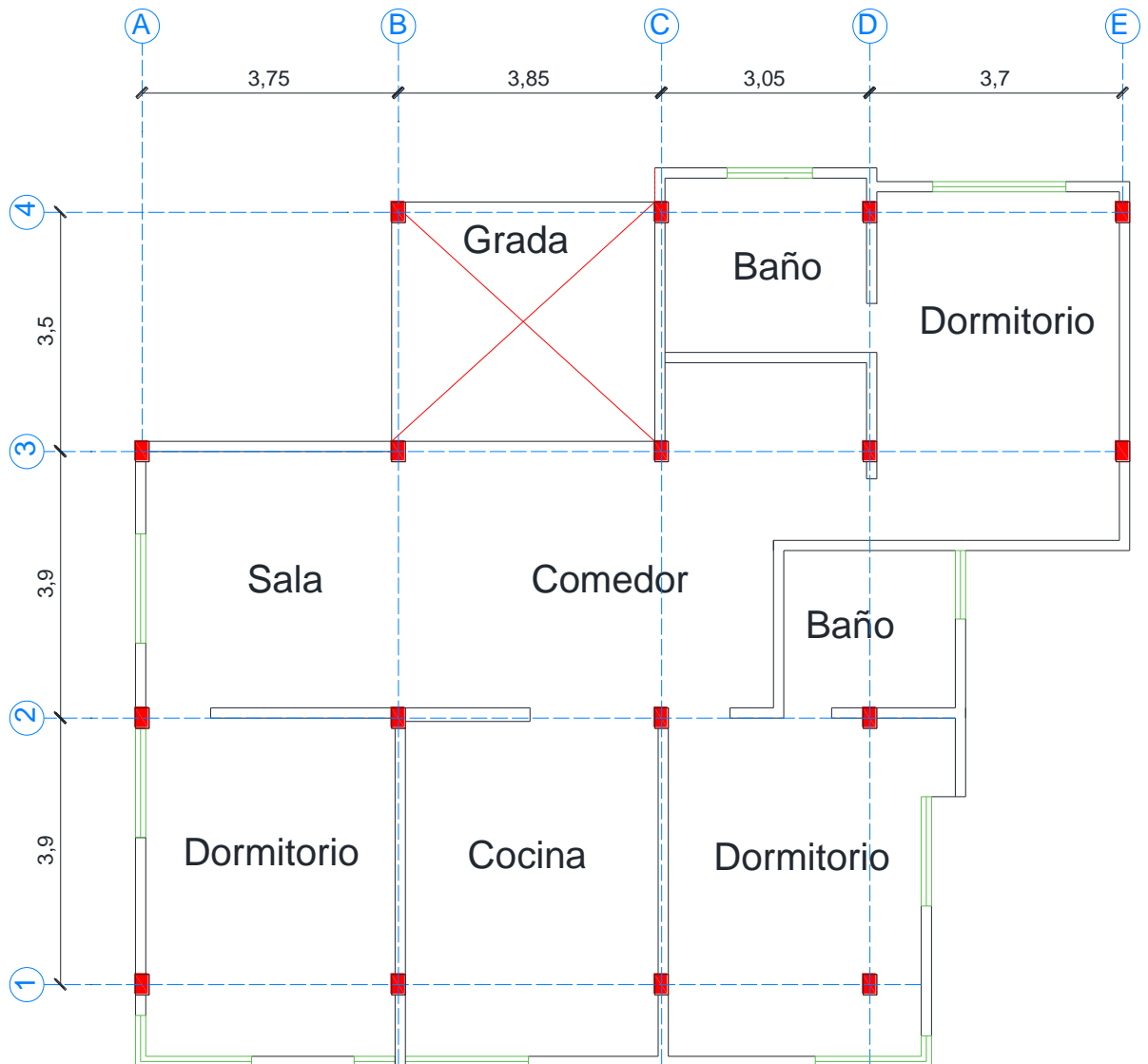


**PLANTA ALTA Nv +2.52**

Esc .....1:50

**Elaboración:** Jessica Taipe

**Figura 37.** Vista en planta de la estructura de 3 pisos

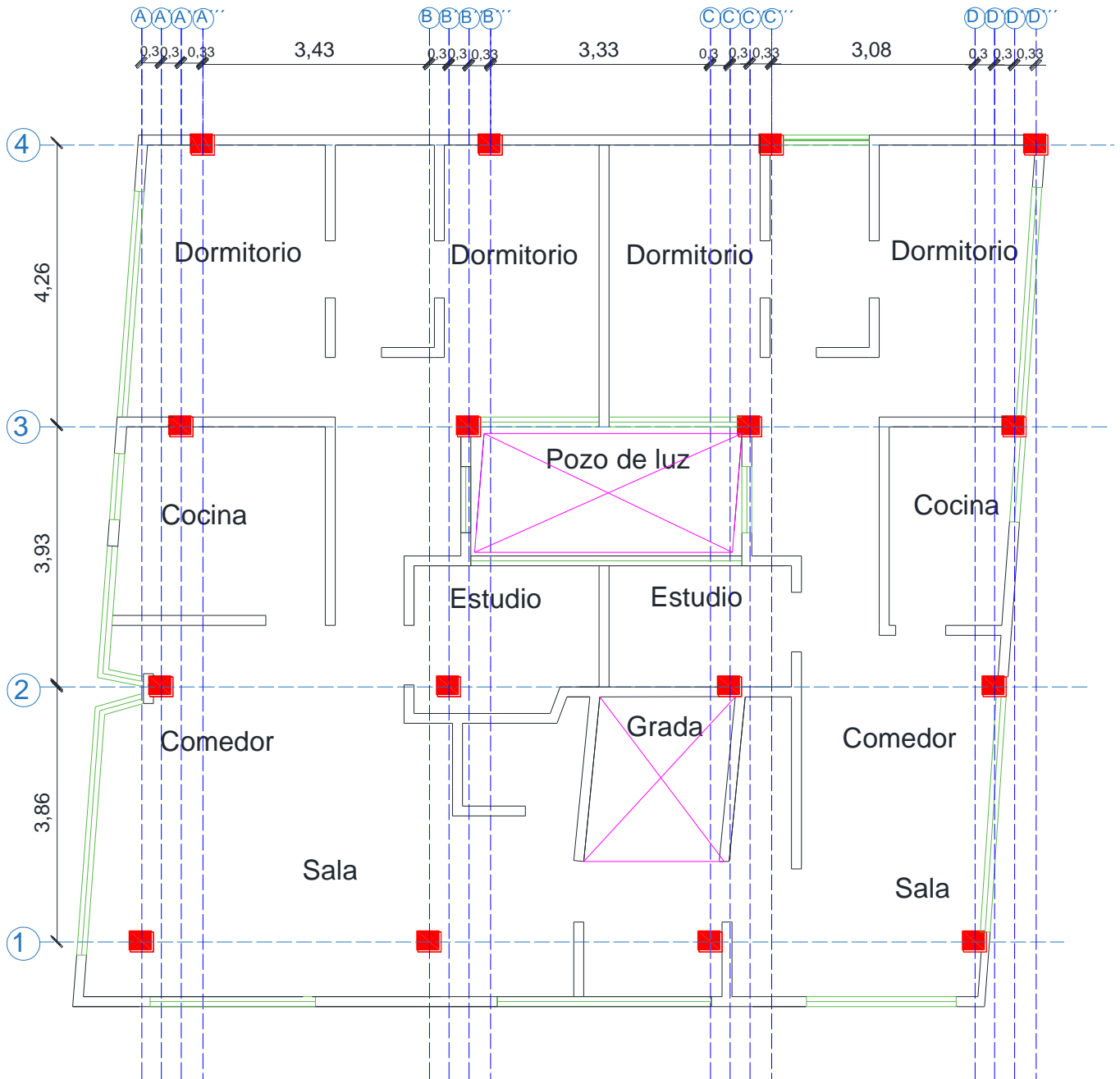


**PLANTA ALTA TIPO Nv.+2.60; +5.20**

Esc .....1:50

**Elaboración:** Jessica Taipe

**Figura 38.** Vista en planta de la estructura de 4 pisos



**PLANTA ALTA Nv.+ 5.76; +8.28; +10.8**

Esc ..... 1:50

**Elaboración:** Jessica Taipe

### 4.2.7.3 Cálculo de los Períodos de Vibración

#### 4.2.7.3.1 Período Fundamental de Vibración

La NEC 2015 establece la siguiente expresión (Método 1) para determinar el valor del período fundamental T:

$$T = C_t * h n^\alpha$$

**Donde:**

**C<sub>t</sub>:** Coeficiente que depende del tipo de edificio.

**hn:** Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

**T:** Período de vibración.

Los valores de C<sub>t</sub> y α se obtienen de la siguiente tabla que proporciona la NEC 15 para pórticos especiales de hormigón armado.

**Tabla 39.** Valores de C<sub>t</sub> y α utilizados para el cálculo del período fundamental de vibración

<b>Pórticos especiales de hormigón armado</b>		
<b>Tipo de estructura</b>	<b>C<sub>t</sub></b>	<b>α</b>
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9

**Fuente:** Peligro Sísmico. NEC\_SE\_DS 2015.

- Cálculo de T para estructura de 2 pisos.

$$T = 0.055 * 7.54^{0.9}$$

$$T = \mathbf{0.34 \text{ seg}}$$

- Cálculo de T para estructura de 3 pisos.

$$T = 0.055 * 10.20^{0.9}$$

$$T = \mathbf{0.44 \text{ seg}}$$

- Cálculo de T para estructura de 4 pisos.

$$T = 0.055 * 13.32^{0.9}$$

$$T = \mathbf{0.565 \text{ seg}}$$

#### 4.2.7.3.2 Períodos límites de Vibración.

La NEC 2015 establece las siguientes expresiones para el cálculo de los períodos límites de vibración:

$$T_o = 0.1 F_s \frac{F_d}{F_a} \qquad T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

**Donde:**

**Fa, Fd y Fs** = Coeficientes de amplificación del suelo.

**To**= Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

**Tc**= Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

Para el cálculo de los períodos límites se requiere de los siguientes datos que se obtuvieron de la NEC 15.

**Tabla 40.** Valores del factor Z y coeficientes de amplificación de suelo (Tipo de Perfil D)

<b>DATOS</b>	
<b>Z (g)</b>	0,4
<b>Fa</b>	1,2
<b>Fd</b>	1,19
<b>Fs</b>	1,28

**Fuente:** Peligro Sísmico. NEC\_SE\_DS 2015.

- Cálculo de  $T_0$

$$T_0 = 0.1 F_s \frac{F_d}{F_a}$$
$$T_0 = 0.1 * 1.28 * \frac{1.19}{1.2}$$
$$\mathbf{T_0 = 0.1269 \text{ seg}}$$

- Cálculo de  $T_c$

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$
$$T_c = 0.55 * 1.28 * \frac{1.19}{1.2}$$
$$\mathbf{T_c = 0.6981 \text{ seg}}$$

#### **4.2.7.4 Verificación del comportamiento estructural**

Una vez modelada las estructuras e introducido el espectro de la NEC 15 y el espectro determinístico se realiza una comparación de los resultados obtenidos con ambos espectros, con el objetivo de conocer el comportamiento del espectro determinístico con respecto al de la NEC 15.

##### **4.2.7.4.1 Períodos de Vibración**

El período fundamental  $T_2$  puede ser calculado utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes, por medio de un análisis modal. [4]



**Tabla 41.** Valores de  $T_o$ ,  $T_c$ ,  $T_1$  calculados. Además se presenta los valores de  $T_2$  obtenidos en Etabs 2016 con los espectros ingresados.

				<b>Espectros: NEC 15 y Determinístico</b>
<b>ESTRUCTURAS TIPO</b>	<b><math>T_o</math></b>	<b><math>T_c</math></b>	<b><math>T_1</math> (calculado)</b>	<b><math>T_2</math> (ETABS)</b>
ESTRUCTURA 2 PISOS	0.13	0.70	0.34	0.331
ESTRUCTURA 3 PISOS	0.13	0.70	0.44	0.566
ESTRUCTURA 4 PISOS	0.13	0.70	0.565	0.862

**Elaboración.** Jessica Taipe

Para las estructuras de tres y cuatro pisos el valor del periodo calculado es menor en comparación con los valores obtenidos de Etabs. Los valores del periodo calculado se encuentran dentro del rango de los períodos límites de vibración.

El valor  $T_2$  calculado según el método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de  $T_1$  calculado con el Método 1. [4]

$$T_1 \leq T_2 \leq 1.3 T_1$$

#### **ESTRUCTURA 2 PISOS**

$$T_1 \leq T_2 \leq 1.3 T_1$$

$$0.34 > 0.331 \leq 0.442$$

El valor  $T_2$  no se encuentra dentro del rango establecido.

#### **ESTRUCTURA 3 PISOS**

$$T_1 \leq T_2 \leq 1.3 T_1$$

$$0.44 \leq 0.566 \leq 0.572$$

El valor  $T_2$  si se encuentra dentro del rango establecido.

## ESTRUCTURA 4 PISOS

$$T1 \leq T2 \leq 1.3 T1$$

$$0.565 \leq 0.862 > 0.7345$$

El valor T2 no se encuentra dentro del rango establecido.

### Donde:

T1= Periodo fundamental de vibración calculado con el método 1.

T2= Periodo fundamental de vibración calculado con el método 2 (Etabs 2016)

Los valores obtenidos del periodo fundamental de ETABS son los mismos para el espectro de la NEC y el determinístico, debido a que el periodo no va a ser afectado ya que éste depende de la rigidez y de la masa de la estructura.

### 4.2.7.4.2 Modos de Vibración de la estructura

Se debe verificar que los dos primeros modos de vibración sean traslacionales, es decir menor que el 30% y el tercer modo sea rotacional, mayor al 30%.

A continuación se muestran las tablas con los resultados obtenidas en Etabs 2016 de las tres estructuras modeladas.

**Tabla 42.** Participación Modal de la Masa - Estructura de 2 pisos

Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0.331	0.0012	0.7111	0.1593
Modal	2	0.297	0.0375	0.1609	0.6874
Modal	3	0.281	0.8298	0.0027	0.0413

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 43.** Participación Modal de la Masa - Estructura de 3 pisos

Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0,566	0,3501	0,0343	0,4939
Modal	2	0,51	0,0194	0,8342	0,0149
Modal	3	0,336	0,4842	0,0005	0,3467

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 44.** Participación Modal de la Masa - Estructura de 4 pisos

Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0,862	0,0537	0,7483	0,1117
Modal	2	0,823	0,6697	0,0014	0,229
Modal	3	0,73	0,1718	0,1645	0,5642

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 45.** Modos de Vibración para cada una de las estructuras.

ESPECTROS	ESTRUCTURA 2 PISOS				
	MODOS	Ux, Uy	Rz	%	TIPO
NEC 15- DETERMINÍSTICO	1	0,7111	0,1593	22,402	Traslacional
	2	0,1609	0,6874	427,222	Rotacional
	3	0,8298	0,0413	4,977	Traslacional
ESPECTROS	ESTRUCTURA 3 PISOS				
	MODOS	Ux, Uy	Rz	%	TIPO
NEC 15- DETERMINÍSTICO	1	0,3501	0,4939	141,074	Rotacional
	2	0,8342	0,0149	1,786	Traslacional
	3	0,4842	0,3467	71,603	Rotacional
ESPECTROS	ESTRUCTURA 4 PISOS				
	MODOS	Ux, Uy	Rz	%	TIPO
NEC 15- DETERMINÍSTICO	1	0,7483	0,117	15,635	Traslacional
	2	0,6697	0,229	34,194	Rotacional
	3	0,1718	0,5642	328,405	Rotacional

**Elaboración.** Jessica Taipe

De la tabla 38 se puede concluir que no se cumplen los modos de vibración en ninguna de las estructuras en análisis.

#### 4.2.7.4.3 Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa en las direcciones principales

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 se deben considerar todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas. [4]

A continuación se muestran las tablas con los resultados obtenidas en Etabs 2016 de las tres estructuras modeladas.

**Tabla 46.** Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa - Estructura de 2 pisos

Modal Participating Mass Ratios			
Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,0012	0,7111
Modal	2	0,0388	0,872
Modal	3	0,8686	0,8747
Modal	4	0,8693	0,9256
Modal	5	0,9288	0,926

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 47.** Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa - Estructura de 3 pisos

Modal Participating Mass Ratios			
Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,3501	0,0343
Modal	2	0,3695	0,8685
Modal	3	0,8537	0,869
Modal	4	0,898	0,8854
Modal	5	0,9026	0,948

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 48.** Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa - Estructura de 4 pisos

Modal Participating Mass Ratios			
Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,0537	0,7483
Modal	2	0,7235	0,7497
Modal	3	0,8952	0,9142
Modal	4	0,9007	0,9692

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 49.** Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa para cada una de las estructuras.

<b>ESTRUCTURA 2 PISOS</b>			
ESPECTROS NEC 15- DETERMINÍSTICO	MODO	Sum Uy	Sum Ux
	5	0,9288	0,926
<b>ESTRUCTURA 3 PISOS</b>			
ESPECTROS NEC 15- DETERMINÍSTICO	MODO	Sum Uy	Sum Ux
	5	0,9026	0,948
<b>ESTRUCTURA 4 PISOS</b>			
ESPECTROS NEC 15- DETERMINÍSTICO	MODO	Sum Uy	Sum Ux
	4	0,9007	0,9692

**Elaboración.** Jessica Taipe

Se observa que existe una acumulación del 90% de la masa en el modo 5 para las estructuras de dos y tres pisos, mientras que para la estructura de cuatro pisos la acumulación del 90% de la masa se da en el modo 4.

#### 4.2.7.4.4 Derivas de Piso

Se debe comprobar que la estructura presente deformaciones inelásticas controlables. Para la revisión de las derivas de piso se utilizará el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamientos  $\Delta_M$  de la estructura, causada por el sismo de diseño. Las derivas obtenidas como consecuencia de la aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas por el método DBF sean estáticas o dinámicas, para cada dirección de aplicación de las fuerzas laterales, se calcularán, para cada piso, realizando un análisis elástico de la estructura sometida a las fuerzas laterales calculadas.[4]

El cálculo de las derivas de piso incluirá:

- Las deflexiones debidas a efectos traslacionales y torsionales.
- Los efectos de segundo orden P- $\Delta$

$$\Delta_{INELÁSTICA} \leq 2\%$$

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

**Dónde:**

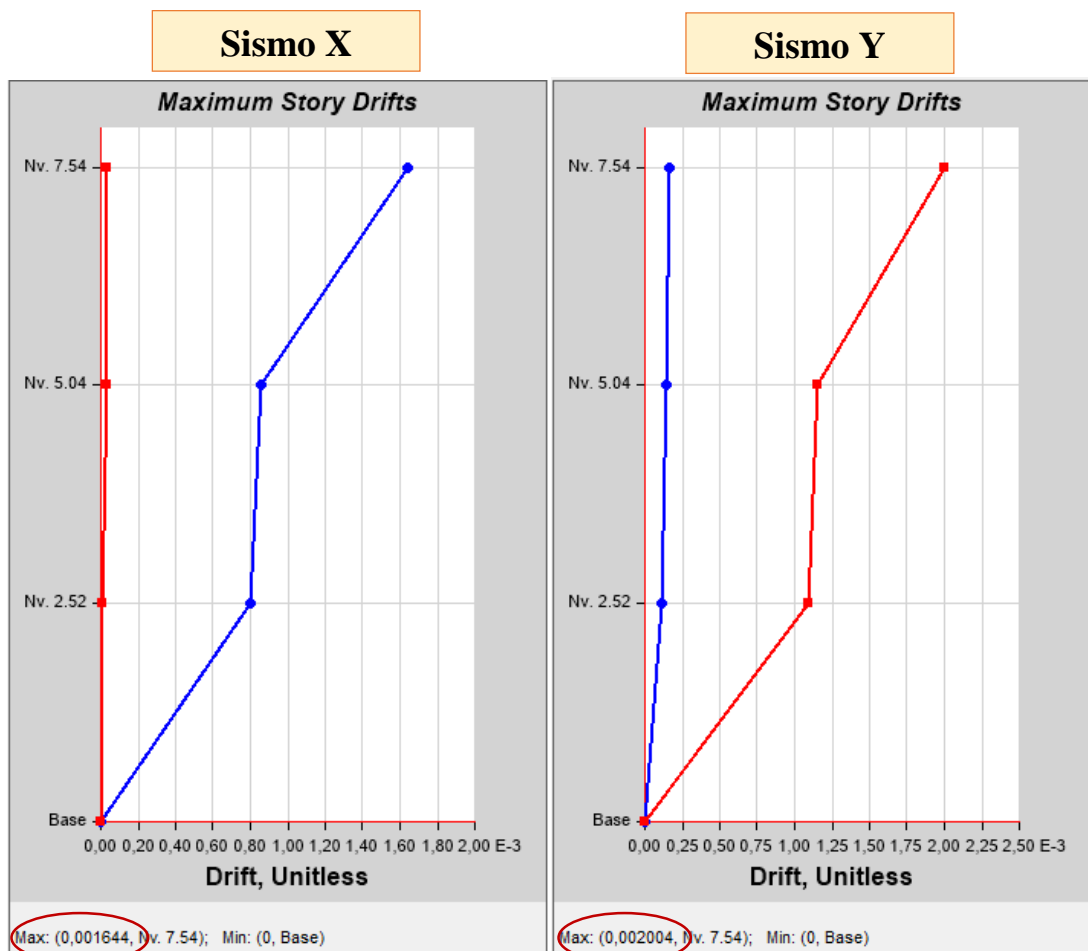
$\Delta_M$ =Deriva máxima inelástica

$\Delta_E$ =Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

**R**= Factor de reducción de resistencia.

Las gráficas y tablas de las derivas elásticas estáticas (Sismo X y Sismo Y) obtenidas en Etabs se muestran a continuación.

**Figura 39.** Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y para la estructura de 2 pisos



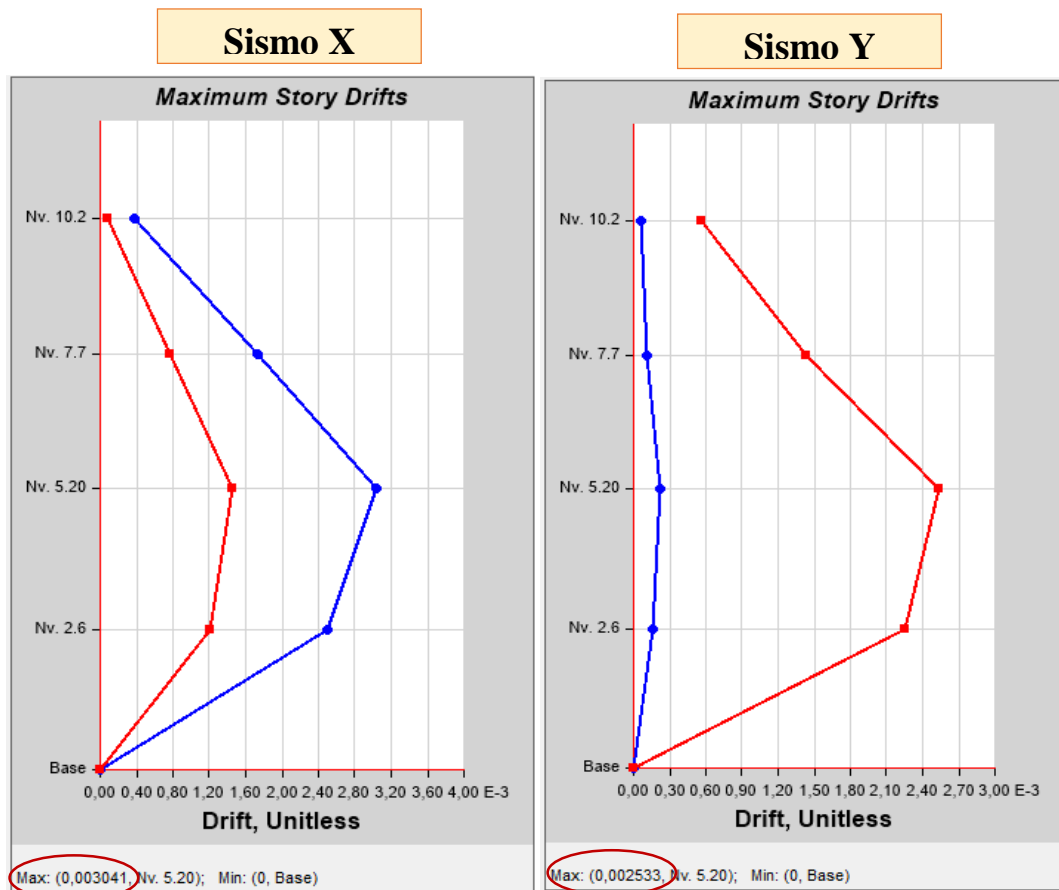
**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 50.** Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para sus diferentes niveles. Estructura de 2 pisos.

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Nv. 7.54	Sx 1	X	0,001644
Nv. 7.54	Sy 1	Y	0,002004
Nv. 5.04	Sx 1	X	0,00086
Nv. 5.04	Sy 1	Y	0,001149
Nv. 2.52	Sx 1	X	0,0008
Nv. 2.52	Sy 1	Y	0,001093

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Figura 40.** Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y para la estructura de 3 pisos



**Fuente:** Etabs 2016. V16

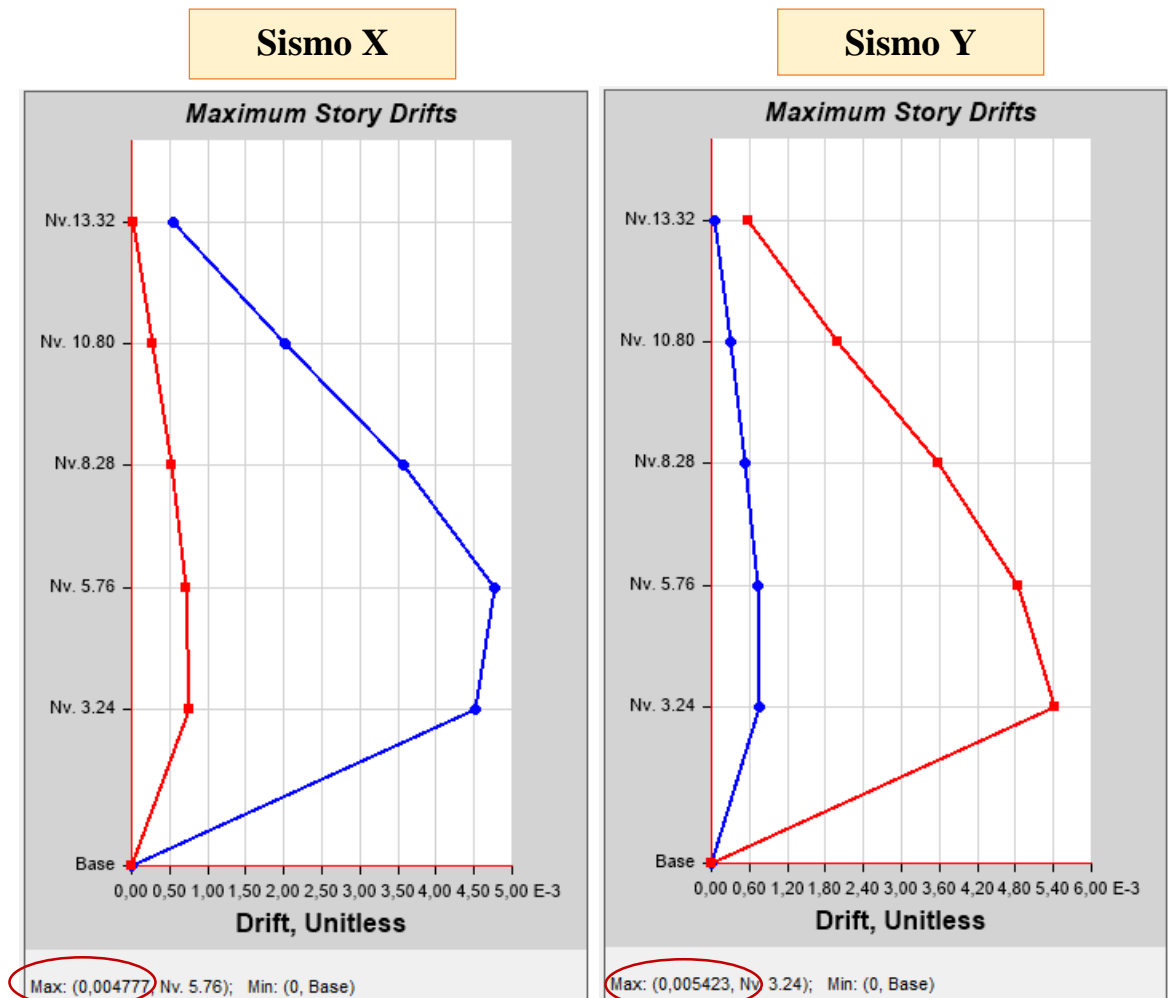


**Tabla 51.** Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para sus diferentes niveles. Estructura de 3 pisos

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Nv. 10.2	Sx 1	X	0,00038
Nv. 10.2	Sy 1	Y	0,000568
Nv. 7.7	Sx 1	X	0,001733
Nv. 7.7	Sy 1	Y	0,001438
Nv. 5.20	Sx 1	X	0,003041
Nv. 5.20	Sy 1	Y	0,002533
Nv. 2.6	Sx 1	X	0,002499
Nv. 2.6	Sy 1	Y	0,002254

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Figura 41.** Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y para la estructura de 4 pisos



**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 52.** Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para sus diferentes niveles- Estructura de 4 pisos

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Nv.13.32	Sx 1	X	0,000543
Nv.13.32	Sy 1	Y	0,000579
Nv. 10.80	Sx 1	X	0,002017
Nv. 10.80	Sy 1	Y	0,002
Nv.8.28	Sx 1	X	0,003575
Nv.8.28	Sy 1	Y	0,003572
Nv. 5.76	Sx 1	X	0,004777
Nv. 5.76	Sy 1	Y	0,004849
Nv. 3.24	Sx 1	X	0,004518
Nv. 3.24	Sy 1	Y	0,005423

**Fuente:** Etabs 2016. V16

A continuación se muestra una tabla resumen de las derivas elásticas estática obtenidas en Etabs 2016, para el sismo X y Y de las tres estructuras modeladas con sus respectivos niveles.

**Tabla 53.** Tabla Resumen de las Derivas elásticas estáticas

ESTRUCTURA 2 PISOS		
Nivel	Caso de Carga	
	Sx 1	Sy1
Nv. 7.54	0,00164	0,00200
Nv. 5.04	0,00086	0,00115
Nv. 2.52	0,00080	0,00109
ESTRUCTURA 3 PISOS		
Nivel	Caso de Carga	
	Sx 1	Sy1
Nv. 10.2	0,00038	0,000568
Nv. 7.7	0,001733	0,001438
Nv. 5.20	0,003041	0,002533
Nv. 2.6	0,002499	0,002254

<b>ESTRUCTURA 4 PISOS</b>		
<b>Nivel</b>	<b>Caso de Carga</b>	
	Sx 1	Sy1
Nv.13.32	0,000543	0,000579
Nv. 10.80	0,002017	0,002
Nv.8.28	0,003575	0,003572
Nv. 5.76	0,004777	0,004849
Nv. 3.24	0,004518	0,005423

**Elaboración:** Jessica Taipe

**Tabla 54.** Derivas de piso elásticas e inelásticas estáticas para cada una de las estructuras

<b>ESTRUCTURA 2 PISOS</b>				
<b>ESPECTROS</b>	<b>Sismo X</b>		<b>Sismo Y</b>	
	$\Delta E$	$\Delta M$	$\Delta E$	$\Delta M$
NEC 15 - DETERMINÍSTICO	0,001644	<b>0,9864</b>	0,002004	<b>1,2024</b>
<b>ESTRUCTURA 3 PISOS</b>				
<b>ESPECTROS</b>	<b>Sismo X</b>		<b>Sismo Y</b>	
	$\Delta E$	$\Delta M$	$\Delta E$	$\Delta M$
NEC 15 - DETERMINÍSTICO	0,003041	<b>1,8246</b>	0,002533	<b>1,5198</b>
<b>ESTRUCTURA 4 PISOS</b>				
<b>ESPECTROS</b>	<b>Sismo X</b>		<b>Sismo Y</b>	
	$\Delta E$	$\Delta M$	$\Delta E$	$\Delta M$
NEC 15 - DETERMINÍSTICO	0,004777	<b>2,8662</b>	0,005423	<b>3,2538</b>

**Elaboración.** Jessica Taipe

La tabla 54 muestra que las derivas de piso inelásticas para las estructuras de dos y tres pisos si se encuentran dentro del rango establecido por la NEC, es decir menor al 2%, mientras que para la estructura de cuatro pisos las derivas inelásticas son muy altas indicando que la estructura es dúctil.

#### 4.2.7.4.5 Análisis dinámico

##### 4.2.7.4.5.1 Validación del análisis dinámico

La Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 establece que el valor del cortante dinámico total en la base obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser:

- < 80% del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras regulares)
- < 85% del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras irregulares).

[4]

Las tablas con los valores del cortante dinámico y estático correspondientes al espectro de la NEC 15 y el espectro determinístico, para el sentido X y Y obtenidos en Etabs, se muestran a continuación.

**Tabla 55.** Valores del Cortante dinámico para el Espectro de la NEC15. Estructura de 2 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
Nv. 7.54	7,54	Top	2813,85	2571,32
		Bottom	2813,85	2571,32
Nv. 5.04	5,04	Top	23118,19	21621,53
		Bottom	23513,67	22054,16
Nv. 2.52	2,52	Top	36598,85	34085,17
		Bottom	36728,79	34218,17

**Fuente:** Etabs 2016.V16

**Tabla 56.** Valores del Cortante dinámico para el Espectro determinístico. Estructura de 2 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
Nv. 7.54	7,54	Top	3223,98	2844,08
		Bottom	3223,98	2844,08
Nv. 5.04	5,04	Top	27747,51	24968,21
		Bottom	28231,08	25469,32
Nv. 2.52	2,52	Top	44037,83	39487,93
		Bottom	44191,11	39637,5

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 57.** Valores del Cortante estático para el Espectro de la NEC15 y Espectro determinístico. Estructura de 2 pisos

Story Stiffness			
Story	Load Case	Shear X kgf	Shear Y kgf
Nv. 2.52	Sx 1	42369,89	0,0003958
Nv. 2.52	Sy 1	0	42369,69

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 58.** Valores del Cortante dinámico para el Espectro de la NEC15. Estructura de 3 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
Nv. 10.2	10,2	Top	3393	3367,47
		Bottom	3393	3367,47
Nv. 7.7	7,7	Top	18329,42	24574,96
		Bottom	18969,15	25436,13
Nv. 5.20	5,2	Top	33659,9	46400,71
		Bottom	34058,81	46962,86
Nv. 2.6	2,6	Top	41762,1	57519,78
		Bottom	41881,93	57694,88

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 59.** Valores del Cortante dinámico para el Espectro determinístico. Estructura de 3 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
Nv. 10.2	10,2	Top	3858,38	3659,08
		Bottom	3858,38	3659,08
Nv. 7.7	7,7	Top	19495,51	25319,96
		Bottom	20268,61	26192,55
Nv. 5.20	5,2	Top	35226,57	47378,62
		Bottom	35721,22	47952,49
Nv. 2.6	2,6	Top	43761,79	58836,66
		Bottom	43907,24	59019,6

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 60.** Valores del Cortante estático para el Espectro de la NEC15 y Espectro determinístico. Estructura de 3 pisos

Story Stiffness			
Story	Load Case	Shear X kgf	Shear Y kgf
Nv. 2.6	Sx 1	65676,5	0
Nv. 2.6	Sy 1	0	65676,5

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 61.** Valores del Cortante dinámico para el Espectro de la NEC15. Estructura de 4 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
Nv. 13.32	13,32	Top	2654,58	2538,2
		Bottom	2654,58	2538,2
Nv. 10.80	10,8	Top	23523,7	22111,53
		Bottom	23891,12	22475,01
Nv. 8.28	8,28	Top	45260,96	42855,95
		Bottom	45545	43147,16
Nv. 5.76	5,76	Top	61502,91	58797,76
		Bottom	61694,74	59003,83
Nv. 3.24	3,24	Top	71204,26	68903,1
		Bottom	71277,2	69003,68

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 62.** Valores del Cortante dinámico para el Espectro determinístico. Estructura de 4 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
Nv. 13.32	13,32	Top	2544,43	2422,21
		Bottom	2544,43	2422,21
Nv. 10.80	10,8	Top	20869,1	19004,06
		Bottom	21171,28	19298,84
Nv. 8.28	8,28	Top	38858,74	35532,85
		Bottom	39083,97	35758,8
Nv. 5.76	5,76	Top	52167,64	48017,84
		Bottom	52327,56	48183,79
Nv. 3.24	3,24	Top	60716,01	56516,02
		Bottom	60782,73	56604,35

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 63.** Valores del Cortante estático para el Espectro de la NEC15 y Espectro determinístico. Estructura de 4 pisos

Story Stiffness			
Story	Load Case	Shear X kgf	Shear Y kgf
Nv. 3.24	Sx 1	100356,83	0,004049
Nv. 3.24	Sy 1	0,0009626	100356,88

**Fuente:** Etabs 2016. V16

La tabla 64 indica los valores de cortantes estáticos y dinámicos máximos, en el sentido X y Y para las tres estructuras modeladas.

**Tabla 64.** Relación del cortante dinámico y estático para la validación de análisis dinámico

<b>ESTRUCTURA 2 PISOS</b>						
ESPECTROS	Sentido X			Sismo Y		
	V estático	V dinámico	V din/V est	V estático	V dinámico	V din/V est
NEC 15	42370	36729	<b>86,686</b>	42370	34218	<b>80,760</b>
DETERMINÍSTICO	42370	44191	<b>104,298</b>	42370	39637	<b>93,550</b>
<b>ESTRUCTURA 3 PISOS</b>						
ESPECTROS	Sentido X			Sismo Y		
	V estático	V dinámico	V din/V est	V estático	V dinámico	V din/V est
NEC 15	65676	41882	<b>63,771</b>	65676	57695	<b>87,848</b>
DETERMINÍSTICO	65676	43907	<b>66,854</b>	65676	59020	<b>89,865</b>
<b>ESTRUCTURA 4 PISOS</b>						
ESPECTROS	Sentido X			Sismo Y		
	V estático	V dinámico	V din/V est	V estático	V dinámico	V din/V est
NEC 15	100357	71277	<b>71,023</b>	100357	69004	<b>68,759</b>
DETERMINÍSTICO	100357	60783	<b>60,567</b>	100357	56604	<b>56,403</b>

**Elaboración.** Jessica Taipe.



#### 4.2.7.4.5.2 Derivas de piso

Se obtuvieron las derivas elásticas dinámicas para el espectro X y Y con los espectros ingresados, es decir el espectro de la NEC 15 y el espectro determinístico.

**Tabla 65.** Derivas elásticas dinámicas para el Espectro de la NEC15. Estructura de 2 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv. 7.54	7,54	Top	0,001573	0,001611
Nv. 5.04	5,04	Top	0,000904	0,001074
Nv. 2.52	2,52	Top	0,000896	0,001023

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 66.** Derivas elásticas dinámicas para el Espectro determinístico. Estructura de 2 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv. 7.54	7,54	Top	0,001904	0,001907
Nv. 5.04	5,04	Top	0,001084	0,001232
Nv. 2.52	2,52	Top	0,001076	0,001173

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 67.** Derivas elásticas dinámicas para el Espectro de la NEC15. Estructura de 3 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv. 10.2	10,2	Top	0,001164	0,001274
Nv. 7.7	7,7	Top	0,001616	0,001453
Nv. 5.20	5,2	Top	0,002903	0,002456
Nv. 2.6	2,6	Top	0,00229	0,002258

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 68.** Derivas elásticas dinámicas para el Espectro determinístico. Estructura de 3 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv. 10.2	10,2	Top	0,001322	0,001349
Nv. 7.7	7,7	Top	0,001443	0,001502
Nv. 5.20	5,2	Top	0,002544	0,002527
Nv. 2.6	2,6	Top	0,002013	0,002326

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 69.** Derivas elásticas dinámicas para el Espectro de la NEC15. Estructura de 4 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv.13.32	13,32	Top	0,000823	0,000887
Nv. 10.80	10,8	Top	0,001774	0,001873
Nv.8.28	8,28	Top	0,00318	0,003301
Nv. 5.76	5,76	Top	0,004341	0,004555
Nv. 3.24	3,24	Top	0,004216	0,004868

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 70.** Derivas elásticas dinámicas para el Espectro determinístico. Estructura de 4 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv.13.32	13,32	Top	0,00074	0,000792
Nv. 10.80	10,8	Top	0,001558	0,001584
Nv.8.28	8,28	Top	0,002746	0,002726
Nv. 5.76	5,76	Top	0,003722	0,003722
Nv. 3.24	3,24	Top	0,003625	0,003989

**Fuente:** Etabs 2016. V16

**Tabla 71.** Derivas de piso elásticas dinámicas con cada espectro ingresado en el sentido X y Y, para cada una de las estructuras

<b>ESTRUCTURA 2 PISOS</b>			
ESPECTRO NEC 15		ESPECTRO DETERMINÍSTICO	
Espectro X	Espectro Y	Espectro X	Espectro Y
$\Delta E$	$\Delta E$	$\Delta E$	$\Delta E$
0,001573	0,001611	0,001904	0,001907
<b>ESTRUCTURA 3 PISOS</b>			
ESPECTRO NEC 15		ESPECTRO DETERMINÍSTICO	
Espectro X	Espectro Y	Espectro X	Espectro Y
$\Delta E$	$\Delta E$	$\Delta E$	$\Delta E$
0,002903	0,002456	0,002544	0,002527
<b>ESTRUCTURA 4 PISOS</b>			
ESPECTRO NEC 15		ESPECTRO DETERMINÍSTICO	
Espectro X	Espectro Y	Espectro X	Espectro Y
$\Delta E$	$\Delta E$	$\Delta E$	$\Delta E$
0,004341	0,004868	0,003722	0,003989

**Elaboración.** Jessica Taipe.

Se observa que existe una variación entre las derivas elásticas del espectro de la NEC 15 y el espectro determinístico, indicando que el comportamiento estructural se ve afectado para cada espectro ingresado.

### 4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo a la hipótesis planteada anteriormente en esta investigación “El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras del cantón Ambato Sector Mayorista”.

El espectro determinístico supera al espectro de la NEC-15 en un período de 0.10 seg a 0.55 seg en donde la aceleración máxima del modelo es de 1.48g, lo cual indica que las edificaciones de aproximadamente 1 a 5 pisos tienen un nivel de amenaza significativa, debido a que las aceleraciones de la NEC-15 son menores a las aceleraciones esperadas con el espectro determinístico.

Por lo tanto el comportamiento estructural de las edificaciones que están siendo analizadas se ven afectadas.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Se considera las fallas activas Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y Subducción que afectan al área de estudio, obteniendo magnitudes de **6.5, 6.3, 6.6, 6.9 y 8.9** respectivamente, cuyas distancias son **1.4km, 2.9km, 2.4km, 9.5km, 297.7km** respectivamente; siendo la Falla **Ambato** la que presenta mayor peligro para el Sector Mayorista por ser la más cercana al sitio de estudio, ya que mientras más cerca este la falla existe un mayor grado de vulnerabilidad sísmica.
- El sector Mayorista cuenta con estructuras comprendidas entre 1 y 4 pisos de altura.
- Se determinó que las aceleraciones máximas ocurren en períodos de **0.2seg** y **0.3seg** representando el **42.86%** y el **57.14%** respectivamente, lo cual indica que las estructuras que poseen una altura de entre 2 a 3 pisos son las más propensas a sufrir daños en sus elementos estructurales y no estructurales.
- Se determinó que para cada una de las fallas corticales empleadas el modelo de Kanno es el que más crítico, ya que con este modelo se obtuvo la máxima aceleración para cada una de las fallas, además en un cierto intervalo del periodo supera al espectro de la NEC-15 para las fallas Ambato y Totoras
- El espectro determinístico obtenido supera al espectro de la NEC-15 durante un período de **0.10 seg a 0.55 seg** en donde su aceleración máxima es de **1.48g** que representa una variación del **19.59%** con respecto al de la NEC-15, indicando que el espectro determinístico afecta a las estructuras de baja altura.

- Se obtuvo un valor de aceleración máxima esperada en roca (PGA) de **0.48g** para el espectro de la NEC-15, mientras que para el espectro determinístico se obtuvo una aceleración de **0.65g**. Por lo que se puede concluir que la aceleración de la NEC está por debajo de lo real y se espera una mayor aceleración como respuesta de las estructuras del sector.
- El comportamiento estructural de la edificación de **dos pisos** tiene un periodo fundamental de **0.33seg** indicando que la estructura es muy rígida. Se registraron problemas de torsión en planta ya que el segundo modo tiene una vibración rotacional **mayor al 30%**, sin embargo la deriva de piso inelástica se encuentra dentro del rango establecido por la NEC-15, es decir menor al 2% lo que garantiza un buen desempeño estructural.
- La estructura de **tres pisos** tiene un periodo fundamental de **0.57seg** el cual se encuentra dentro del rango establecido. Se presentaron problemas de torsión en planta ya que el primer modo tiene una vibración rotacional **mayor al 30%** lo cual indica que es necesario rigidizar la estructura. Las derivas de piso inelástica son menores al 2%, lo que garantiza un buen desempeño estructural.
- La estructura de **cuatro pisos** tiene un periodo fundamental de **0.86seg** siendo un valor alto en comparación al estimado. Se presentaron problemas de torsión en planta ya que el segundo modo tiene una vibración rotacional **mayor al 30%**, sin embargo la deriva de piso inelástica es mayor al 2% dando como resultado una estructura es muy dúctil.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Para estructuras nuevas que se vayan a construir se recomienda realizar el diseño sísmico resistente en base a la NEC 15 pero verificar su desempeño estructural en base al espectro determinístico.
- Para estructuras ya existentes en el lugar de estudio se recomienda realizar la evaluación del desempeño estructural en base al espectro determinístico generado.
- Debido a la historia sísmica que tiene la ciudad de Ambato y que ésta se ha visto afectada por varios desastres, es de vital importancia que cuente con un mapa de zonificación sísmica donde se diferencien las diversas zonas de alto peligro sísmico, de esta manera se evitaría futuros desastres.
- Debido a la existencia de fallas geológicas corticales que atraviesan la ciudad de Ambato es importante seguir realizando estudios e investigaciones referentes a este tema.
- Las ecuaciones de atenuación son parte fundamental para la obtención de espectros, por lo tanto es importante que se sigan actualizando para perfeccionar sus modelos y obtener mejores resultados.

## **C. MATERIALES DE REFERENCIA**

### **1. BIBLIOGRAFÍA**

[1] Alvarado, D. Valdebenito (2015). Microzonificación Sísmica en Zonas de Geología Compleja. Evaluación del Peligro Sísmico Local en Valdivia Chile, Universidad Austral de Chile. En línea. Disponible:

<https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWA13hiwKYn4FOfcdhMW5>

[2] Aguiar, R. (2013). Microzonificación Sísmica del centro norte de Quito. Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. En línea. Disponible: <http://ia.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2013/03/Microzonificaci%C3%B3n.pdf>

[3] Quizanga, D. (2015). Espectros específicos para la ciudad de Quito en función de fallas ciegas inversas. Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. En línea. Disponible: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11856>

[4] Norma Ecuatoriana de la Construcción (Peligro Sísmico), 2015. En línea. Disponible:<http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-DS.pdf>

[5] Cobos, F. (2017). Estudio de Peligro sísmico determinista para las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi. Universidad Técnica de Ambato. En línea. Disponible:  
<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25147/1/Tesis%201100%20-%20Cobos%20Torres%20Fabricio%20Pa%C3%BA1.pdf>

[6] Araos, O. (2011). El Cinturón de Fuego del Pacífico. En línea. Disponible: <http://www.araosguzman.org/2011/06/cinturon-fuego-pacifico-oscar-araos.html>

[7] Yépez, F. (2011). Últimos avances en la evaluación del riesgo sísmico de Quito y futuros proyectos de mitigación. En Línea. Disponible:  
<http://www.flacsoandes.edu.ec/biblio/catalog/resGet.php?resId=24693>

[8] La Hora. (2002). Ambato necesita identificar zonas de alto riesgo. En línea. Disponible:<https://lahora.com.ec/noticia/1000077460/ambato-necesita-identificar-zonas-de-alto-riesgo>

[9] El Herald. (2016). Tungurahua rodeada de fallas tectónicas. En línea. Disponible: <http://www.elheraldo.com.ec/index.php?fecha=2016-05-22&seccion=Ciudad&noticia=69560>



- [10] Tarbuck, E. Lutgens, F. Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de Madrid: Pearson Educación, 2005, pp. 51-308. En Línea. Disponible:  
<http://www.osop.com.pa/wp-content/uploads/2014/04/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf>
- [11] Tortajada, N. Tectónica de Placas. Colegio Hermes. En línea. Disponible:  
<http://www.cac.es/cursomotivar/resources/document/2007/16.pdf>
- [12] Instituto Nacional de Prevención Sísmica. INPRES. Fallas Geológicas. En línea. Disponible: <http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>
- [13] Hernández, G. (2012) Conceptos básicos sobre terremotos y las causas que lo originan, proyecto de prevención y mitigación del riesgo en el colegio Nicolás Gómez Dávila I.E.D. Universidad Nacional de Colombia. En Línea. Disponible:  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/12146/1/gerardohernandezortiz.2012.pdf>
- [14] Gutiérrez, C. Quaaas, R. (2014). Sismos. Centro Nacional de Prevención de Desastres. En Línea. Disponible:  
<http://cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/163-FASCCULOSISMOS.PDF>
- [15] Díaz, B. Vulnerabilidad y Daño sísmicos: concepto y evaluación. En Línea. Disponible: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6230/03CAPITULO2.pdf>
- [16] Benito, B. Jiménez, E. (1999). Peligrosidad Sísmica. En Línea. Disponible:  
<https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/viewFile/FITE9999110013A/12067>
- [17] Aguilar, Z. (2016). Análisis de Peligro Sísmico y Estimado del Movimiento Sísmico de Diseño. Universidad Nacional de Ingeniería Perú. En Línea. Disponible:  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/proy5.pdf>
- [18] Taipe, L. (2013). Análisis de las Ecuaciones de Predicción de Movimientos de Suelo para el Ecuador utilizando datos registrados durante el período 2000-2011 en

estaciones sísmicas de banda ancha y acelerógrafos. Escuela Politécnica Nacional. En Línea. Disponible: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6447/1/CD-4961.pdf>

[19] SERGISAI. Aspectos Generales del Riesgo Sísmico. En Línea. Disponible: [http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6222/03CAPITULO\\_2.pdf?sequence](http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6222/03CAPITULO_2.pdf?sequence)

[20] Wells, Coppersmith. (Agosto, 1994). Nuevas relaciones empíricas entre la magnitud, longitud de rotura, ancho de rotura, ruptura de la zona, y desplazamiento de la superficie. En línea. Disponible: <http://seismo.berkeley.edu/~rallen/teaching/eps256-s07/WellsCoppersmith1994.pdf>

[21] Benito, B. Cabañas, L. Revisión de modelos de movimiento fuerte del suelo y aplicación a la predicción de espectros de respuesta. En línea. Disponible: [http://redgeomatrica.rediris.es/sismo/pdf/pub\\_029.pdf](http://redgeomatrica.rediris.es/sismo/pdf/pub_029.pdf)

[22] Pérez, N. (2016). Peligro sísmico asociado a fallas corticales: caso de estudio falla san ramón (33.2°-33.7°s).En línea. Disponible: <file:///C:/Users/PERSONAL/Downloads/000668800.pdf>

[23] Boore, D. Atkinson, G. (2003). Ecuaciones de predicción de movimiento en el suelo para el componente horizontal promedio de PGA, PGV y PSA amortiguado al 5% en períodos espectrales entre 0.01s y 10.0 s. En línea. Disponible: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWA13hnuRJxFXrZDu2W5B>

[24] Akkar, S. Bommer, J. (2010). Ecuaciones empíricas para la predicción de PGA, PGV y aceleraciones espectrales en Europa, la región mediterránea y Oriente Medio. En línea. Disponible: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWA13hnzW5flbESek5QhU>

[25] Kanno, et al. (2006). Una nueva relación de atenuación para el movimiento de tierra fuerte en Japón en base a los datos registrados. En línea. Disponible: [https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWA13hn1IXV4-eIrg40\\_L](https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWA13hn1IXV4-eIrg40_L)

[26] Youngs. R. Chiou, S. (1997). Relaciones de atenuación de movimiento en el suelo para los terremotos de la zona de subducción. En línea. Disponible: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWA13hn4gnM77MzaKiUEd>

[27] Zhao, et al. (2006). Relaciones de atenuación del movimiento del suelo fuerte en Japón usando la clasificación del sitio basada en el período predominante. En línea. Disponible: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWA13hn8sIjIBi8cjpGfy>

[28] Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional. (2013) Informe Sísmico para el Ecuador. En línea. Disponible: <https://www.igepn.edu.ec/inf-sism/sismicos-anuales/231--50/file>

[29] Rivadeneira, et al. Breves Fundamentos sobre los Terremotos en el Ecuador. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional: Corporación Editorial Nacional, 2007. En Línea. Disponible: <http://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file>

[30] Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional. (2013). Terremoto del 5 de Agosto de 1949. En línea. Disponible: <http://www.igepn.edu.ec/cayambe/805-terremoto-del-5-de-agosto-de-1949>

[31] Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional. (2016). Informe Sísmico Especial N 13-2016. En línea. Disponible: <http://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1317-informe-sismico-especial-n-13-2016>

[32] Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2011). Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales. En línea. Disponible: <http://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-02-03.pdf>

[33] Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 0689). (1982). Mecánica de Suelos. Ensayo de Penetración Estándar. En línea. Disponible: <https://ia801903.us.archive.org/5/items/ec.nte.0689.1982/ec.nte.0689.1982.pdf>

[34] Gautam, D. (2016). Correlación empírica entre la resistencia a la penetración estándar no corregida (N) y la velocidad de la onda de corte (Vs) para el Valle de Katmandú, Nepal. En línea. Disponible: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19475705.2016.1243588?needAccess=true>

[35] Pérez, et al. (2012). Correlaciones Empíricas entre la velocidad de propagación de las ondas S (Vs) y otros parámetros geotectónicos para los suelos de Madrid. En línea. Disponible: [file:///C:/Users/PERSONAL/Downloads/CorrelacionesempiricasVs\\_aranzadi\\_2013%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/PERSONAL/Downloads/CorrelacionesempiricasVs_aranzadi_2013%20(2).pdf)

[36] Centro Sismológico Nacional-Universidad de Chile. Sismicidad y Terremotos en Chile. . En línea. Disponible: [http://www.csn.uchile.cl/wp-content/uploads/2014/06/001\\_terremotos\\_y\\_sismicidad\\_chile.pdf](http://www.csn.uchile.cl/wp-content/uploads/2014/06/001_terremotos_y_sismicidad_chile.pdf)

[37] Crisafulli, F. Villafaña, E. (2002). Espectros de Respuesta y de Diseño. Universidad Nacional de Cuyo. En línea. Disponible:  
<http://blog.uca.edu.ni/estructuras/files/2011/02/espectros-de-respuesta-y-de-dise%C3%B1o.pdf>

## 2. ANEXOS

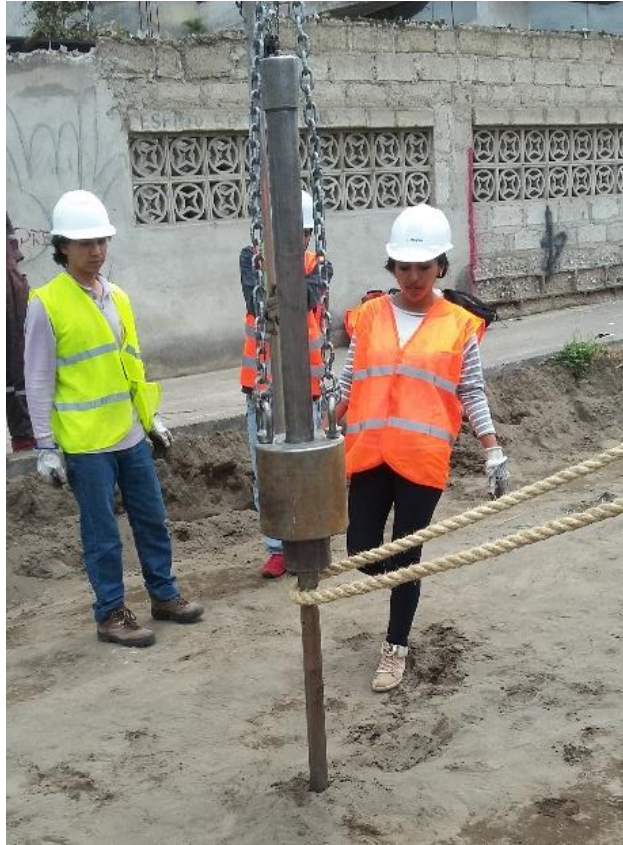
### ANEXO A



**Fotografía 1.** Equipo utilizado para realizar el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) tales como martinete, trípode, tubos redondos, acoples, cabo de manila, muestreador.



**Fotografía 2.** Muestreador.



**Fotografía 3.** Hincado del Martinete



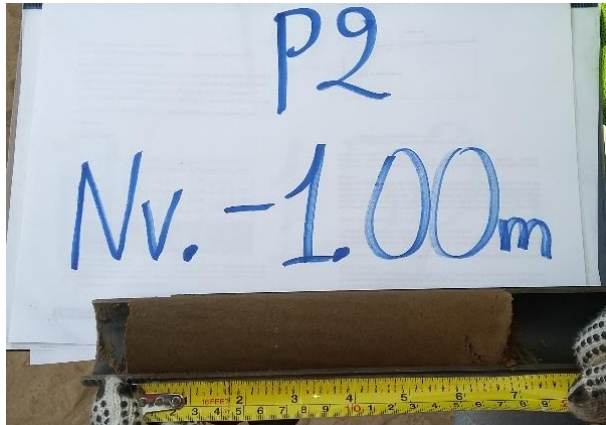
**Fotografía 4.** Trípode



**Fotografía 5. Motor**



**Fotografía 6. Realizando ensayo de penetración estándar (SPT)**



**Fotografía 7.** Medición de la muestra de suelo del pozo 2 a una altura de 1m.



**Fotografía 8.** Muestra de suelo retenida en el muestreador.



**Fotografía 9.** Muestras de suelo secas.





**Fotografía 10.** Muestras de suelo colocadas en la tamizadora eléctrica.



**Fotografía 11.** Pesar muestra de suelo.



**Fotografía 12.** Estructura de 2 pisos empleada para ser modelada en Etabs 2016 V16.



**Fotografía 13.** Estructura de 3 pisos empleada para ser modelada en Etabs 2016 V16.



**Fotografía 14.** Estructura de 4 pisos empleada para ser modelada en Etabs 2016 V16.

## ANEXO B

### Modelo Boore y Atkinson (2008)

#### B- 1. Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del período

PERIODO	b lin	b1	b2
PGA	-0,36	-0,64	-0,14
0,01	-0,36	-0,64	-0,14
0,02	-0,34	-0,63	-0,12
0,03	-0,33	-0,62	-0,11
0,05	-0,29	-0,64	-0,11
0,075	-0,23	-0,64	-0,11
0,1	-0,25	-0,6	-0,13
0,15	-0,28	-0,53	-0,18
0,2	-0,31	-0,52	-0,19
0,25	-0,39	-0,52	-0,16
0,3	-0,44	-0,52	-0,14
0,4	-0,5	-0,51	-0,1
0,5	-0,6	-0,5	-0,06
0,75	-0,69	-0,47	0
1	-0,7	-0,44	0
1,5	-0,72	-0,4	0
2	-0,73	-0,38	0
3	-0,74	-0,34	0
4	-0,75	-0,31	0
5	-0,75	-0,291	0
7,5	-0,692	-0,247	0
10	-0,65	-0,215	0

**Fuente:** Boore, D. Atkinson, M. (2008). Ecuaciones de predicción de movimiento en el suelo para el componente horizontal promedio de PGA, PGV y PSA amortiguado al 5% en períodos espectrales entre 0.01s y 10.0 s.

**B- 2.** Coeficientes de escala de distancia ( $M_{ref} = 4,5$  y  $R_{ref} = 1,0$  km para todos los períodos, excepto  $R_{ref} = 5,0$  km para pga4nl)

PERIODO	c1	c2	c3	h
PGA	-0,6605	0,1197	-0,01151	1,35
0,01	-0,6622	0,12	-0,01151	1,35
0,02	-0,666	0,1228	-0,01151	1,35
0,03	-0,6901	0,1283	-0,01151	1,35
0,05	-0,717	0,1317	-0,01151	1,35
0,075	-0,7205	0,1237	-0,01151	1,55
0,1	-0,7081	0,1117	-0,01151	1,68
0,15	-0,6961	0,09884	-0,01113	1,86
0,2	-0,583	0,04273	-0,00952	1,98
0,25	-0,5726	0,02977	-0,00837	2,07
0,3	-0,5543	0,01955	-0,0075	2,14
0,4	-0,6443	0,04394	-0,00626	2,24
0,5	-0,6914	0,0608	-0,0054	2,32
0,75	-0,7408	0,07518	-0,00409	2,46
1	-0,8183	0,1027	-0,00334	2,54
1,5	-0,8303	0,09793	-0,00255	2,66
2	-0,8285	0,09432	-0,00217	2,73
3	-0,7844	0,07282	-0,00191	2,83
4	-0,6854	0,03758	-0,00191	2,89
5	-0,5096	0,02391	-0,00191	2,93
7,5	-0,3724	0,06568	-0,00191	3
10	-0,09824	0,138	-0,00191	3,04

**Fuente:** Boore, D. Atkinson, M. (2008). Ecuaciones de predicción de movimiento en el suelo para el componente horizontal promedio de PGA, PGV y PSA amortiguado al 5% en períodos espectrales entre 0.01s y 10.0 s.

### B- 3. Coeficientes de escala de magnitud

PERIODO	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	Mh
PGA	-0,53804	-0,5035	-0,75472	-0,5097	0,28805	-0,10164	0	6,75
0,01	-0,52883	-0,49429	-0,74551	-0,49966	0,28897	-0,10019	0	6,75
0,02	-0,52192	-0,48508	-0,73906	-0,48895	0,25144	-0,11006	0	6,75
0,03	-0,45285	-0,41831	-0,66722	-0,42229	0,17976	-0,12858	0	6,75
0,05	-0,28476	-0,25022	-0,48462	-0,26092	0,06369	-0,15752	0	6,75
0,075	-0,00767	-0,04912	-0,20578	0,02706	0,0117	-0,17051	0	6,75
0,1	-0,20109	-0,23102	0,03058	0,22193	0,04697	-0,15948	0	6,75
0,15	-0,46128	-0,48661	0,30185	0,49328	0,1799	-0,14539	0	6,75
0,2	-0,5718	-0,59253	0,4086	0,61472	0,52729	-0,12964	0,00102	6,75
0,25	0,51884	-0,53496	0,3388	0,57747	0,6088	-0,13843	0,08607	6,75
0,3	-0,43825	-0,44516	0,25356	0,5199	0,64472	-0,15694	0,10601	6,75
0,4	-0,3922	-0,40602	0,21398	0,4708	0,7861	-0,07843	0,02262	6,75
0,5	-0,18957	-0,19878	0,00967	0,26337	0,76837	-0,09054	0	6,75
0,75	-0,21338	-0,19496	-0,49176	-0,10813	0,75179	-0,14053	0,10302	6,75
1	-0,46896	-0,43443	-0,78465	-0,3933	0,6788	-0,18257	0,05393	6,75
1,5	-0,86271	-0,79593	-1,20902	-0,88085	0,70689	-0,2595	0,19082	6,75
2	-1,22652	-1,15514	-1,57697	-1,27669	0,77989	-0,29657	0,29888	6,75
3	-1,82979	-1,7469	-2,22584	-1,91814	0,77966	-0,45384	0,67466	6,75
4	-2,24656	-2,15906	-2,58228	-2,38168	1,24961	-0,35874	0,79508	6,75
5	-1,28408	-1,2127	-1,50904	-1,41093	0,14271	-0,39006	0	8,5
7,5	-1,43145	-1,31632	-1,81022	-1,59217	0,52407	-0,37578	0	8,5
10	-2,15446	-2,16137	-2,53323	-2,14635	0,40387	-0,48492	0	8,5

**Fuente:** Boore, D. Atkinson, M. (2008). Ecuaciones de predicción de movimiento en el suelo para el componente horizontal promedio de PGA, PGV y PSA amortiguado al 5% en períodos espectrales entre 0.01s y 10.0 s.

ANEXO C

Modelo Akkar y Bommer (2010)

C- 1. Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción de Pseudoaceleración Espectral

TABLE 1 Coefficients of Equations 1 and 2 for Prediction of Pseudo-Spectral Accelerations												
T	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>	b <sub>7</sub>	b <sub>8</sub>	b <sub>9</sub>	b <sub>10</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>
0.00	1.04159	0.91333	-0.08140	-2.92728	0.28120	7.86638	0.08753	0.01527	-0.04189	0.08015	0.2610	0.0994
0.05	2.11528	0.72571	-0.07351	-3.33201	0.33534	7.74734	0.04707	-0.02426	-0.04260	0.08649	0.2720	0.1142
0.10	2.11994	0.75179	-0.07448	-3.10538	0.30253	8.21405	0.02667	-0.00062	-0.04906	0.07910	0.2728	0.1167
0.15	1.64489	0.83683	-0.07544	-2.75848	0.25490	8.31786	0.02578	0.01703	-0.04184	0.07840	0.2788	0.1192
0.20	0.92065	0.96815	-0.07903	-2.49264	0.21790	8.21914	0.06557	0.02105	-0.02098	0.08438	0.2821	0.1081
0.25	0.13978	1.13068	-0.08761	-2.33824	0.20089	7.20688	0.09810	0.03919	-0.04853	0.08577	0.2871	0.0990
0.30	-0.84006	1.37439	-0.10349	-2.19123	0.18139	6.54299	0.12847	0.04340	-0.05554	0.09221	0.2902	0.0976
0.35	-1.32207	1.47055	-0.10873	-2.12993	0.17485	6.24751	0.16213	0.06695	-0.04722	0.09003	0.2983	0.1054
0.40	-1.70320	1.55930	-0.11388	-2.12718	0.17137	6.57173	0.21222	0.09201	-0.05145	0.09903	0.2998	0.1101
0.45	-1.97201	1.61645	-0.11742	-2.16619	0.17700	6.78082	0.24121	0.11675	-0.05202	0.09943	0.3037	0.1123
0.50	-2.76925	1.83268	-0.13202	-2.12969	0.16877	7.17423	0.25944	0.13562	-0.04283	0.08579	0.3078	0.1163
0.55	-3.51672	2.02523	-0.14495	-2.04211	0.15617	6.76170	0.26498	0.14446	-0.04259	0.06945	0.3070	0.1274
0.60	-3.92759	2.08471	-0.14648	-1.88144	0.13621	6.10103	0.27718	0.15156	-0.03853	0.05932	0.3007	0.1430
0.65	-4.49490	2.21154	-0.15522	-1.79031	0.12916	5.19135	0.28574	0.15239	-0.03423	0.05111	0.3004	0.1546
0.70	-4.62925	2.21764	-0.15491	-1.79800	0.13495	4.46323	0.30348	0.15652	-0.04146	0.04661	0.2978	0.1626
0.75	-4.95053	2.29142	-0.15983	-1.81321	0.13920	4.27945	0.31516	0.16333	-0.04050	0.04253	0.2973	0.1602
0.80	-5.32863	2.38389	-0.16571	-1.77273	0.13273	4.37011	0.32153	0.17366	-0.03946	0.03373	0.2927	0.1584
0.85	-5.75799	2.50635	-0.17479	-1.77068	0.13096	4.62192	0.33520	0.18480	-0.03786	0.02867	0.2917	0.1543
0.90	-5.82689	2.50287	-0.17367	-1.76295	0.13059	4.65393	0.34849	0.19061	-0.02884	0.02475	0.2915	0.1521
0.95	-5.90592	2.51405	-0.17417	-1.79854	0.13535	4.84540	0.35919	0.19411	-0.02209	0.02502	0.2912	0.1484
1.00	-6.17066	2.58558	-0.17938	-1.80717	0.13599	4.97596	0.36619	0.19519	-0.02269	0.02121	0.2895	0.1483
1.05	-6.60337	2.69584	-0.18646	-1.73843	0.12485	5.04489	0.37278	0.19461	-0.02613	0.01115	0.2888	0.1465
1.10	-6.90379	2.77044	-0.19171	-1.71109	0.12227	5.00975	0.37756	0.19423	-0.02655	0.00140	0.2896	0.1427
1.15	-6.96180	2.75857	-0.18890	-1.66588	0.11447	5.08902	0.38149	0.19402	-0.02088	0.00148	0.2871	0.1435
1.20	-6.99236	2.73427	-0.18491	-1.59120	0.10265	5.03274	0.38120	0.19309	-0.01623	0.00413	0.2878	0.1439
1.25	-6.74613	2.62375	-0.17392	-1.52886	0.09129	5.08347	0.38782	0.19392	-0.01826	0.00413	0.2863	0.1453
1.30	-6.51719	2.51869	-0.16330	-1.46527	0.08005	5.14423	0.38862	0.19273	-0.01902	-0.00369	0.2869	0.1427
1.35	-6.55821	2.52238	-0.16307	-1.48223	0.08173	5.29006	0.38677	0.19082	-0.01842	-0.00897	0.2885	0.1428
1.40	-6.61945	2.52611	-0.16274	-1.48257	0.08213	5.33490	0.38625	0.19285	-0.01607	-0.00876	0.2875	0.1458
1.45	-6.62737	2.49858	-0.15910	-1.43310	0.07577	5.19412	0.38285	0.19161	-0.01288	-0.00564	0.2857	0.1477
1.50	-6.71787	2.49486	-0.15689	-1.35301	0.06379	5.15750	0.37867	0.18812	-0.01208	-0.00215	0.2839	0.1468
1.55	-6.80776	2.50291	-0.15629	-1.31227	0.05697	5.27441	0.37267	0.18568	-0.00845	-0.00047	0.2845	0.1450
1.60	-6.83632	2.51009	-0.15676	-1.33260	0.05870	5.54539	0.36952	0.18149	-0.00533	-0.00006	0.2844	0.1457
1.65	-6.88684	2.54048	-0.15995	-1.40931	0.06860	5.93828	0.36531	0.17617	-0.00852	-0.00301	0.2841	0.1503
1.70	-6.94600	2.57151	-0.16294	-1.47676	0.07672	6.36599	0.35936	0.17301	-0.01204	-0.00744	0.2840	0.1537
1.75	-7.09166	2.62938	-0.16794	-1.54037	0.08428	6.82292	0.35284	0.16945	-0.01386	-0.01387	0.2840	0.1558
1.80	-7.22818	2.66824	-0.17057	-1.54273	0.08325	7.11603	0.34775	0.16743	-0.01402	-0.01492	0.2834	0.1582
1.85	-7.29772	2.67565	-0.17004	-1.50936	0.07663	7.31928	0.34561	0.16730	-0.01526	-0.01192	0.2828	0.1592
1.90	-7.35522	2.67749	-0.16934	-1.46988	0.07065	7.25988	0.34142	0.16325	-0.01563	-0.00703	0.2826	0.1611
1.95	-7.40716	2.68206	-0.16906	-1.43816	0.06525	7.25344	0.33720	0.16171	-0.01848	-0.00351	0.2832	0.1642
2.00	-7.50404	2.71004	-0.17130	-1.44395	0.06602	7.26059	0.33298	0.15839	-0.02258	-0.00486	0.2835	0.1657
2.05	-7.55598	2.72737	-0.17291	-1.45794	0.06774	7.40320	0.33010	0.15496	-0.02626	-0.00731	0.2836	0.1665
2.10	-7.53463	2.71709	-0.17221	-1.46662	0.06940	7.46168	0.32645	0.15337	-0.02920	-0.00871	0.2832	0.1663
2.15	-7.50811	2.71035	-0.17212	-1.49679	0.07429	7.51273	0.32439	0.15264	-0.03484	-0.01225	0.2830	0.1661
2.20	-8.09168	2.91159	-0.18920	-1.55644	0.08428	7.77062	0.31354	0.14430	-0.03985	-0.01927	0.2830	0.1627
2.25	-8.11057	2.92087	-0.19044	-1.59537	0.09052	7.87702	0.30997	0.14430	-0.04155	-0.02322	0.2830	0.1627
2.30	-8.16272	2.93325	-0.19155	-1.60461	0.09284	7.91753	0.30826	0.14412	-0.04238	-0.02626	0.2829	0.1633

TABLE 1 (continued)												
Coefficients of Equations 1 and 2 for Prediction of Pseudo-Spectral Accelerations												
T	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>	b <sub>7</sub>	b <sub>8</sub>	b <sub>9</sub>	b <sub>10</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>
2.35	-7.94704	2.85328	-0.18539	-1.57428	0.09077	7.61956	0.32071	0.14321	-0.04963	-0.02342	0.2815	0.1632
2.40	-7.96679	2.85363	-0.18561	-1.57833	0.09288	7.59643	0.31801	0.14301	-0.04910	-0.02570	0.2826	0.1645
2.45	-7.97878	2.84900	-0.18527	-1.57728	0.09428	7.50338	0.31401	0.14324	-0.04812	-0.02643	0.2825	0.1665
2.50	-7.88403	2.81817	-0.18320	-1.60381	0.09887	7.53947	0.31104	0.14332	-0.04710	-0.02769	0.2818	0.1681
2.55	-7.68101	2.75720	-0.17905	-1.65212	0.10680	7.61893	0.30875	0.14343	-0.04607	-0.02819	0.2818	0.1688
2.60	-7.72574	2.82043	-0.18717	-1.88782	0.14049	8.12248	0.31122	0.14255	-0.05106	-0.02966	0.2838	0.1741
2.65	-7.53288	2.74824	-0.18142	-1.89525	0.14356	7.92236	0.30935	0.14223	-0.05024	-0.02930	0.2845	0.1759
2.70	-7.41587	2.69012	-0.17632	-1.87041	0.14283	7.49999	0.30688	0.14074	-0.04887	-0.02963	0.2854	0.1772
2.75	-7.34541	2.65352	-0.17313	-1.86079	0.14340	7.26668	0.30635	0.14052	-0.04743	-0.02919	0.2862	0.1783
2.80	-7.24561	2.61028	-0.16951	-1.85612	0.14444	7.11861	0.30534	0.13923	-0.04731	-0.02751	0.2867	0.1794
2.85	-7.07107	2.56123	-0.16616	-1.90422	0.15127	7.36277	0.30508	0.13933	-0.04522	-0.02776	0.2869	0.1788
2.90	-6.99332	2.52699	-0.16303	-1.89704	0.15039	7.45038	0.30362	0.13776	-0.04203	-0.02615	0.2874	0.1784
2.95	-6.95669	2.51006	-0.16142	-1.90132	0.15081	7.60234	0.29987	0.13584	-0.03863	-0.02487	0.2872	0.1783
3.00	-6.92924	2.45899	-0.15513	-1.76801	0.13314	7.21950	0.29772	0.13198	-0.03855	-0.02469	0.2876	0.1785

**Fuente:** Akkar, S. Bommer, J. (2010). Ecuaciones empíricas para la predicción de PGA, PGV y aceleraciones espectrales en Europa, la región mediterránea y Oriente Medio.

## ANEXO D

### Modelo Kanno (2006)

**D- 1.** Coeficientes de regresión para el modelo de eventos superficiales de PGA, PGV y espectros de respuesta de aceleración amortiguada del 5%.

PERIODO	a1	b1	c1	d1	ε1	p	q
0	0,56	-0,0031	0,26	0,0055	0,37	-0,55	1,35
0,05	0,54	-0,0035	0,48	0,0061	0,37	-0,32	0,80
0,06	0,54	-0,0037	0,57	0,0065	0,38	-0,26	0,65
0,07	0,53	-0,0039	0,67	0,0066	0,38	-0,24	0,60
0,08	0,52	-0,004	0,75	0,0069	0,39	-0,26	0,64
0,09	0,52	-0,0041	0,8	0,0071	0,4	-0,29	0,72
0,1	0,52	-0,0041	0,85	0,0073	0,4	-0,32	0,78
0,11	0,5	-0,004	0,96	0,0061	0,4	-0,35	0,84
0,12	0,51	-0,004	0,93	0,0062	0,4	-0,39	0,94
0,13	0,51	-0,0039	0,91	0,0062	0,4	-0,43	1,04
0,15	0,52	-0,0038	0,89	0,006	0,41	-0,53	1,28
0,17	0,53	-0,0037	0,84	0,0056	0,41	-0,61	1,47



0,2	0,54	-0,0034	0,76	0,0053	0,4	-0,68	1,65
0,22	0,54	-0,0032	0,73	0,0048	0,4	-0,72	1,74
0,25	0,54	-0,0029	0,66	0,0044	0,4	-0,75	1,82
0,3	0,56	-0,0026	0,51	0,0039	0,39	-0,80	1,96
0,35	0,56	-0,0024	0,42	0,0036	0,4	-0,85	2,09
0,4	0,58	-0,0021	0,26	0,0033	0,4	-0,87	2,13
0,45	0,59	-0,0019	0,13	0,003	0,41	-0,89	2,18
0,5	0,59	-0,0016	0,04	0,0022	0,41	-0,91	2,25
0,6	0,62	-0,0014	-0,22	0,0025	0,41	-0,92	2,30
0,7	0,63	-0,0012	-0,37	0,0022	0,41	-0,96	2,41
0,8	0,65	-0,0011	-0,54	0,002	0,41	-0,98	2,46
0,9	0,68	-0,0009	-0,8	0,0019	0,41	-0,97	2,44
1	0,71	-0,0009	-1,04	0,0021	0,41	-0,93	2,32
1,1	0,72	-0,0007	-1,19	0,0018	0,41	-0,92	2,30
1,2	0,73	-0,0006	-1,32	0,0014	0,41	-0,91	2,26
1,3	0,74	-0,0006	-1,44	0,0014	0,41	-0,88	2,20
1,5	0,77	-0,0005	-1,7	0,0017	0,4	-0,85	2,12
1,7	0,79	-0,0005	-1,89	0,0019	0,39	-0,83	2,06
2	0,8	-0,0004	-2,08	0,002	0,39	-0,78	1,92
2,2	0,82	-0,0004	-2,24	0,0022	0,38	-0,76	1,88
2,5	0,84	-0,0003	-2,46	0,0023	0,38	-0,72	1,80
3	0,86	-0,0002	-2,72	0,0021	0,38	-0,68	1,70
3,5	0,9	-0,0003	-2,99	0,0032	0,37	-0,66	1,64
4	0,92	-0,0005	-3,21	0,0045	0,38	-0,62	1,54
4,5	0,94	-0,0007	-3,39	0,0064	0,38	-0,60	1,50
5	0,92	-0,0004	-3,35	0,003	0,38	-0,59	1,46

**Fuente:** Kanno, et al. (2006). Una nueva relación de atenuación para el movimiento de tierra fuerte en Japón en base a los datos registrados.

## ANEXO E

### Modelo Youngs (1997)

**E- 1.** Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral horizontal (5% de amortiguación) para terremotos de subducción para suelo.

PERIODO	C1	C2	C3	C*4	C*5
0	0	0	-2,329	1,45	-0,1
0,075	2,4	-0,0019	-2,697	1,45	-0,1
0,1	2,516	-0,0019	-2,697	1,45	-0,1
0,2	1,549	-0,0019	-2,464	1,45	-0,1
0,3	0,793	-0,002	-2,327	1,45	-0,1
0,4	0,144	-0,002	-2,23	1,45	-0,1
0,5	-0,438	-0,0035	-2,14	1,45	-0,1
0,75	-1,704	-0,0048	-1,952	1,45	-0,1
1	-2,87	-0,0066	-1,785	1,45	-0,1
1,5	-5,101	-0,0114	-1,47	1,5	-0,1
2	-6,433	-0,0164	-1,29	1,55	-0,1
3	-6,672	-0,0221	-1,347	1,65	-0,1
4	-7,618	-0,0235	-1,272	1,65	-0,1

**Fuente:** Youngs. R. Chiou, S. (1997). Relaciones de atenuación de movimiento en el suelo para los terremotos de la zona de subducción.

## ANEXO F

### Modelo Zhao (2006)

**F- 1.** Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria.

Periodo	a	b	c	d	e	SR	SI	Ss	SsL
0,00	1,101	-0,00564	0,0055	1,080	0,01412	0,251	0,000	2,607	-0,528
0,05	1,076	-0,00671	0,0075	1,060	0,01463	0,251	0,000	2,764	-0,551
0,10	1,118	-0,00787	0,0090	1,083	0,01423	0,240	0,000	2,156	-0,420
0,15	1,134	-0,00722	0,0100	1,053	0,01509	0,251	0,000	2,161	-0,431
0,20	1,147	-0,00659	0,0120	1,014	0,01462	0,260	0,000	1,901	-0,372
0,25	1,149	-0,00590	0,0140	0,966	0,01459	0,027	0,000	1,814	-0,360

0,30	1,163	-0,00520	0,0150	0,934	0,01458	0,259	0,000	2,181	-0,450
0,40	1,2	-0,00422	0,0100	0,959	0,01257	0,248	-0,041	2,432	-0,506
0,50	1,25	-0,00338	0,0060	1,008	0,01114	0,247	-0,053	2,629	-0,554
0,60	1,293	-0,00282	0,0030	1,088	0,01019	0,233	-0,103	2,702	-0,575
0,70	1,336	-0,00258	0,0025	1,084	0,00979	0,220	-0,146	2,654	-0,572
0,80	1,386	-0,00242	0,0022	1,088	0,00944	0,232	-0,164	2,480	-0,540
0,90	1,433	-0,00232	0,0020	1,109	0,00972	0,220	-0,206	2,332	-0,522
1,00	1,479	-0,00220	0,0020	1,115	0,01005	0,211	-0,239	2,233	-0,509
1,25	1,551	-0,00207	0,0020	1,083	0,01003	0,251	-0,256	2,029	-0,469
1,50	1,621	-0,00224	0,0020	1,091	0,00928	0,248	-0,306	1,589	-0,379
2,00	1,694	-0,00201	0,0025	1,055	0,00833	0,263	-0,320	0,966	-0,248
2,50	1,748	-0,00187	0,0028	1,052	0,00776	0,262	-0,337	0,789	-0,221
3,00	1,759	-0,00147	0,0032	1,025	0,00644	0,307	-0,331	1,037	-0,263
4,00	1,826	-0,00195	0,0040	1,044	0,00590	0,353	-0,390	0,561	-0,169
5,00	1,825	-0,00237	0,0050	1,065	0,00510	0,248	-0,498	0,225	-0,120

**Fuente:** Zhao, et al. (2006). Relaciones de atenuación del movimiento del suelo fuerte en Japón usando la clasificación del sitio basada en el período predominante

#### F- 2. Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción

CH	C1	C2	C3	C4	Ck	$\sigma$	$\tau$	$\sigma T$
0,293	1,111	1,344	1,355	1,420	1,355	0,604	0,398	0,723
0,939	1,684	1,793	1,747	1,814	1,747	0,640	0,444	0,779
1,499	2,061	2,135	2,031	2,082	2,031	0,694	0,490	0,849
1,462	1,916	2,168	2,052	2,113	2,052	0,702	0,460	0,839
1,280	1,669	2,085	2,001	2,030	2,001	0,692	0,423	0,811
1,121	1,468	1,942	1,941	1,937	1,941	0,682	0,391	0,786
0,852	1,172	1,683	1,808	1,770	1,808	0,670	0,379	0,770
0,365	0,655	1,127	1,482	1,397	1,482	0,659	0,390	0,766
-0,207	0,071	0,515	0,934	0,955	0,934	0,653	0,389	0,760
-0,705	-0,429	-0,003	0,394	0,559	0,394	0,653	0,401	0,766
-1,144	-0,866	-0,449	-0,111	0,188	-0,111	0,652	0,408	0,769
-1,609	-1,325	-0,928	-0,620	-0,246	-0,620	0,647	0,418	0,770
-2,023	-1,732	-1,349	-1,066	-0,643	-1,066	0,653	0,411	0,771
-2,451	-2,152	-1,776	-1,523	-1,084	-1,523	0,657	0,410	0,775
-3,243	-2,923	-2,542	-2,327	-1,936	-2,327	0,660	0,402	0,773
-3,888	-3,548	-3,169	-2,979	-2,661	-2,979	0,664	0,408	0,779
-4,783	-4,410	-4,039	-3,871	-3,640	-3,871	0,669	0,414	0,787
-5,444	-5,049	-4,698	-4,496	-4,341	-4,496	0,671	0,411	0,786
-5,839	-5,431	-5,089	-4,893	-4,758	-4,893	0,667	0,396	0,776
-6,598	-6,181	-5,882	-5,698	-5,588	-5,698	0,647	0,382	0,751
-6,752	-6,347	-6,051	-5,873	-5,798	-5,873	0,643	0,377	0,745

**Fuente:** Zhao, et al. (2006). Relaciones de atenuación del movimiento del suelo fuerte en Japón usando la clasificación del sitio basada en el período predominante.