



**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:**

---

**“DETERMINACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS  
ESTRUCTURAS DEL SECTOR PISHILATA UBICADO ENTRE LAS  
CALLES TRONCAL DE LA SIERRA, REAL AUDIENCIA DE QUITO,  
HORACIO E HIPÓCRATES DE LA CIUDAD DE AMBATO”**

---

**AUTOR:** Jairo Alejandro Sevilla Samaniego

**TUTOR:** Ing. Mg. Jorge Cevallos

**Ambato – Ecuador  
2019**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. M.Sc Jorge Cevallos en calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de investigación bajo el tema: **“DETERMINACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR PISHILATA UBICADO ENTRE LAS CALLES TRONCAL DE LA SIERRA, REAL AUDIENCIA DE QUITO, HORACIO E HIPÓCRATES DE LA CIUDAD DE AMBATO”**, realizado por el Sr. Jairo Alejandro Sevilla Samaniego Egresado 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, Agosto de 2019



---

Ing. M.Sc Jorge Cevallos

**TUTOR DE TESIS**

## AUTORÍA

Yo, Jairo Alejandro Sevilla Samaniego con CI. 0202100780, egresado 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: **“DETERMINACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR PISHILATA UBICADO ENTRE LAS CALLES TRONCAL DE LA SIERRA, REAL AUDIENCIA DE QUITO, HORACIO E HIPÓCRATES DE LA CIUDAD DE AMBATO”**, es de mi completa autoría.

Ambato, Agosto de 2019



---

Jairo Alejandro Sevilla Samaniego

**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, Agosto de 2019



---

Jairo Alejandro Sevilla Samaniego

**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de calificación de grado aprueban el Trabajo Experimental, sobre el tema: **“DETERMINACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR PISHILATA UBICADO ENTRE LAS CALLES TRONCAL DE LA SIERRA, REAL AUDIENCIA DE QUITO, HORACIO E HIPÓCRATES DE LA CIUDAD DE AMBATO”**, del egresado Jairo Alejandro Sevilla Samaniego, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Octubre de 2019

Para constancia firman:



Ing. Mg. Carlos Navarro



Ing. Mg. Galo Nuñez

## **DEDICATORIA**

Al ser supremo por ser mi guía y a quien me encomiendo cada día.

A mis padres Gilberto y Marlene por darme el apoyo día a día, incondicionalmente, en cada decisión que tomo, y seguir confiando en mí.

A mi hermana Paola por confiar en mí y estar conmigo siempre.

A mi hermana Estela por acompañarme en mi carrera universitaria desde el día que llegue a esta ciudad.

A mis Abuelitos Olguita y Manuel (+) por cuidarme y ser como mis padres.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi tutor Ing. Mg. Jorge Cevallos por su asesoría y tiempo en la realización de este trabajo, y sus consejos de vida.

A mis compañeros que me ayudaron en la elaboración de los ensayos de campo y laboratorio en este proyecto.

A mis tíos Vicente, Grimaneza que han estado apoyándome en todo momento.

Al Ing. Edgar C., Ing. Galo E., por guiarme en el inicio del trabajo de campo de esta linda profesión.

## ÍNDICE

### A. PÁGINAS PRELIMINANRES

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA .....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XV
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVII
ABSTRACT .....	XVIII

### B. CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	1
1.1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	3
Tectónica de placas.....	3
Tipos de bordes de placas. ....	6
Sismicidad y vulcanismo .....	10
Peligro sísmico .....	13
Fallas geológicas.....	15
Partes de una falla.....	16
Tipos de fallas geológicas.....	17
Ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPEs) .....	19
1.1.4 HIPÓTESIS.....	25

1.2. OBJETIVOS.....	25
1.2.1 Objetivo General: .....	25
1.2.2 Objetivos Específicos: .....	25
CAPÍTULO II.....	26
METODOLOGÍA.....	26
TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	26
POBLACIÓN Y MUESTRA.....	26
2.1 MATERIALES Y EQUIPO.....	27
2.1.1 Materiales .....	27
2.1.2 Equipo .....	27
2.2.1 Plan de Recolección de Datos.....	28
2.2.2 Plan de Procesamiento y Análisis de Información .....	29
CAPÍTULO III .....	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	30
3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	30
Régimen Tectónico .....	30
3.1.2 Selección de fallas geológicas .....	33
3.1.3 Características del suelo .....	36
3.1.3.1 Ensayo de penetración estándar .....	42
3.1.4 Velocidad media de la onda de cortante $V_{S30}$ .....	47
3.1.5 Ecuaciones de atenuación para sismos intraplaca cortical. ....	52
3.1.5.1 Modelo Boore y Atkinson (2008) .....	53
3.1.5.2 Modelo Akkar y Bommer (2010).....	58
3.1.5.3 Modelo Kanno (2006) .....	60
3.1.6 Ecuaciones de atenuación para subducción.....	63
3.1.6.1 Modelo Young (1997).....	64
3.1.6.2 Modelo Zhao (2006).....	65
3.1.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	68
3.1.7.1 Magnitud de fallas.....	68
3.1.7.2 Cálculo de Espectros. ....	70
Espectros calculados con el modelo de Boore y Atkinson (2008) .....	71
Espectros calculados con el modelo de Akkar y Bommer (2010).....	72
Espectros calculados con el modelo de Kanno (2006) .....	73
Espectros calculados con el modelo de Young (1997).....	74

Espectros calculados con el modelo de Zhao (2006).....	75
3.1.7.3 Espectros con los modelos para una falla seleccionada .....	76
Espectros con los modelos para la falla Ambato.....	76
3.2.3.2 Espectros con los modelos para la falla Huachi.....	77
Espectros con los modelos para la falla Totoras .....	78
Espectros con los modelos para la falla Samanga .....	79
Espectros con los modelos para la falla de Subducción .....	80
3.1.7.4 Espectros con la NEC – 15 .....	80
Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Ambato .....	81
3.2.4.2 Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Huachi .....	82
Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Totoras.....	83
Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Samanga .....	84
Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Young, Zhao y NEC-15) para la falla de subducción. ....	85
3.1.7.5 Espectro de los modelos de aceleración seleccionados y el de la NEC-15. ....	85
3.1.7.6 Espectro determinístico comparado con la NEC-15. ....	87
3.1.8 Cálculo de los periodos de vibración. ....	90
Periodo Fundamental de Vibración .....	90
Periodo límite de Vibración .....	91
3.1.9 Comportamiento estructural de las estructuras tipo en el área de estudio. .	93
3.1.9.1 Evaluación de la estructura de 2 pisos.....	93
Cortante Basal .....	94
Comportamiento estructural. ....	95
Datos para estructura de 2 pisos .....	95
Periodo de vibración. ....	97
Modos de vibración de la estructura. ....	98
Modos necesarios para acumular el 90% de Masa. ....	99
Deriva de Piso.....	99
3.1.9.2 Evaluación de la estructura de 3 pisos.....	101
Cortante Basal .....	103
Comportamiento estructural. ....	104

Datos para estructura de 3 pisos .....	104
Periodo de vibración. ....	105
Modos de vibración de la estructura. ....	106
Modos necesarios para acumular el 90% de Masa. ....	107
Deriva de Piso.....	108
3.1.9.3 Evaluación de la estructura de 4 pisos.....	110
Cortante Basal .....	112
Comportamiento estructural. ....	112
Datos para estructura de 4 pisos .....	113
Periodo de vibración. ....	114
Modos de vibración de la estructura. ....	115
Modos necesarios para acumular el 90% de Masa. ....	116
Deriva de Piso.....	117
3.2 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	119
CAPÍTULO IV .....	120
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	120
4.1 CONCLUSIONES.....	120
4.2 RECOMENDACIONES.....	121
C. MATERIALES DE REFERENCIA .....	123
1. BIBLIOGRAFÍA.....	123
2. ANEXOS .....	128

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Plan de recolección de información .....	28
Tabla 2: Intensidades sísmicas sentidas en la ciudad de Ambato.....	32
Tabla 3: Fallas geológicas con la longitud .....	36
Tabla 4: Clasificación de suelos en base al SUCS .....	37
Tabla 5: Clasificación del suelo para punto 1 .....	38
Tabla 6: Clasificación del suelo para punto 2 .....	39
Tabla 7: Clasificación del suelo para punto 3 .....	39
Tabla 8: Clasificación del suelo para punto 4 .....	40
Tabla 9: Clasificación del suelo para punto 5 .....	41
Tabla 10: Clasificación de los perfiles de suelo .....	43
Tabla 11: Ensayo de penetración estándar para punto 1 .....	44
Tabla 12: Ensayo de penetración estándar para punto 2.....	45
Tabla 13: Ensayo de penetración estándar para punto 3.....	45
Tabla 14: Ensayo de penetración estándar para punto 4.....	46

Tabla 15: Ensayo de penetración estándar para punto 5 .....	46
Tabla 16: Velocidad media de onda cortante Vs30 para punto 1 .....	49
Tabla 17: Velocidad media de onda cortante Vs30 para punto 2 .....	50
Tabla 18: Velocidad media de onda cortante Vs30 para punto 3 .....	50
Tabla 19: Velocidad media de onda cortante Vs30 para punto 4 .....	51
Tabla 20: Velocidad media de onda cortante Vs30 para punto 5 .....	51
Tabla 21: Vs30 de cada punto, Vs30 promedio y tipo de perfil de suelo. ....	52
Tabla 22: Valores de variables ficticias para diferentes tipos de fallas. ....	54
Tabla 23: Valores empleados en el modelo de Boore y Atkinson.....	58
Tabla 24: Valores empleados en el modelo de Akkar y Bommer. ....	60
Tabla 25: Valores empleados en el modelo de Kanno.....	63
Tabla 26: Valores empleados en el modelo de Young.....	65
Tabla 27: Valores empleados en el modelo de Zhao. ....	68
Tabla 28: Magnitud de momento calculado (Mw) de cada una de las fallas geológicas seleccionadas. ....	69
Tabla 29: Ecuaciones empleadas para el cálculo de la magnitud de Momento (M). Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura y área de ruptura. ....	70
Tabla 30: Valores periodo y aceleración para el espectro determinístico y NEC-15. ....	87
Tabla 31: Valores de $C_t$ y $\alpha$ utilizados para el cálculo del período de vibración. ....	90
Tabla 32: Valores de coeficientes de amplificación de suelo y factor Z para un perfil de suelo tipo D.....	92
Tabla 33: Secciones y propiedades de la estructura de 2 pisos .....	94
Tabla 34: Coeficientes obtenidos para el cálculo del coeficiente de los espectros elásticos para la estructura de 2 pisos .....	95
Tabla 35: Datos para la estructura de 2 pisos .....	96
Tabla 36: Datos obtenidos del programa etabs de la estructura de 2 pisos.....	96
Tabla 37: Valores de $T_o$ , $T_c$ , $T_1$ y $T_2$ de la estructura de 2 pisos.....	97
Tabla 38: Participación Modal de Masa de estructura de 2 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 – DETERMINISTA).....	98
Tabla 39: Participación Modal de Masa de estructura de 2 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 - DETERMINISTA) .....	98
Tabla 40: Acumulación de la Masa del 90% de la estructura de 2 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 - DETERMINISTA) .....	99
Tabla 41: Derivas de piso más altas de la estructura de 2 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015).....	100
Tabla 42: Derivas de piso más altas de la estructura de 2 pisos del programa etabs (para espectro DETERMINISTA).....	101
Tabla 43: Secciones y propiedades de la estructura de 3 pisos .....	103
Tabla 44: Coeficientes obtenidos para el cálculo del coeficiente de los espectros elásticos para la estructura de 3 pisos .....	103
Tabla 45: Datos para la estructura de 3 pisos .....	104
Tabla 46: Datos obtenidos del programa etabs de la estructura de 3 pisos.....	105
Tabla 47: Valores de $T_o$ , $T_c$ , $T_1$ y $T_2$ de la estructura de 3 pisos.....	105
Tabla 48: Participación Modal de Masa de estructura de 3 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 – DETERMINISTA).....	106

Tabla 38: Participación Modal de Masa de estructura de 3 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 - DETERMINISTA) .....	107
Tabla 50: Acumulación de la Masa del 90% de la estructura de 3 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 - DETERMINISTA) .....	107
Tabla 51: Derivas de piso más altas de la estructura de 3 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015).....	108
Tabla 52: Derivas de piso más altas de la estructura de 3 pisos del programa etabs (para espectro DETERMINISTA).....	109
Tabla 53: Secciones y propiedades de la estructura de 4 pisos .....	111
Tabla 54: Coeficientes obtenidos para el cálculo del coeficiente de los espectros elásticos para la estructura de 4 pisos .....	112
Tabla 55: Datos para la estructura de 4 pisos .....	113
Tabla 56: Datos obtenidos del programa etabs de la estructura de 4 pisos.....	113
Tabla 57: Valores de To, Tc, T1 y T2 de la estructura de 4 pisos.....	114
Tabla 58: Participación Modal de Masa de estructura de 4 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 – DETERMINISTA).....	115
Tabla 59: Participación Modal de Masa de estructura de 4 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 - DETERMINISTA) .....	116
Tabla 60: Acumulación de la Masa del 90% de la estructura de 4 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 - DETERMINISTA) .....	116
Tabla 61: Derivas de piso más altas de la estructura de 4 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015).....	117
Tabla 62: Derivas de piso más altas de la estructura de 4 pisos del programa etabs (para espectro DETERMINISTA).....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Placa Tectónica – Límites entre placas. Placas Principales: Africana, Euroasiática, Australiana, Norteamericana, Sudamericana, Pacífica y Antártica. Microplacas: Cocos, Nazca, Caribe, Filipinas, Arábiga, Somalia, Juan de Fuca.....	4
Figura 2: Convergencia Oceánica – Continental. Corteza oceánica.....	5
Figura 3: Borde Constructivo – Dorsal del Atlántico y Dorsal del Pacífico.....	7
Figura 4: Borde Destructivo – Oceánico/Oceánico – Islas del Japón.....	7
Figura 5: Borde Destructivo – Oceánico/Continental – Los Andes .....	8
Figura 6: Borde Conservativo – Falla transformante – Falla de San Andrés.....	9
Figura 7: Dorsal Oceánica Activa.....	9
Figura 8 : Escala de medición de sismos de la magnitud y de los daños generados. .	10
Figura 9 : Proceso y partes de una erupción volcánica. ....	11
Figura 10 : Proceso y partes de una erupción volcánica. ....	12
Figura 11 : Análisis de peligro sísmico probabilístico.....	14
Figura 12 : Análisis de peligro sísmico Determinista. ....	15
Figura 13: Partes de una falla .....	16
Figura 14: Esquema de una falla normal – Fallas normales .....	17
Figura 15: Esquema de una falla inversa – Fallas inversas.....	18

Figura 16: Esquema de una falla de desgarre – Fallas de desplazamiento .....	19
Figura 17: Límites de placa y velocidades de movimiento.....	31
Figura 18: Fallas geológicas del Ecuador. Fallas corticales y de subducción.....	33
Figura 19: Fallas geológicas de Tungurahua. Fallas geológicas cercanas al lugar de estudio. ....	34
Figura 20: Fallas geológicas de Ambato. Falla Huachi, Ambato, Totoras y Samanga. ....	34
Figura 21: Fallas geológicas en el área de estudio .....	35
Figura 22: Distancia desde la falla Ambato hacia el centro del área de estudio .....	36
Figura 23: Espectro de aceleración obtenido con el modelo de Boore y Atkinson (2008) utilizando las fallas corticales seleccionadas .....	71
Figura 24: Espectro de aceleración obtenido con el modelo de Akkar y Bommer (2010) utilizando las fallas corticales seleccionadas .....	72
Figura 25: Espectro de aceleración obtenido con el modelo de Kanno (2010) utilizando las fallas corticales seleccionadas.....	73
Figura 26: Espectro de aceleración obtenido con el modelo de Young (1997) utilizando la falla de subducción .....	74
Figura 27: Espectro de aceleración obtenido con el modelo de Zhao (2006) utilizando la falla de subducción.....	75
Figura 28: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Ambato.....	76
Figura 29: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Huachi .....	77
Figura 30: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Totoras .....	78
Figura 31: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Samanga .....	79
Figura 32: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Young y Zhao para la falla de Subducción.....	80
Figura 33: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Ambato.....	81
Figura 34: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Huachi .....	82
Figura 35: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Totoras .....	83
Figura 36: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Samanga .....	84
Figura 37: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Young, Zhao y NEC-15) para la falla de Subducción .....	85
Figura 38: Espectros de aceleración obtenidos con los modelos (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno, Young y Zhao), las fallas (Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y Subducción) y el espectro de la NEC 15.....	86
Figura 39: Espectro determinístico comparado con la NEC-15.....	89

Figura 40: Vista en planta de la estructura de 2 pisos.....	93
Figura 41: Vista modelada de la estructura. ....	94
Figura 42: Vista en planta de la estructura de 3 pisos.....	102
Figura 43: Vista modelada de la estructura. ....	102
Figura 44: Vista en planta de la estructura de 4 pisos.....	110
Figura 45: Vista modelada de la estructura. ....	111

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A: FOTOGRAFIAS</b> .....	128
Fotografía 1: Equipo para realizar el Ensayo de penetración estándar (SPT).....	128
Fotografía 2: Realizando el Ensayo de penetración estándar (SPT).....	129
Fotografía 3: Muestra de suelo obtenida en situ. ....	130
Fotografía 4: Toma de muestra de suelo para analizar en el laboratorio. ....	130
Fotografía 5: Muestras de suelo en el horno para secado (Laboratorios FICM). ....	131
Fotografía 6: Tamices utilizados para determinar la granulometría (Laboratorios FICM).....	131
Fotografía 7: Muestra tamizada (Laboratorios FICM). ....	132
Fotografía 8: Balanza utilizada (Laboratorios FICM). ....	132
Fotografía 9: Estructura de 2 pisos ubicada en el lugar de estudio. ....	133
Fotografía 10: Estructura de 3 pisos ubicada en el lugar de estudio. ....	133
Fotografía 11: Estructura de 4 pisos ubicada en el lugar de estudio. ....	134
<b>ANEXO B-1: Coeficientes de amplificación del área de estudio dependiente del periodo. Modelo Boore y Atkinson (2008)</b> .....	135
<b>ANEXO B-2: Coeficientes de escala de distancia. Modelo Boore y Atkinson (2008)</b> .....	136
<b>ANEXO B-3: Coeficientes de escala de magnitud. Modelo Boore y Atkinson (2008)</b> .....	137
<b>ANEXO C-1: Coeficientes de la ecuación 1 y 2 para la predicción de Pseudoaceleración. Modelo Akkar y Bommer (2010)</b> .....	138
<b>ANEXO D-1: Coeficientes de regresión para el modelo de eventos superficiales de PGA, PGV y espectros de respuesta de aceleración amortiguada del 5%. Modelo Kanno (2006)</b> .....	140
<b>ANEXO E-1: Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral (5% de amortiguación) para sismos de subducción. Modelo Youngs (1997).</b> .....	141

<b>ANEXO F-1:</b> Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria. Modelo Zhao (2006) .....	142
<b>ANEXO F-2:</b> Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción. Modelo Zhao (2006). .....	143

## RESUMEN EJECUTIVO

**TEMA:** “DETERMINACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR PISHILATA UBICADO ENTRE LAS CALLES TRONCAL DE LA SIERRA, REAL AUDIENCIA DE QUITO, HORACIO E HIPÓCRATES DE LA CIUDAD DE AMBATO”

**Autor:** Jairo Alejandro Sevilla Samaniego

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

El presente proyecto de investigación tiene como propósito calcular el periodo de vibración de tres estructuras tipo ubicadas en la zona de estudio, también obtener un espectro determinístico para este sector expresado como la aceleración de gravedad  $S_a$  (g), para compararlo con el espectro de respuesta de la NEC 2015.

Para este proceso se realizaron los siguientes pasos: Identificar el régimen tectónico en el área de estudio, seleccionar las fuentes sísmicas (fallas geológicas) con mayor longitud y las más cercanas capaces de producir un movimiento significativo que afectan al sitio de estudio, tales como la Falla Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y la falla de Subducción. Por medio del ensayo de penetración estándar (SPT) se calculó la velocidad media de la onda de cortante  $V_{s30}$  aproximada para el tipo de perfil, utilizando una correlación empírica entre la resistencia a la penetración estándar (N) y la velocidad de la onda de corte ( $V_s$ ). Se calculó la magnitud de momento para cada falla seleccionada, basado en la metodología de Wells – Coppersmith, por medio de 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 todos los espectros de aceleración máxima se logra el espectro determinista, el cual se compara con el espectro de respuesta de la NEC 2015.

Las aceleraciones dadas por el espectro determinista para las edificaciones que tienen periodos estructurales entre 0.10s a 0.60s son mayores al espectro de la NEC 2015, lo que quiere decir que las estructuras de 1 a 5 pisos presentan un grado de riesgo mayor.

## ABSTRACT

The purpose of this research project is to calculate the period of vibration of three type structures located in the study area, also to obtain a deterministic spectrum for this sector expressed as the acceleration of gravity  $S_a$  (g), to compare it with the response spectrum of the NEC 2015.

For this process, the following steps were carried out: Identify the tectonic regime in the study area, select the seismic sources (geological faults) with the longest length and the closest ones capable of producing a significant movement that affect the study site, such as Ambato, Huachi, Totoras, Samanga and Subduction failure fail. By means of the standard penetration test (SPT) the average speed of the shear wave  $V_{s30}$  approximate for the type of profile was calculated using an empirical correlation between the uncorrected standard penetration resistance (N) and the shear wave velocity ( $V_s$ ). The magnitude of momentum for each selected fault was calculated, based on the Wells-Coppersmith methodology, using parameters such as the distance to the epicenter, hypocenter and focal depth. Through the Soil Movement Prediction Equations (GMPEs) you get acceleration spectra and through an envelope of all spectra of maximum acceleration the deterministic spectrum is achieved, which is compared with the response spectrum of the NEC 2015.

The accelerations given by the deterministic spectrum for buildings that have structural periods between 0.10s to 0.60s are greater than the spectrum of the NEC 2015, which means that structures with 1 to 5 floors have a higher degree of risk.

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

Determinación del peligro sísmico determinista para las estructuras del sector Pishilata ubicado entre las calles troncal de la sierra, Real Audiencia de Quito, Horacio e Hipócrates de la ciudad de Ambato.

##### **1.1.1 ANTECEDENTES**

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción considera: “Ecuador tiene 6 zonas sísmicas, donde su amenaza sísmica va desde intermedia hasta muy alta, el litoral ecuatoriano presenta una amenaza sísmica muy alta, Ambato se encuentra en la quinta zona con un valor de Z de 0.40, esto se refleja en un mapa de zonificación sísmica para diseño que proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años”. [1]

Según el Ing. Fabricio Cobos Torres en su tesis de ingeniería considera ““El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi” se determinó que la envolvente de los espectros de aceleración calculado mediante las ecuaciones de atenuación en un intervalo de período de vibración de 0.25 a 0.45 genera aceleraciones mayores y supera al espectro de la norma.” “La falla geológica cortical de mayor magnitud de momento calculada es la de Ambato y Totoras Mw: 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 Mw: 8.9 por su mayor longitud”. “En el intervalo calculado las

estructuras de la Universidad Técnica de Ambato deberán ser calculados con una aceleración mayor a la de la NEC-15". [2]

Según el Ing. Diego Quizanga en su tesis de magister considera: "En el norte de Quito el espectro crítico está asociado al segmento de falla Ilumbisila Bota, se obtiene aceleraciones con valores altos en la ordenada, de igual manera las aceleraciones encontradas en el sur son valores altos si se los compara con el espectro de la normativa". "Los espectros críticos obtenidos tienen una forma similar al espectro normativo, excepto el espectro para perfil tipo E que tiene un  $V_{s30}$  a 200 m/s, la normativa indica que para el perfil tipo E el  $V_{s30}$  son menores a 180 m/s y para estos valores las ecuaciones de atenuación no son aplicables". [3]

### **1.1.2 JUSTIFICACIÓN**

La teoría de la tectónica de placas expresa que la unidad de comportamiento mecánico está constituida por la litosfera, que tiene un espesor promedio de 100Km e incluye la corteza y la parte superior del manto. La litosfera queda dividida en una serie de placas, siendo las más importantes: la Pacífica, la Sudamericana, la Norteamericana, la Euroasiática, la Indoaustraliana, la Africana y la Antártica. Estas placas gigantes se complementan con otras de menores dimensiones como la de Nazca, la Filipina, del Caribe, la Árabe y la Iránica. La mayor zona de contacto entre placas en el mundo es la llamada Cinturón de Fuego del Pacífico, a la que se le puede asociar el 90% de la sismicidad total del planeta. [4]

Ecuador está localizado dentro de una zona sísmica muy activa de la tierra, el cual se denomina cinturón de fuego, abarca la Placa de Nazca y la Sudamericana. Existe un mapa de zonas sísmicas donde se diferencia las zonas de alto peligro sísmico con las menos afectadas. La subducción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana son las principales fuentes de energía sísmica en Ecuador. [5]

El Cantón Ambato es considerado como una zona de alto riesgo sísmico y por ende posee suelos vulnerables en los cuales se han construido varias edificaciones sin ninguna dirección técnica. El estudio para detectar dichas zonas de riesgo es poco o ninguno, es así como este proyecto experimental determinará qué tipo de suelo cuenta un sector o área de la ciudad de Ambato logrando así construir edificaciones con mayor seguridad. [6][7]

### **1.1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

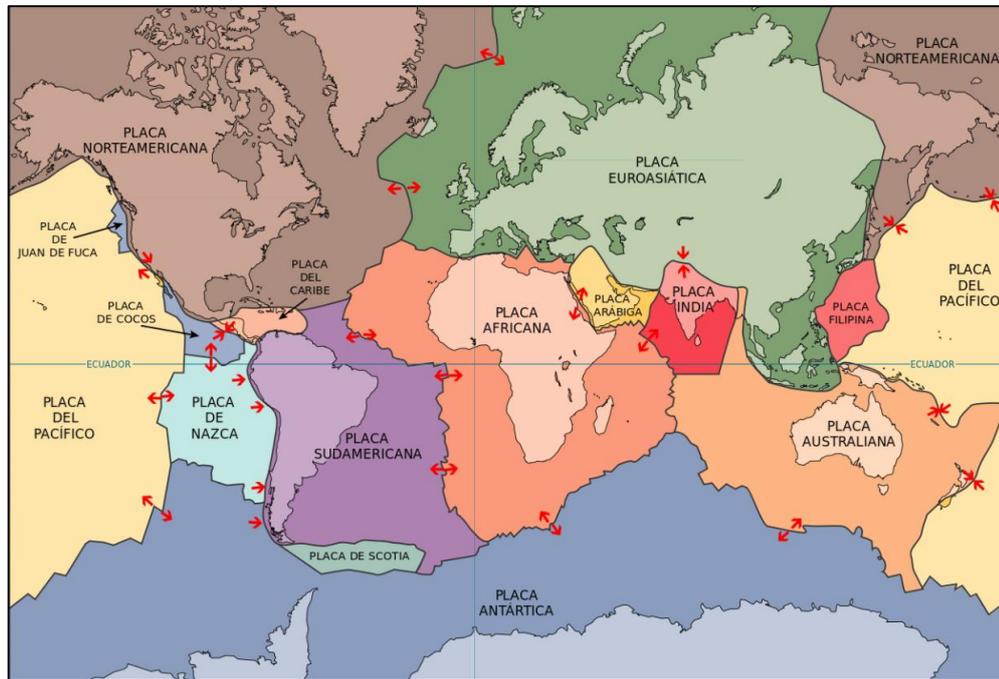
#### **Tectónica de placas**

La tectónica de placas o teoría de tectónica global merece un trabajo aparte; sin embargo, aquí es necesario establecer el concepto de "placa". Esta teoría se ha convertido en la llave maestra de la geología moderna para la comprensión de la estructura, historia y dinámica de la corteza terrestre. De acuerdo con esta teoría, la litosfera consiste en placas rígidas que se mueven en respuesta al flujo de material de la astenosfera debajo de ella. Por millones de años, los movimientos de placas han creado las cuencas oceánicas, continentes y montañas terrestres. [8]

La teoría de tectónica de placas comprende cuatro conceptos básicos:

- 1) La porción externa de la Tierra (litosfera: la corteza y la parte superior del manto), compuesta de unidades rígidas llamadas placas;
- 2) Las placas se mueven;
- 3) Gran parte de la actividad geológica a escala mundial, tal como sismos y erupciones volcánicas, ocurren en o cerca de los límites de placas; y finalmente,
- 4) Los interiores de las placas son relativamente estables geológicamente, con mucha menor actividad sísmica y volcánica que en sus límites. [8]

Figura 1: Placa Tectónica – Límites entre placas. Placas Principales: Africana, Euroasiática, Australiana, Norteamericana, Sudamericana, Pacífica y Antártica. Microplacas: Cocos, Nazca, Caribe, Filipinas, Árábica, Somalia, Juan de Fuca



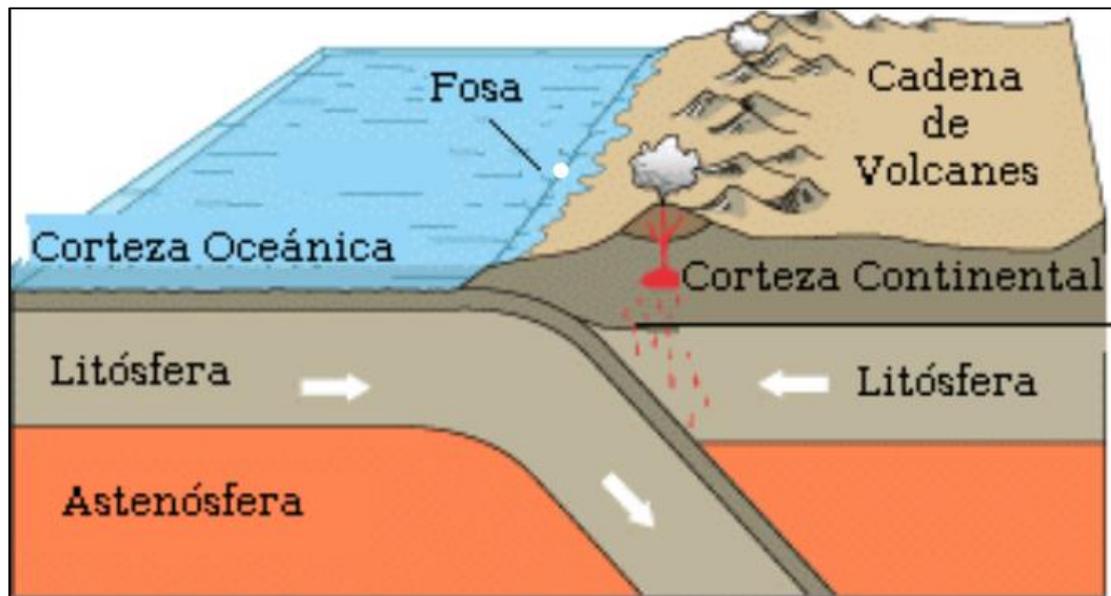
Fuente: USGS. Servicio Geológico de los Estados Unidos

El concepto global que reúne la deriva continental, expansión de fondos oceánicos, actividad sísmica, estructura de la corteza y actividad volcánica en un modelo coherente de cómo evoluciona la parte más externa de la Tierra. La teoría propone un modelo para los niveles más altos de la Tierra, en los que las capas rocosas enfriadas y rígidas de la corteza terrestre (litosfera) se encuentran recubriendo a otra mucho menos rígida o astenosfera. La parte superior está constituida por diferentes unidades rígidas (placas tectónicas), cada una de las cuales tiene un movimiento separado y relativo respecto a otras placas. Los límites de placas están con facilidad definidos en nuestros días mediante sísmica. El modelo de tectónica de placas es una combinación de la deriva continental y la expansión del fondo oceánico.

Las placas litosféricas nuevas se están formando y separando constantemente, y, por tanto, están siendo expandidas en los márgenes constructivos (dorsales), mientras que la esfera terrestre mantiene sus dimensiones debido a la subducción y reciclado de material que penetra en el manto en los márgenes destructivos (fosas). Este reciclado

deriva en un volcanismo andesítico y creación de corteza continental, que tiene una densidad inferior que la corteza oceánica y, por tanto, es más difícil de subducir. [8]

Figura 2: Convergencia Oceánica – Continental. Corteza oceánica.



Fuente: Ciencias Nacionales – La dinámica de la corteza terrestre

### Características.

Muchas de las características de la historia de la Tierra se explican dentro de este modelo que ha servido para unificar una hipótesis que afecta a la mayor parte de las ciencias de la Tierra. Sistemas montañosos descritos previamente a esta teoría son reconocidos ahora en las proximidades de zonas de subducción, donde con frecuencia se producen colisiones entre continentes; mediante los movimientos entre placas se han llegado a interpretar los grandes cinturones orogénicos incluso de comienzos del Proterozoico. Las placas se mueven mediante convección en el manto, que probablemente se ha ido sucediendo a lo largo de la historia de la Tierra, aunque las características resultantes de la superficie han ido también cambiando a través del tiempo. [8]

Con esto se ha propuesto que la superficie total de la Tierra está formada por una serie de placas rígidas, relativamente delgadas (100-150 km). Aunque el tamaño de las placas es variable, la mayor parte de la superficie actual de la Tierra está casi totalmente ocupada por media docena de grandes placas. Estas placas están continuamente en movimiento unas con respecto a otras, y con respecto al eje de rotación de la Tierra. Virtualmente, toda la actividad sísmica, volcánica y tectónica está localizada cerca de los bordes de las placas y está asociada a movimientos diferenciales entre placas adyacentes.

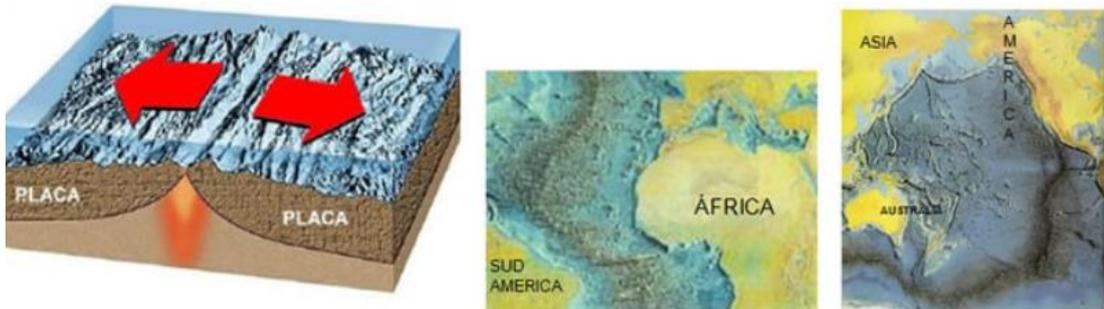
Los bordes entre diferentes placas son por tanto regiones de particular interés, y distinguimos entre frontera entre placas. La traza superficial de la zona de movimiento entre dos placas, y borde de placa, o parte que bordea a una placa particular; dos bordes de placa se encuentran en una frontera común. [9]

### **Tipos de bordes de placas.**

Se menciona tres tipos de bordes de placas.

- El primero se conoce como borde constructivo. Durante el proceso de expansión, que tiene lugar en las dorsales oceánicas. Se crea una nueva corteza, y ésta se aleja de la cordillera junto con la parte más alta del manto superior subyacente. La corteza recién generada y su manto superior quedan efectivamente soldados al borde de arrastre de la placa. Así, una dorsal representa una zona a lo largo de la cual dos placas están en movimiento, alejándose una de otra; no obstante, no se separan porque continuamente se adhiere nuevo material en la parte posterior de cada una. Las fronteras en las que el efecto neto del movimiento es generar área superficial, se denominan fuentes. [9]

Figura 3: Borde Constructivo – Dorsal del Atlántico y Dorsal del Pacífico



Fuente: SGM. Servicio Geológico Mexicano

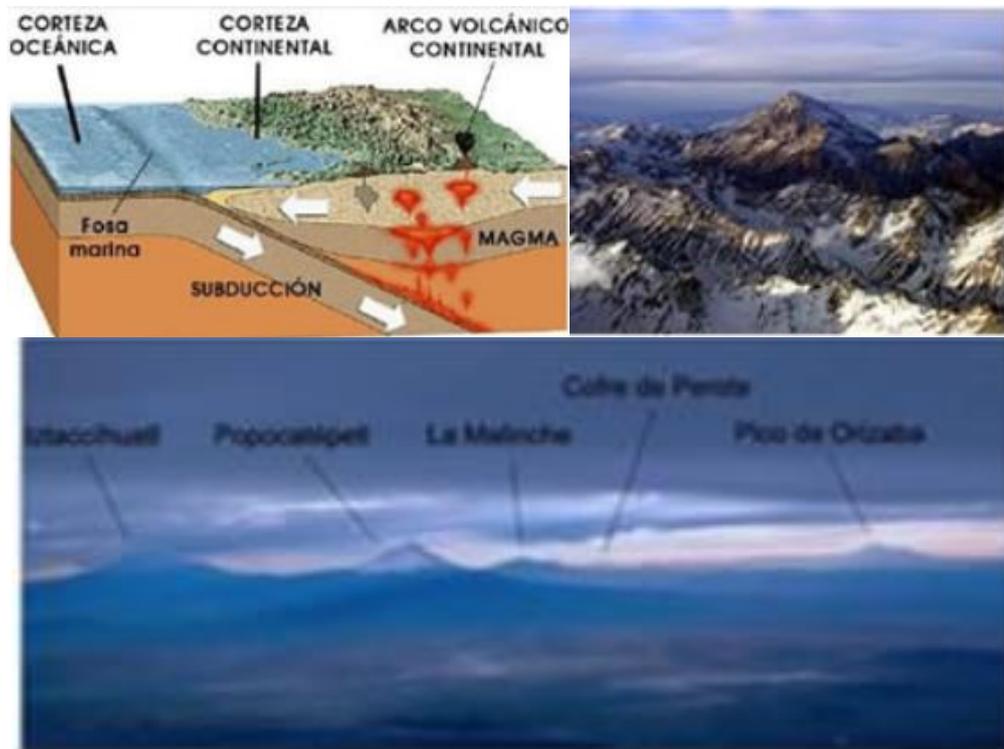
- El segundo tipo de borde es destructivo y tiene lugar en las fosas oceánicas profundas. En las fosas. Dos placas se acercan una a la otra, y una desliza bajo el borde de la otra con un ángulo de unos  $45^\circ$ . Las fronteras en las cuales el efecto neto de los movimientos es destruir área de superficie. se llaman sumideros. [9]

Figura 4: Borde Destructivo – Oceánico/Oceánico – Islas del Japón



Fuente: SGM. Servicio Geológico Mexicano

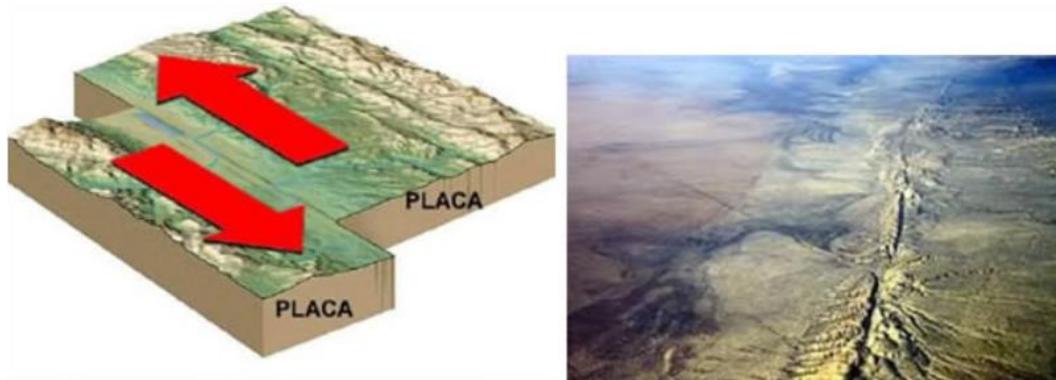
Figura 5: Borde Destructivo – Oceánico/Continental – Los Andes



Fuente: SGM. Servicio Geológico Mexicano

- Las placas pueden tener también bordes conservativos. Estos son bordes en los cuales las placas ni ganan ni pierden área superficial, sino simplemente pasan una al lado de la otra. Otra consideración importante es que, aunque las placas pueden comprender tanto corteza continental como oceánica, o ambas, parece que sólo las partes de placas que están cubiertas por corteza oceánica pueden participar en el proceso principal de construcción y destrucción. Está bastante claro que el proceso de expansión, que observamos está operando hoy en día sobre las dorsales, produce solamente la delgada capa de corteza de los océanos y no la gruesa corteza de los continentes, geoquímicamente distinta. Que la corteza continental no se destruye en los sumideros es menos fácil de demostrar. [9]

Figura 6: Borde Conservativo – Falla transformante – Falla de San Andrés



Fuente: SGM. Servicio Geológico Mexicano

### Características

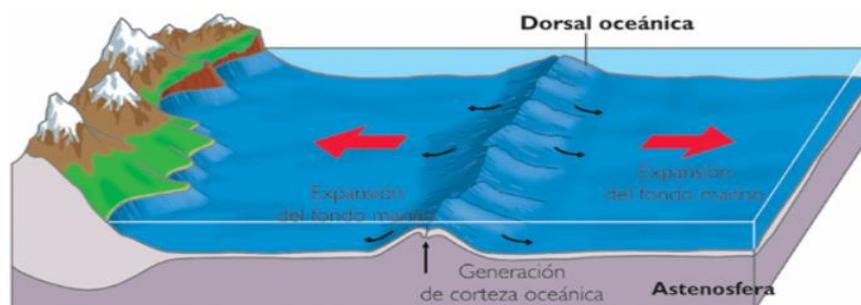
También se considera que: los supuestos principales en que se apoya la teoría general de la Tectónica de Placas; entre ellos hay tres que son más importantes que los otros:

(1) que tiene lugar la expansión del fondo oceánico, es decir, que se genera continuamente corteza oceánica en fuentes alineadas irregularmente (dorsales oceánicas activas);

(2) que el área superficial de la Tierra es constante, o, por lo menos, que su área cambia a una velocidad pequeña en comparación con la de la generación de nueva superficie por expansión;

(3) que una vez formada, la nueva corteza forma parte de una placa rígida que puede o no incorporar material continental. [10]

Figura 7: Dorsal Oceánica Activa



Fuente: Ciencias del mundo contemporáneo

## Sismicidad y vulcanismo

El constante movimiento en el cual se encuentran las placas tectónicas y algunas veces por medio de las fisuras o fracturas que las separan, se liberan gran cantidad de material en forma de lava y algunos gases, los cuales originan los volcanes. Además, por el movimiento interior también se generan los sismos. [11]

**La sismicidad.** - Los sismos son generados por el movimiento de las placas tectónicas y las erupciones volcánicas, estos movimientos bruscos de la corteza terrestre o sismos, como suele llamárseles, estos afectan en gran manera las construcciones realizadas por el hombre y generan grandes desastres y pérdidas humanas cuando se generan cerca de las ciudades.

En la actualidad se han creado herramientas tecnológicas que pueden medir la intensidad con la cual se producen los sismos, los lugares donde se genera el epicentro de estos fenómenos naturales, tal es el caso del “sismógrafo”, el cual proporciona la magnitud del movimiento en una unidad de medida, conocida como “Grados Richter” y para medir los daños y efectos generados por el sismo se ha creado la medición de escala de “Mercalli”. [11]

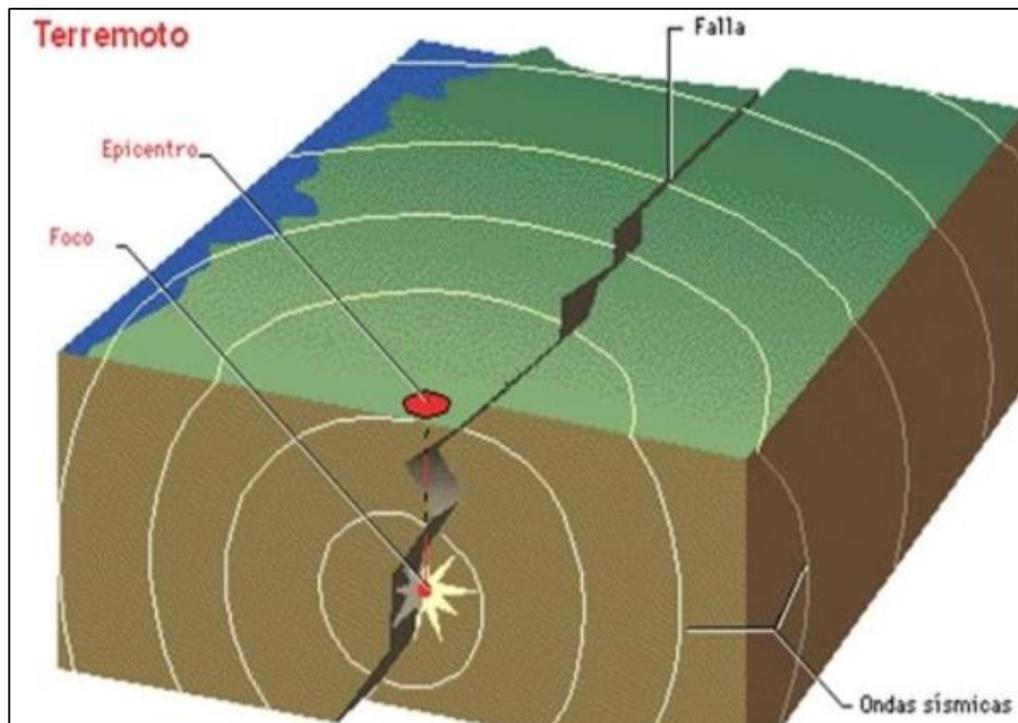
Figura 8 : Escala de medición de sismos de la magnitud y de los daños generados.

Cuadro 3.5 Escala de medición de sismos			
Richter (Cuantitativo: está en función de la magnitud)		Mercalli (cualitativo: está en función de los daños)	
2.5° a 3.4°	Generalmente la gente no lo siente, pero queda registrado en los sismógrafos.	I	Es casi imperceptible.
		II	Muy pocas personas lo sienten.
		III	Más personas lo sienten.
3.5° a 4.5°	Se producen daños en estructuras débiles, por ejemplo en casas construidas con adobe, palma u otro material menos resistente que el concreto.	IV	Las casas o edificios se llegan cimbrar un poco, en su interior las personas lo llegan a sentir.
		V	Lo sienten todas las personas, en la calle es evidente, pues hace que los árboles y postes oscilen.
		VI	Con una mayor intensidad que el que le precede, puede producir ligeros daños a las construcciones.
6.0°	Se considera ya como un terremoto, aunque las casas y edificios con materiales más resistentes como tabiques y concreto sufren daños ligeros.	VII	La intensidad del movimiento obliga a salir rápidamente de las casas y edificios, sólo las estructuras más débiles sufren daños considerables.
		VIII	Las construcciones más débiles se derrumban totalmente. Las mejor diseñadas sufren relativos daños.
A los 7°	Es un terremoto que puede causar daños considerables a diversas estructuras.	IX	Todas las estructuras son dañadas y se generan grietas apreciables en el suelo.
De los 8° y en adelante	Son menos comunes, pero sus daños pueden causar la pérdida de miles de vidas humanas, dependiendo del país.	X	Los daños se aprecian incluso en las estructuras mejor diseñadas.
		XI	Incluso el paisaje se llega a alterar.
		XII	La destrucción es total en la zona afectada.

Fuente: Geografía General (Héctor Ramírez)

Un sismo cuenta con dos elementos muy característicos, uno de ellos es el “foco” o lugar donde se origina y el otro es el “Epicentro”, el cual es el lugar encima de la superficie donde se sienten los efectos. [11]

Figura 9 : Proceso y partes de una erupción volcánica.



Fuente: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) México

### Métodos de predicción sísmica.

Actualmente no hay posibilidades de predecir los sismos con total seguridad, pero puede ser útil tener en cuenta los siguientes mecanismos predictivos:

#### A largo plazo:

- **Periodicidad:** Los grandes terremotos se suelen repetir a intervalos más o menos fijos, estudiando los períodos de vacío sísmico y de actividad sísmica en una zona, se “puede llegar” a predecir la ocurrencia de sismos de gran intensidad.
- **Detección de fallas activas:** El 95% de los sismos son uno de los efectos superficiales del movimiento de las placas litosféricas, que se desplazan a una

velocidad de 1 a 10 cm por año. Las fallas situadas en los límites de las placas se mueven con una frecuencia determinada, liberando de forma repentina la energía acumulada cada cierto número de años (intervalo de recurrencia o período de retorno). [12]

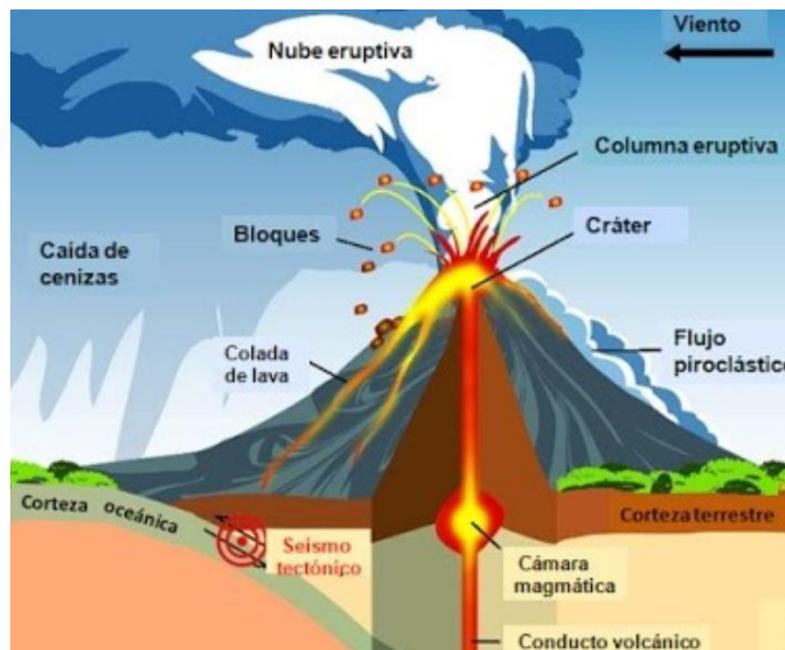
#### **A corto plazo:**

- Pequeños seísmos precursoros, que preceden a grandes terremotos.
- Emisión de gases inertes, sobre todo el radón. [12]

**Vulcanismo.** - Las erupciones volcánicas son grandes expulsiones de material rocoso fundido o de magma proveniente del manto superior o de depósitos que se encuentran en la corteza, la cual asciende a la superficie por las fracturas de la corteza terrestre.

Las erupciones volcánicas se presentan de diferentes formas, pueden presentarse en forma de cono o edificios volcánicos similares a las montañas o la expulsión de lava por la grieta sin acumulación de material. La erupción de un volcán arroja lava, rocas de distintos tamaños cuando sedan de gran magnitud, pero cuando son leves, solo arrojan gases y vapor de agua. [11]

Figura 10 : Proceso y partes de una erupción volcánica.



Fuente: Geografía (Michel Saby Santana Martínez)

## **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. [1]

Los métodos de peligro sísmico son:

- **Peligro Sísmico Probabilístico.**

El peligro sísmico probabilístico permite identificar, cuantificar y combinar de una manera racional, el tamaño, ubicación y tiempo de ocurrencia de los sismos para proporcionar una evaluación más completa de la amenaza sísmica. [20]

El análisis sísmico probabilista identifica, cuantifica y combina todas las incertidumbres asociadas con los movimientos de suelo, para proveernos de la información necesaria para identificar el peligro sísmico, los pasos para realizar el análisis probabilista se muestran a continuación y se resumen en el Figura 28.

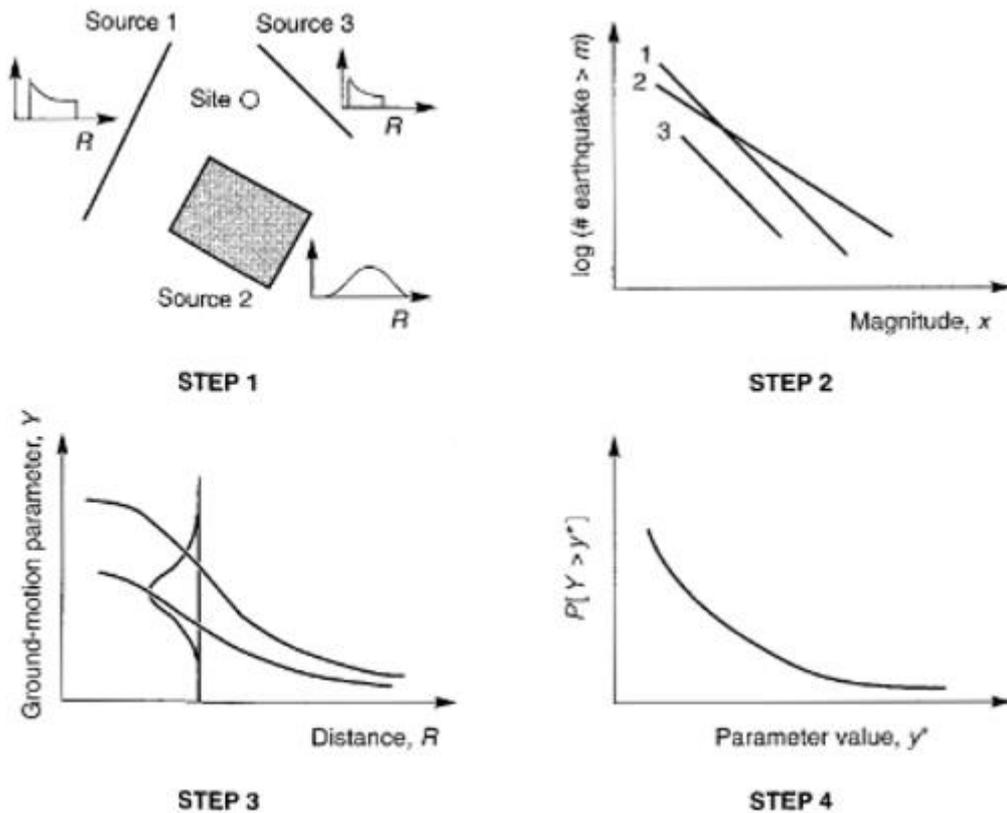
1.- Identificar y caracterizar las posibles fuentes de movimientos sísmico dentro de la zona de origen, además de realizar una distribución de probabilidad a cada zona fuente la cual generalmente es uniforme, es decir, los terremotos dentro de la zona de origen en cualquier punto tienen la misma probabilidad de ocurrir.

2.- Establecer una relación de recurrencia para la zona de origen la cual especifica la tasa promedio a la que un terremoto de algún tamaño será excedido.

3.- Utilizar relaciones predictivas para determinar la posible ocurrencia de terremotos de cualquier tamaño dentro de cada zona fuente.

4.- Por último, debido a las incertidumbres ligadas a la ubicación y tamaño del terremoto se establece una probabilidad de excedencia durante un período de tiempo. [31]

Figura 11 : Análisis de peligro sísmico probabilístico.



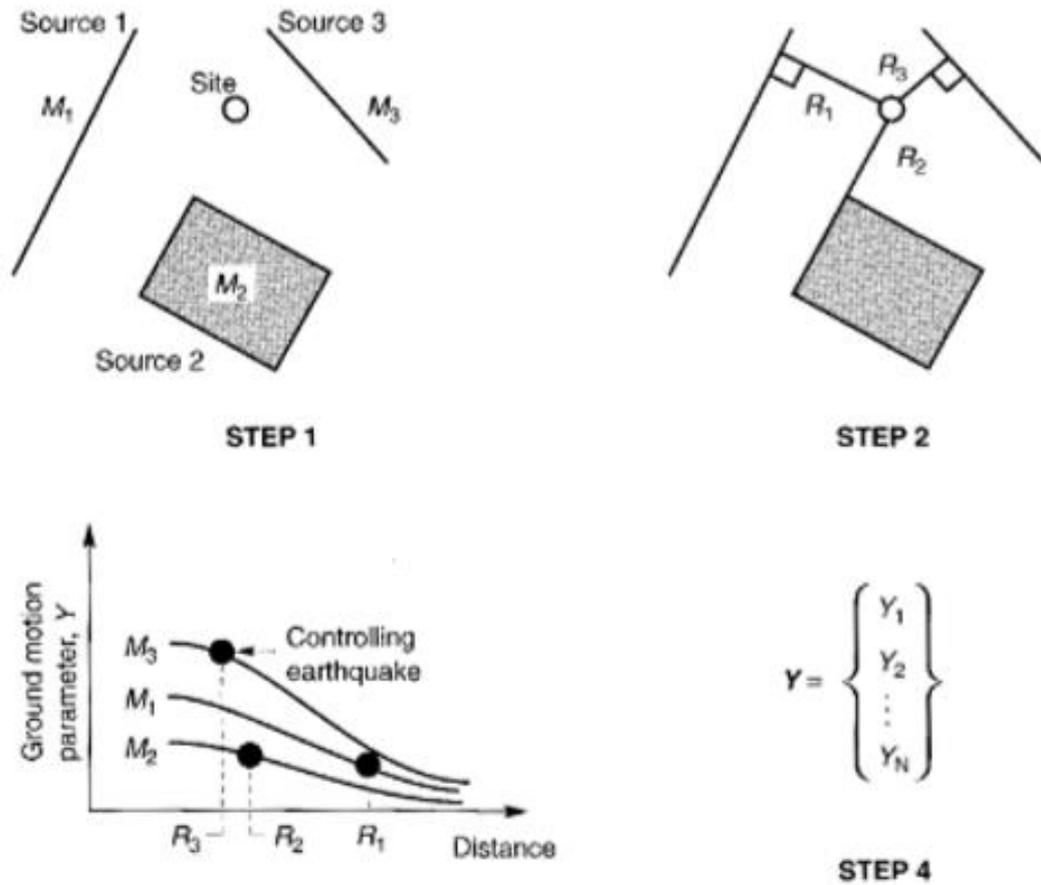
Fuente: Kramer 1996. Ingeniería Geotécnica de Terremotos

- **Peligro Sísmico Determinista.**

Consiste en asumir un escenario sísmico sobre el cual se basa la evaluación del peligro del movimiento sísmico en un lugar determinado, donde los pasos a seguir son: [21]

- Identificación de todas fuentes sísmicas capaces de producir sismos significativos en el área de estudio.
- Distancia de la fuente sísmica al sitio para cada fuente, se toma la menor distancia entre la fuente y el lugar de estudio. La distancia puede ser epicentral o hipocentral, dependerá de la ley de atenuación a utilizar.
- Seleccionar el sismo que produzca mayor movimiento expresado en magnitud.
- Determinación del peligro, el movimiento sísmico en el área de estudio por la fuente sísmica predominante producirá un sismo de magnitud alta, para lo cual se utilizará las Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPE`s) validadas por el Global Earthquake Model (GEM). [20]

Figura 12 : Análisis de peligro sísmico Determinista.



Fuente: Kramer 1996. Ingeniería Geotécnica de Terremotos

### Fallas geológicas

Uno de los accidentes del terreno que se puede observar más fácilmente son las fallas o rupturas de un plegamiento, especialmente si el terreno es de tipo sedimentario. Las fallas son un tipo de deformación de la corteza terrestre que finaliza en ruptura, dando lugar a una gran variedad de estructuras geológicas.

Cuando esta ruptura se produce de forma brusca, se produce un terremoto. En ocasiones, la línea de falla permite que, en ciertos puntos, aflore el magma de las capas inferiores y se forme un volcán. [22]

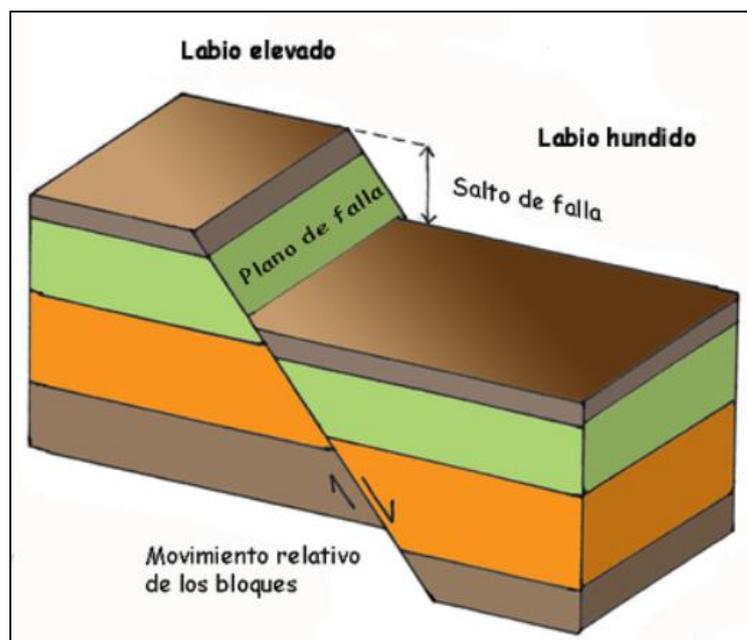
## Partes de una falla

El **plano de falla** es la superficie sobre la que se ha producido el movimiento, horizontal, vertical u oblicuo. Si las fracturas son frágiles, tienen superficies lisas y pulidas por efecto de la abrasión. Durante el desplazamiento de las rocas fracturadas se pueden desprender fragmentos de diferentes tamaños.

Los **labios de falla** son los dos bordes o bloques que se han desplazado. Cuando se produce un desplazamiento vertical, los bordes reciben los nombres de labio hundido (o interior) y labio elevado (o superior), dependiendo de la ubicación de cada uno de ellos con respecto a la horizontal relativa. Cuando está inclinado, uno de los bloques se desliza sobre el otro. El bloque que queda por encima del plano de falla se llama "techo" y el que queda por debajo, "muro".

El **salto de falla** es la distancia vertical entre dos estratos que originalmente formaban una unidad, medida entre los bordes del bloque elevado y el hundido. Esta distancia puede ser de tan sólo unos pocos milímetros (cuando se produce la ruptura), hasta varios kilómetros. Éste último caso suele ser resultado de un largo proceso geológico en el tiempo. [23]

Figura 13: Partes de una falla



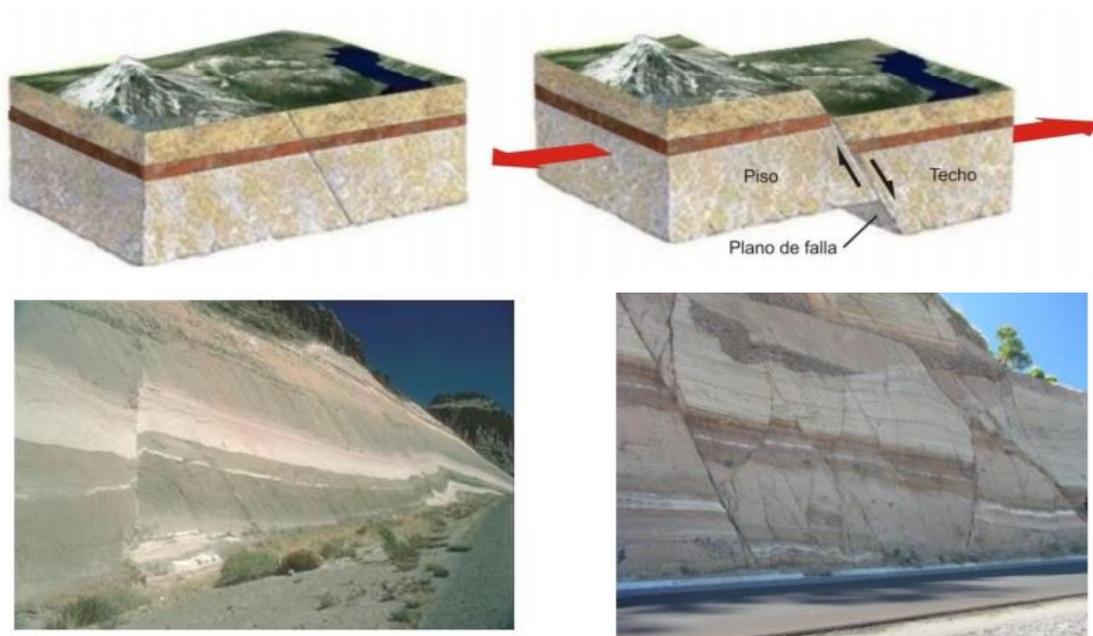
Fuente: Biología y Geología de l'IES

## Tipos de fallas geológicas

### Falla normal

Este tipo de fallas se generan por tensión horizontal. Las fuerzas inducidas en la roca son perpendiculares al acimut de la falla (línea de ruptura superficial), y el movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. El bloque que se encuentra por encima del plano de la falla se denomina techo, y se desliza hacia abajo; mientras que el bloque que se encuentra por debajo del plano de la falla se denomina piso, y asciende. [23]

Figura 14: Esquema de una falla normal – Fallas normales



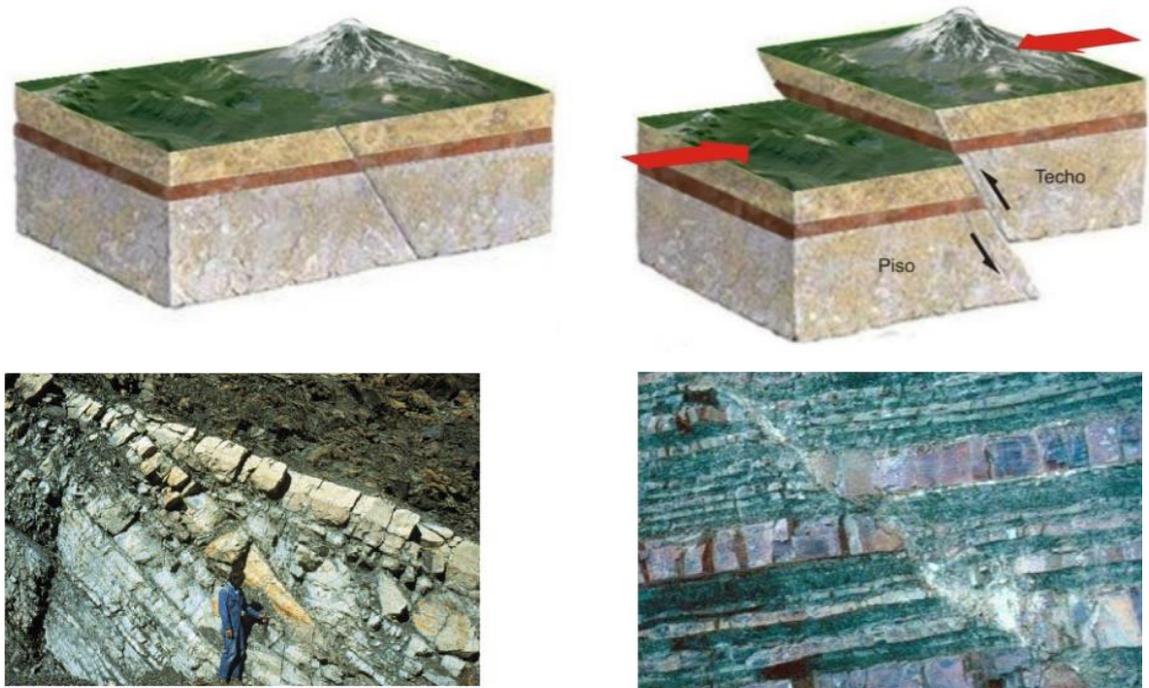
Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA – INPRES

### Falla inversa

Este tipo de fallas se genera por compresión horizontal. El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados

respecto a la horizontal. El bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un buzamiento (inclinación) inferior a  $45^\circ$ , éstas también toman el nombre de cabalgamiento. [23]

Figura 15: Esquema de una falla inversa – Fallas inversas

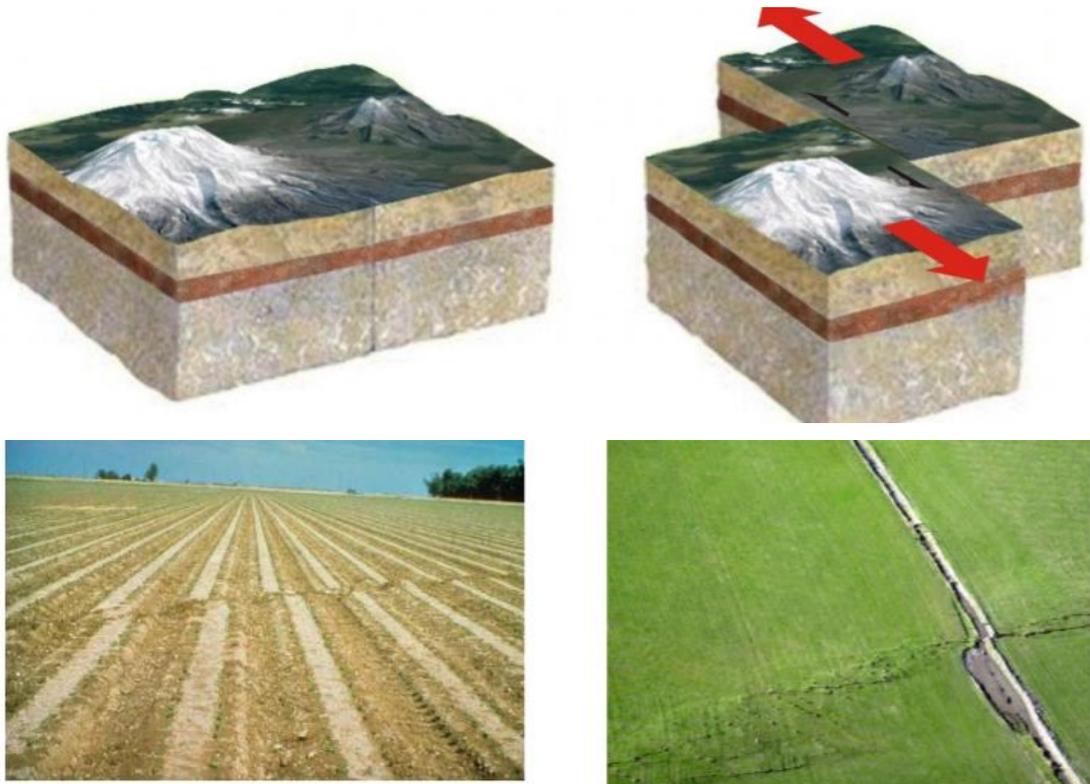


Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA – INPRES

### Falla de desgarre o de desplazamiento de rumbo

Estas fallas se desarrollan a lo largo de planos verticales y el movimiento de los bloques es horizontal, son típicas de límites transformantes de placas tectónicas. Se distinguen dos tipos de fallas de desgarre: laterales derechas y laterales izquierdas. Laterales derechas o dextrales, son aquellas en donde el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha; mientras que en las laterales izquierdas o sinestrales, el movimiento es opuesto a las anteriores. También se las conoce como fallas transversales. [23]

Figura 16: Esquema de una falla de desgarre – Fallas de desplazamiento



Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA – INPRES

### **Ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPEs)**

El uso más importante que a nivel mundial se le da al registro de sismos es la creación y mejoramiento de las ecuaciones de predicción de movimiento, ya que son parte fundamental para análisis del peligro sísmico determinista o probabilista en una región. [13]

Las ecuaciones de predicción de movimiento permiten el cálculo de parámetros relacionados al movimiento de suelo como: aceleración máxima en roca (PGA), desplazamiento o espectros de respuestas, mediante la relación con variables independientes como la magnitud de momento, la distancia a la fuente y el mecanismo de falla. [14]

Los GMPE's seleccionados en este estudio corresponden a los utilizados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015) para el estudio de peligro sísmico realizado en todo el Territorio Nacional.

**Para régimen cortical:**

- **Boore y Atkinson (2008)**

Estas ecuaciones fueron desarrolladas para la predicción de movimiento de tierra en sus componentes horizontales en función de la magnitud del terremoto, la distancia a la fuente, la velocidad de onda de corte promedio local y el tipo de falla. Las relaciones propuestas permiten el cálculo de la pseudo-aceleración absoluta con el 5% de amortiguamiento en espectros con períodos entre 0.01 y 10 segundos. [15]

El análisis de regresión requerido para establecer la ecuación de atenuación excluyó todo tipo de réplicas, debido a que el escalamiento espectral de las réplicas difiere de los choques principales. El número total de grabaciones utilizadas después de las exclusiones fue de 1574 para períodos hasta 1 segundo, con una ligera disminución en 2 segundos y una disminución rápida en el número de datos para períodos mayores a 2 segundos. La mayor parte de los datos provienen de lugares con roca blanda hasta suelo firme, muy pocos son los datos para roca dura. [15]

La aplicación de estas ecuaciones cumple con las siguientes restricciones: velocidad de onda cortante ( $V_{s30}$ ) de 180 m/s a 1300 m/s; magnitud de momento ( $M_w$ ) entre 5 y 8; distancia de la fuente al sitio de estudio ( $R_{JB}$ ) menor a 200km. [15]

$$\ln y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{s30}, R_{JB}, M) + \epsilon \quad (1)$$

Donde:

- ✓  $F_{M,D,S}$ : Coeficientes que representan la escala de magnitud, la función de distancia y la amplificación del sitio, respectivamente.

- ✓ **M:** Magnitud de momento
- ✓ **R<sub>JB</sub>:** Distancia desde donde se libera la energía hasta el punto de estudio (km)
- ✓ **V<sub>S30</sub>:** Velocidad media de la onda de cortante (m/s)
- ✓ **ε:** Desviación Estándar.

- **Akkar y Bommer (2010)**

Para el desarrollo de este modelo de atenuación se utilizó un conjunto de datos de 532 acelerogramas obtenidos de un total de 131 movimientos sísmicos con magnitudes  $M_w$  de 5 a 7.6 en distancias de hasta 100 km, por lo cual estos parámetros de magnitud y distancia son las limitantes que restringen el uso de esta ecuación de atenuación. El modelo no ha incluido la profundidad de ruptura debido a que para eventos de pequeña magnitud con dimensiones de ruptura que son grandes en comparación con el espesor de la corteza sismogénica, la profundidad de ruptura no tiene una fuerte influencia. [16]

$$\begin{aligned} \text{Log } y = & \mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2\mathbf{M} + \mathbf{b}_3\mathbf{M}^2 + (\mathbf{b}_4 + \mathbf{b}_5\mathbf{M}) \log \sqrt{\mathbf{R}^2\mathbf{j}\mathbf{b} + \mathbf{b}^2\mathbf{6}} + \mathbf{b}_7\mathbf{S}_s + \mathbf{b}_8\mathbf{S}_A \\ & + \mathbf{b}_9\mathbf{F}_N + \mathbf{b}_{10}\mathbf{F}_R + \varepsilon\sigma \end{aligned} \quad (2)$$

Dónde:

- ✓ **b:** Coeficientes para la predicción de Pseudoaceleración espectral.
- ✓ **F<sub>N</sub>:** Falla normal
- ✓ **F<sub>R</sub>:** Falla inversa
- ✓ **M:** Magnitud de momento
- ✓ **R<sub>JB</sub>:** Distancia desde donde se libera la energía hasta el punto de estudio
- ✓ **S<sub>A</sub>:** Suelo rígido
- ✓ **S<sub>s</sub>:** Suelo suave
- ✓ **ε:** Desviación Estándar.

**Para subducción:**

- **Kanno (2006)**

Debido a los desastrosos terremotos ocurridos en Japón, se instalaron redes que consistían en un gran número de estaciones de observación de movimientos fuertes, además de mapas nacionales de riesgo sísmico para prevenir futuros desastres. [17]

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 (Pseudoaceleración PGA) y la velocidad (Pseudovelocidad PGV). [17]

Por lo tanto, el modelo planteado por Kanno tiene solo tres variables: magnitud de terremoto, distancia más corta al plano de falla sísmica y profundidad focal. [17]

**Si  $D \leq 30$  Km:**

$$\text{Log pre} = a_1M_w + b_1X - \log(X + d_1 * 10^{e_1M_w}) + c_1 + \epsilon_1 \quad (3)$$

**Si  $D > 30$  Km:**

$$\text{Log pre} = a_2M_w + b_2X - \log(X) + c_2 + \epsilon_2 \quad (4)$$

Dónde:

- ✓ **D:** Profundidad Focal (km)
- ✓ **a, b, c, d:** Coeficientes de regresión para el modelo de eventos superficiales de PGA, PGV y espectros de respuesta de aceleración amortiguada del 5%.
- ✓ **M<sub>w</sub>:** Magnitud de momento
- ✓ **X:** Distancia de la fuente
- ✓ **ε:** Desviación Estándar.

- **Youngs (1997)**

El modelo de Youngs 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. El desarrollo de las relaciones de atenuación se considera apropiado para sismos con magnitud de 5 o más con distancias de superficie de rotura de 10 a 500 kilómetros. [18]

Las relaciones son desarrolladas por análisis de regresión utilizando un modelo de efectos de regresión aleatorio, el cual ayuda a encontrar los movimientos críticos tempranos de las zonas de subducción de movimientos sísmicos. [18]

El método de medida empleado en el modelo es la magnitud momento (M) establecido por Hanks y Kanamori's en 1979. 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. [18]

La ecuación para la predicción del movimiento del suelo está dada por la siguiente expresión la cual se emplea para el cálculo de la aceleración (Y):

$$\begin{aligned} \ln y = & -0.6687 + 1.438M + C1 + C2(10 - M)^3 + C3 \\ & * \ln(R + 1.097e^{0.617 \cdot M}) + 0.00648H + 0.3643Zt \end{aligned} \quad (5)$$

Dónde:

- ✓ **y:** Aceleración espectral amortiguada al 5% como fracción de la gravedad.
- ✓ **C:** Coeficientes de relación de atenuación.
- ✓ **R:** Distancia fuente a sitio (km)
- ✓ **H:** Profundidad focal (km)
- ✓ **M:** Magnitud de momento
- ✓ **Zt:** Tipo de falla

- **Zhao (2006)**

Se han desarrollado muchas relaciones de atenuación para fuertes movimientos del suelo siendo un componente importante para los estudios de peligro sísmico. De manera determinista, los ingenieros también usan modelos de atenuación para estimar las fuerzas y/o desplazamientos inducidos en las estructuras de ingeniería. [19]

Debido a que las trayectorias de propagación de la onda sísmica desde la fuente del terremoto hasta la superficie del suelo varían de un tipo de terremoto a otro, se espera que los movimientos del suelo generados por diferentes tipos de terremotos sean diferentes incluso si los eventos tienen magnitudes idénticas y distancias fuente. [19]

En base a lo explicado anteriormente, los autores se presentan en Japón un modelo de atenuación de aceleración con un conjunto de datos que incluye una gran cantidad de registros de movimiento de suelo fuertes hasta la réplica principal Off Tokach 2003 y las réplicas posteriores. [19]

Para los eventos de subducción se emplea un factor de modificación de distancia simple para lograr predicciones imparciales. Los efectos de la profundidad de la fuente, el tipo de fuente tectónica y el mecanismo de fallas de los terremotos corticales son significativos. [19]

$$\log y = aMw + bx - \log(r) + e(h - hc)\delta h + FR + SI + Ss + SSL \log(x) + Ck$$

(6)

Dónde:

- ✓ **M:** Magnitud de momento.
- ✓ **a, b, e, Ck:** Términos obtenidos del análisis de regresión.
- ✓ **x:** Distancia a la fuente (km).
- ✓ **h:** Profundidad focal (km).
- ✓ **hc:** Constante de profundidad.
- ✓ **Ck:** Parámetro de la clase de suelo.

#### **1.1.4 HIPÓTESIS**

¿El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras del sector Pishilata ubicado entre las calles Real Audiencia de Quito, Troncal de la Sierra, Hipócrates y Horacio?

### **1.2. OBJETIVOS**

#### **1.2.1 Objetivo General:**

Realizar el estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras de Ambato sector Pishilata ubicado entre las calles Real Audiencia De Quito, Troncal De La Sierra, Hipócrates y Horacio.

#### **1.2.2 Objetivos Específicos:**

- Seleccionar las fallas activas que abarcan el Régimen Tectónico en base al área de estudio.
- Determinar el espectro sísmico propio de sitio en base a una ecuación de atenuación.
- Analizar tres estructuras tipo en base al espectro de respuesta de sitio.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **TIPO DE INVESTIGACIÓN**

En este proyecto los tipos de investigación a ser utilizados serán: exploratorio, de campo y de laboratorio.

Exploratorio debido a que el peligro sísmico para las estructuras del sector Pishilata del Cantón Ambato no se ha realizado ni se encuentra registro de estudios similares previos dentro del sector. La metodología es evaluar los espectros de respuesta de los sistemas de fallas seleccionados.

De campo porque se extrae información de la realidad mediante la recolección de datos y muestras del lugar, los datos y muestras obtenidos ayudarán al desarrollo de la investigación ya que los mismos son tomados de forma directa del lugar en estudio.

De laboratorio porque se realizará ensayos para determinar el tipo de perfil de suelo por medio del ensayo de penetración estándar SPT. Se usará el laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Ambato.

#### **POBLACIÓN Y MUESTRA**

Población:

El estudio de peligro sísmico determinista se lo realizará para las estructuras del Cantón Ambato sector Pishilata ubicado entre las calles Real Audiencia de Quito, Troncal de la Sierra, Hipócrates y Horacio. Para ello es necesario conocer las características geotécnicas del suelo y las GMPE's que se va a utilizar.

Muestra:

Por ser un trabajo experimental se tomará lo que recomienda la NEC-15, y lo mínimo recomendado debe ser 3 perforaciones para el estudio de suelos.

Las GMPE's que se usaran son:

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

## **2.1 MATERIALES Y EQUIPO**

### **2.1.1 Materiales**

Como materiales tendremos:

- **Suelo:** Muestras obtenidos del ensayo de penetración estándar (SPT).
- **Fundas:** Para tomar las muestras de suelo y trasportarlas al laboratorio.

### **2.1.2 Equipo**

Usaremos el equipo que se encuentra en el laboratorio de la facultad de ingeniería civil para realizar el ensayo de penetración estandar (SPT), extraer las muestras de suelo y llevarlas al laboratorio para los respectivos ensayos. Para esto se ocupará los siguientes:

- Trípode de 4m.
- Motor.
- Tubos 2".
- Polea.
- Cabo de manila.
- Cuchara partida.

- Llaves de tubo, de pico, etc.
- Acoples.
- Flexómetro.
- Recipientes metálicos.
- Calibrador.
- Balanza.
- Horno.
- Tamices.
- Brocha.
- Palustre.
- Cámara fotográfica.
- Martillo 63.5 kg.
- Tubo guía 76cm

### 2.2.1 Plan de Recolección de Datos

Tabla 1: Plan de recolección de información

<b>PREGUNTAS BÁSICAS</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>
<b>¿Para qué?</b>	- Para evaluar el peligro en el sector Pishilata mediante la determinación de espectros de respuesta asociados a las fallas seleccionadas
<b>¿De qué personas u objetos?</b>	- Fallas seleccionadas, Régimen tectónico y tipo de suelo en el lugar de estudio
<b>¿Sobre qué aspectos?</b>	- Influencia del peligro sísmico determinista para las estructuras
<b>¿Quién evalúa?</b>	Jairo Alejandro Sevilla Samaniego

<p><b>¿Dónde se evalúa?</b></p>	<p>- Laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Ambato</p>
<p><b>¿Con que técnica o instrumento?</b></p>	<p>- Ensayos de laboratorio          - Norma NEC-15          - Investigación Bibliográfica</p>

Fuente: Jairo Sevilla

### **2.2.2 Plan de Procesamiento y Análisis de Información**

El procedimiento por 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.
- Evaluación de la magnitud máxima de las fallas seleccionadas, basado en la metodología de Wells – Coppersmith. [23]
- Reconocimiento del tipo de perfil de suelo mediante el ensayo de penetración estándar SPT, basado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Valorar la aceleración máxima de suelo de acuerdo con el régimen tectónico, basado en Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPEs).
- Comparación del espectro de respuesta analizada con los de la NEC-15.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

##### Régimen Tectónico

La Parroquia Pishilata se encuentra en la ciudad de Ambato ubicada sobre los 2580 msnm, se encuentra en la región interandina del Ecuador. La ciudad está ubicada en la provincia de Tungurahua en una región sísmica y volcánica. [25]

La ocurrencia de los sismos en la ciudad de Ambato puede tener dos fuentes diferentes que son la tectónica (cortical y subducción) y la volcánica. [25]

Los sismos de origen tectónico, han alcanzado en el Ecuador una magnitud Mw de hasta 8.8, los sismos de origen volcánico generan magnitudes Mw menores a 3. El terremoto de Ambato o Pelileo del 5 de agosto de 1949 tuvo una magnitud calculada en función de las intensidades generadas de 6.8. [25]

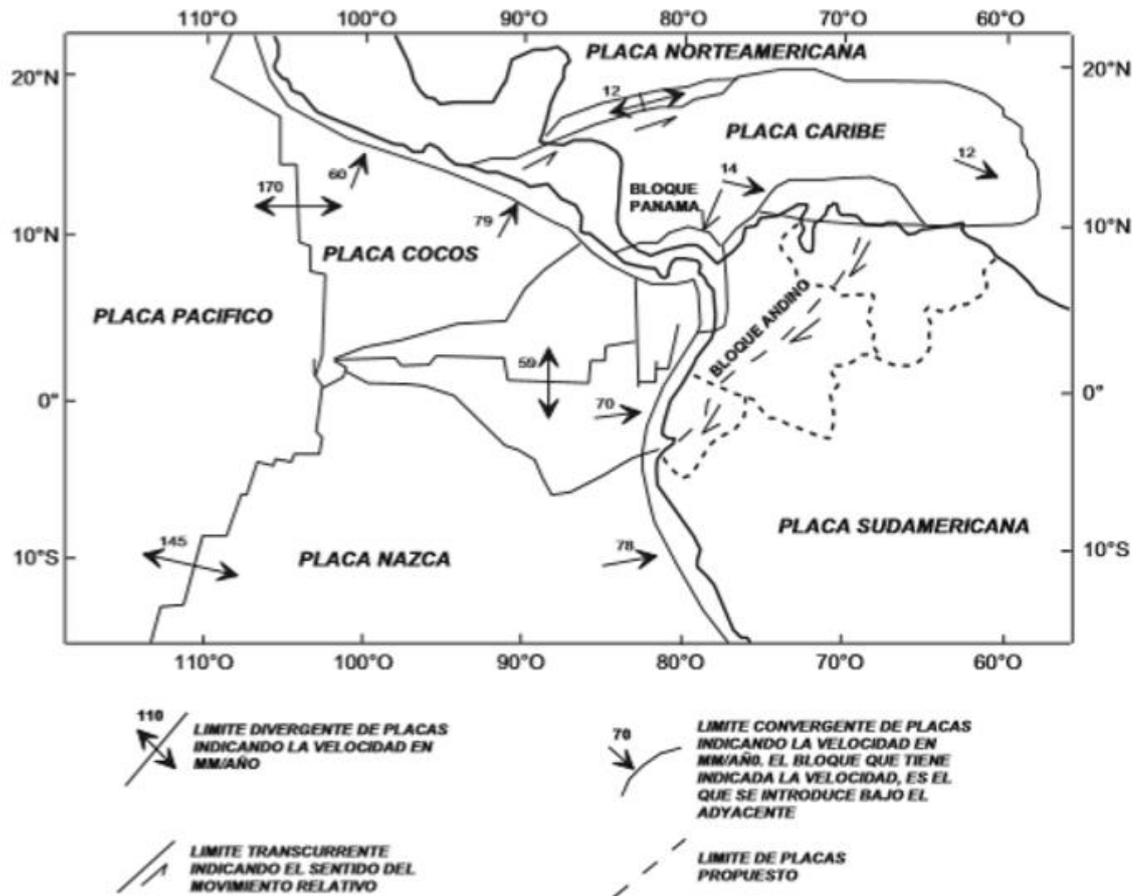
El Ecuador tiene tres tipos de regímenes tectónicos que son: Cortical, subducción interplaca y subducción intraplaca. [25]

Una parte del territorio continental se encuentra sobre una micro placa denominada “Bloque Andino” que fue descrita por Pegginton (1981). Esta micro placa está controlada por la interacción de las placas Sudamericana, Nazca, Cocos y Caribe. [25]

La placa oceánica de Nazca esta subduciendo a la placa sudamericana con dirección N83°E (Kendric et al 2003), y el bloque andino se desplaza con dirección N35°E (Kendric et al 2003; Nocquet el 2009). [25]

El gráfico 3 muestra los límites de placas propuestos por Ego et al en 1995. Se puede observar las velocidades de convergencia entre placas en mm/año. La placa de Nazca converge bajo la placa Sudamericana a una velocidad de 7 cm por año.

Figura 17: Límites de placa y velocidades de movimiento



Fuente: Ego 1995

El estudio de la convergencia entre placas es de gran importancia para la evaluación del peligro sísmico en la ciudad de Ambato ya que son una fuente sísmica de eventos que podrían afectar a la ciudad. [25]

Entre los sismos de mayor intensidad que fueron sentidos en la ciudad de Ambato fueron:

El sismo del 5 de agosto de 1949 fue registrado en la provincia de Tungurahua, su epicentro fue en Pelileo, ubicada en una falla al sur del Nido sísmico de Pisayambo, aproximadamente a 20 Km nororiente de Pelileo, que alcanzó una magnitud de Mw 6.8. [25]

El más reciente sismo del 16 de abril de 2016 fue registrado en la provincia de Manabí, su hipocentro se ubicó frente a pedernales, fue resultado del desplazamiento de la placa de Nazca con la placa Sudamericana, teniendo como resultado la subducción, que alcanzó una magnitud de Mw 7.8. [25]

El mismo fenómeno de subducción se originó en los sismos de: 31 de enero de 1906 (Mw 8.8), que es el más grande registrado en Ecuador, 14 de mayo de 1942 (Mw 7.8), 19 de enero de 1958 (Mw 7.8), 12 de diciembre de 1979 (Mw 8.1). [25]

Tabla 2: Intensidades sísmicas sentidas en la ciudad de Ambato

<b>EVENTO</b>	<b>AÑO</b>	<b>INTENSIDAD</b>	<b>ESCALA</b>
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

En esta tabla se encuentran ordenados cronológicamente los eventos sísmicos con sus respectivas intensidades, que se han sentido con mayor intensidad en la ciudad de Ambato.

La intensidad se mide por la cantidad de perturbaciones en la superficie del suelo y el grado de daños en las construcciones.

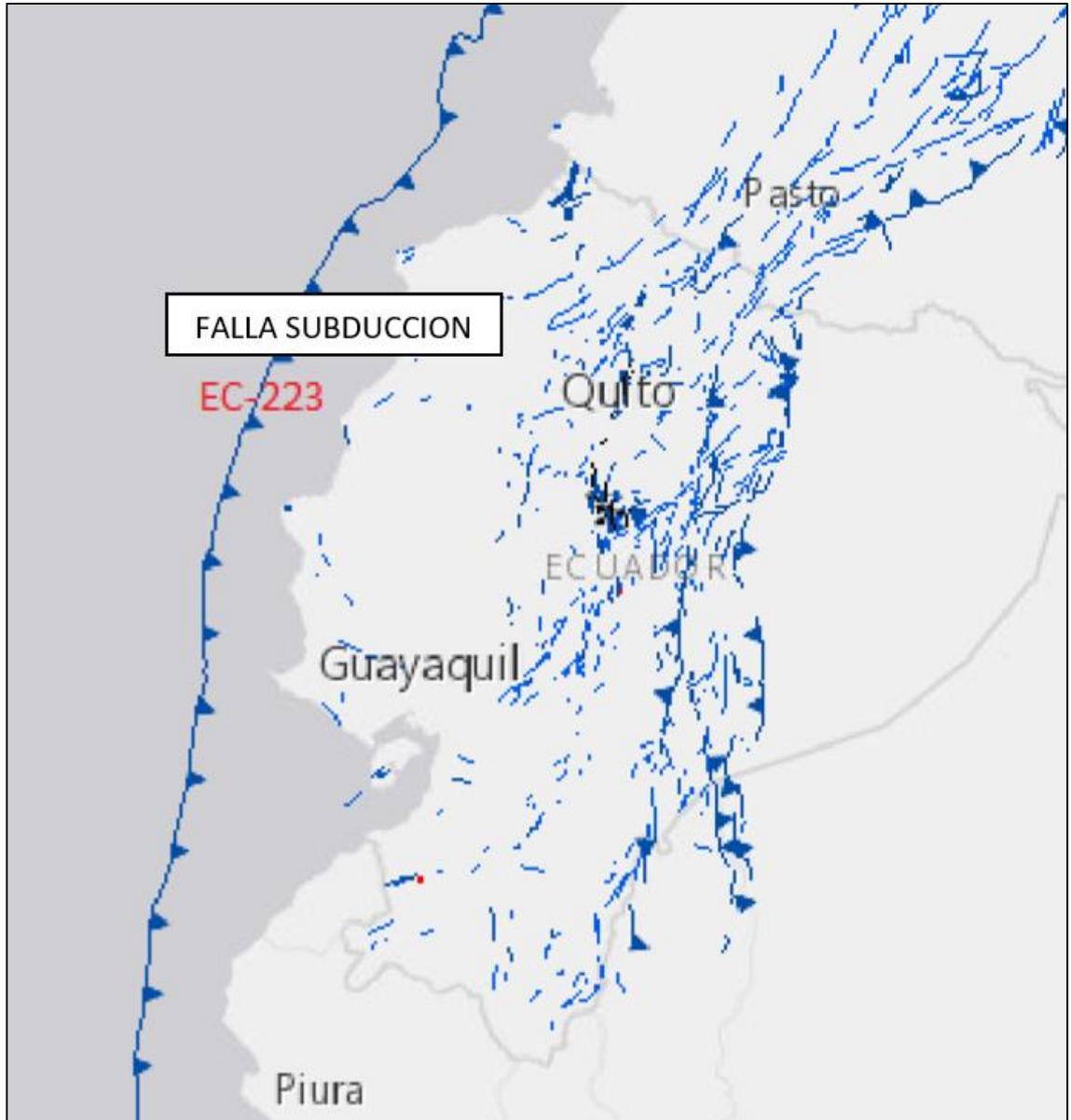
No tenemos eventos históricos que hayan sido registrados mediante instrumentos.

No se puede determinar si estas fallas son el anuncio de un gran sismo, pero si se puede señalar que se está liberando energía. No existen pruebas ni estudios que demuestren que por estas fallas geológicas se hayan producido sismos de gran magnitud. Los movimientos originados solo se los ha detectado con los equipos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, donde obtuvieron su epicentro en Pisayambo-Píllaro provincia de Tungurahua. [25]

Y es por lo que la ciudad de Ambato necesita de registros en acelerógrafos para el monitoreo tectónico.

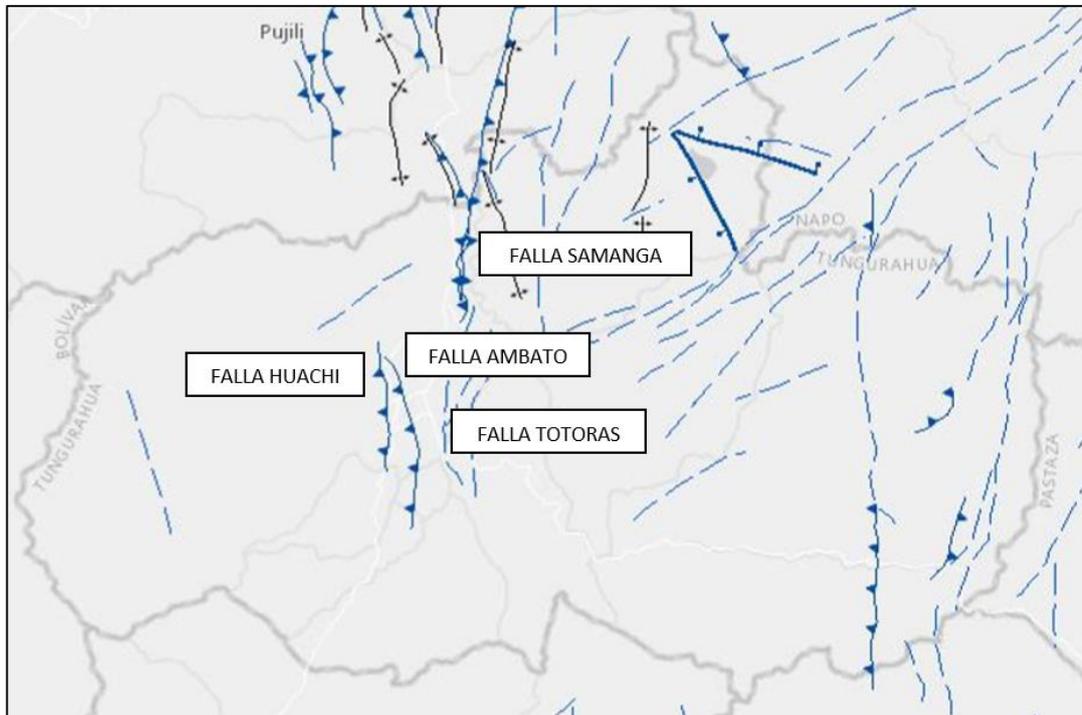
### 3.1.2 Selección de fallas geológicas

Figura 18: Fallas geológicas del Ecuador. Fallas corticales y de subducción



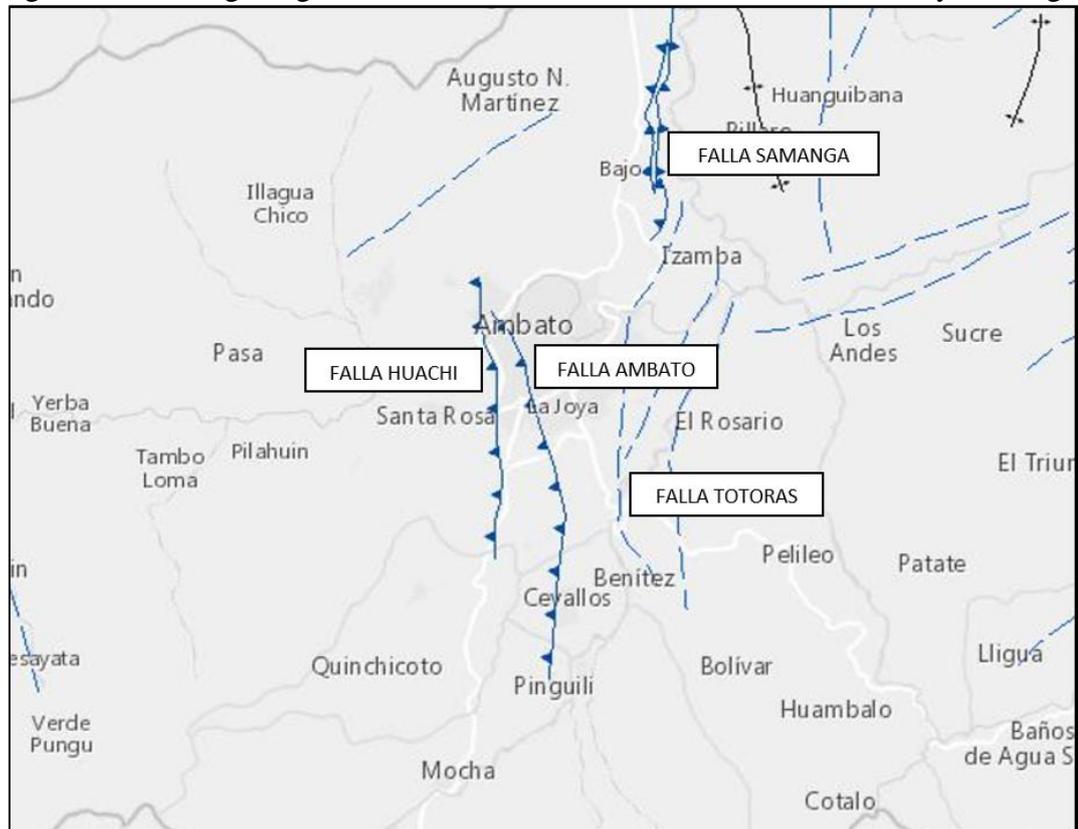
Fuente: NeoTec Ecuador (Instituto Geofísico Quito)

Figura 19: Fallas geológicas de Tungurahua. Fallas geológicas cercanas al lugar de estudio.



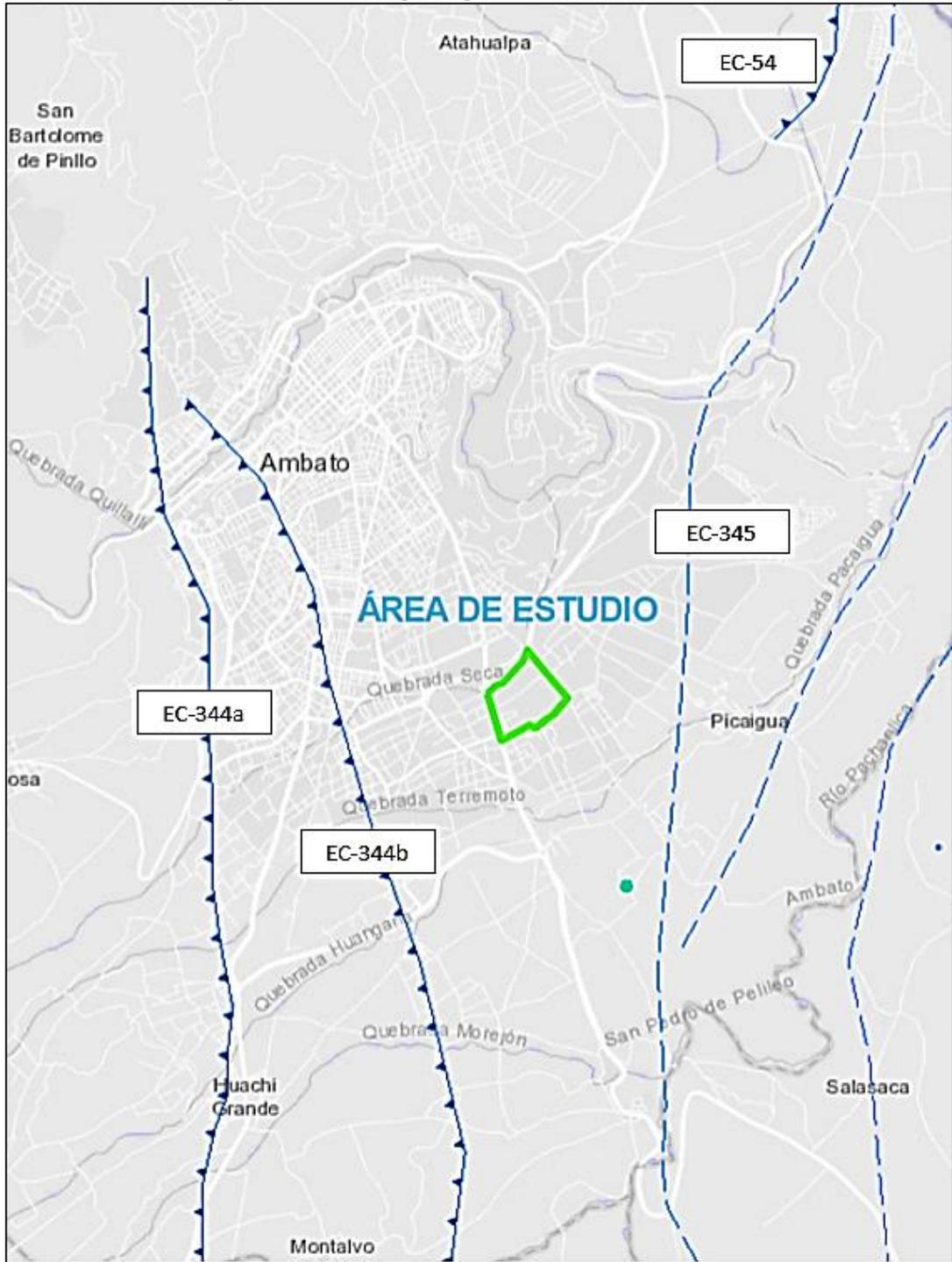
Fuente: NeoTec Ecuador (Instituto Geofísico Quito)

Figura 20: Fallas geológicas de Ambato. Falla Huachi, Ambato, Totoras y Samanga.



Fuente: NeoTec Ecuador (Instituto Geofísico Quito)

Figura 21: Fallas geológicas en el área de estudio



Fuente: NeoTec Ecuador (Instituto Geofísico Quito)

Una vez seleccionas las fallas geológicas se mide la distancia perpendicular desde la falla hacia el punto medio del área de estudio.

Figura 22: Distancia desde la falla Ambato hacia el centro del área de estudio



Fuente: NeoTec Ecuador (Instituto Geofísico Quito)

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

Tabla 3: Fallas geológicas con la longitud

<b>CODIGO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO</b>	<b>LONGITUD (Km)</b>	<b>DISTANCIA (Km)</b>	<b>MAGNITUD DE MOMENTO(m)</b>
EC-344b	AMBATO	Inversa Ciega	16.32	2.03	6.48
EC-344a	HUACHI	Inversa Ciega	12.07	3.53	6.32
EC-345	TOTORAS	Transcurrente Inversa Ciega	17.55	1.82	6.55
EC-54	SAMANGA	Inversa Ciega	32.68	9.00	6.85
EC-223	SUBDUCCION	Inversa/Subducción	1538.4	295.1	8.89

Fuente: NeoTec Ecuador (Instituto Geofísico Quito)

### 3.1.3 Características del suelo

Son materiales los cuales contienen partículas con un tamaño menor a 7,5 cm (3”) y se clasifica en base a su composición granulométrica, sus características de plasticidad y representada por los límites de consistencia.

Cuando más del 50% de sus partículas son de un tamaño mayor que 0,075 mm (malla N°200) se clasifica en suelos gruesos y cuando el 50% de sus partículas son de menor tamaño se clasifica en suelos finos. [26]

Tabla 4: Clasificación de suelos en base al SUCS

TIPO	SUB-TIPOS	IDENTIFICACION			SIMBOLO DE	
Suelos (partículas menores de 7,5cm)	SUELOS GRUESOS Mas de la mitad del material se retiene en la malla No 200 (0,075mm)	GRAVA Mas de la mitad de fraccion gruesa se retiene en la malla N°4	GRAVA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (Cc)	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GW
				Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduacion para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GP
			GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciada de partículas finas)	Grava limosa; mezcla e grava, arena y limo.	Mas del 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de limites de consistencia clasifican a la fracion fina como ML o MH (vease abajo los grupos ML y MH)	GM
		ARENA Mas de la mitad de la fraccio gruesa pasa la malla N°4	ARENA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (Cc)	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SW
				Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduacion para SW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SP
			ARENA CON FINOS (Cantidad apreciada de partículas finas)	Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.	Mas del 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de limites de consistencia clasifican a la fracion fina como ML o MH (vease abajo los grupos ML y MH)	SM
			Arena arcillosa; mezcla de arena, grava y arcilla.	Mas del 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de limites de consistencia clasifican a la fracion fina como CL o CH (vease abajo los grupos CL y CH)	SC	
	SUELOS FINOS Mas de la mitad del material pasa la malla N.°200 (0,075 MM)	LIMO Y ARCILLA Limite Liquido Mayor de 50%	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 Fig. 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 Fig. 1 de este Manual.	CL	
				Limo organico de baja compresibilidad; mezcla de limo organico de de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Fig. 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 Fig. 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 Fig. 1 de este Manual.	CH	
				Limo organico de alta compresibilidad; mezcla de limo organico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Fig. 1 de este Manual.	OH	
				ALTAMENTE ORGANICOS	Turba. Facilmente identificables por su color, olor, sensacion esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	P

Fuente: Sistema de clasificación de Suelos (SUCS)

Se determinará la granulometría, respectivamente se establecerá el tipo de suelo por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) en las siguientes tablas.

Tabla 5: Clasificación del suelo para punto 1

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b>METRO 1</b>			
#4	0.00	0.00	100.00
#200	408.96	78.08	21.92
Fuente	114.84	21.92	
Total	523.80	100.00	
<b>METRO 2</b>			
#4	0.00	0.00	100.00
#200	262.50	61.62	38.38
Fuente	163.50	38.38	
Total	426.00	100.00	
<b>METRO 3</b>			
#4	0.00	0.00	100.00
#200	199.20	72.70	27.30
Fuente	74.80	27.30	
Total	274.00	100.00	
<b>METRO 4</b>			
#4	0.00	0.00	100.00
#200	207.60	83.44	16.56
Fuente	41.20	16.56	
Total	248.80	100.00	
<b>METRO 5</b>			
#4	0.00	0.00	100.00
#200	255.20	85.75	14.25
Fuente	42.40	14.25	
Total	297.60	100.00	

Elaboración: Jairo Sevilla

De esta tabla se obtiene que, en las muestras calculadas, en cada metro, más del 50% es retenido en el tamiz N°200 que es suelo grueso y más del 50% pasa el tamiz N°4, por esto determinamos, que el tipo de suelo es arena.

Tabla 6: Clasificación del suelo para punto 2

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b>METRO 1</b>			
#4	0.00	0.00	100.00
#200	407.85	67.61	32.39
Fuente	195.35	32.39	
Total	603.20	100.00	
<b>METRO 2</b>			
#4	11.50	1.19	98.81
#200	630.33	65.26	34.74
Fuente	324.01	33.55	
Total	965.84	100.00	
<b>METRO 3</b>			
#4	7.30	1.77	98.23
#200	296.10	71.64	28.36
Fuente	109.90	26.59	
Total	413.30	100.00	
<b>METRO 4</b>			
#4	0.00	0.00	100.00
#200	111.15	74.62	25.38
Fuente	37.80	25.38	
Total	148.95	100.00	

Elaboración: Jairo Sevilla

De esta tabla se obtiene que, en las muestras calculadas, en cada metro, más del 50% es retenido en el tamiz N°200 que es suelo grueso y más del 50% pasa el tamiz N°4, por esto determinamos, que el tipo de suelo es arena.

Tabla 7: Clasificación del suelo para punto 3

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b>METRO 1</b>			
#4	0.00	0.00	100.00
#200	279.10	61.53	38.47
Fuente	174.50	38.47	
Total	453.60	100.00	
<b>METRO 2</b>			
#4	0.90	0.18	99.82

#200	316.00	64.28	35.72
Fuente	174.70	35.54	
Total	491.60	100.00	
<b>METRO 3</b>			
#4	5.20	1.28	98.72
#200	280.70	69.06	30.94
Fuente	120.57	29.66	
Total	406.47	100.00	

Elaboración: Jairo Sevilla

De esta tabla se obtiene que, en las muestras calculadas, en cada metro, más del 50% es retenido en el tamiz N°200 que es suelo grueso y más del 50% pasa el tamiz N°4, por esto determinamos, que el tipo de suelo es arena.

Tabla 8: Clasificación del suelo para punto 4

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b>METRO 1</b>			
#4	0.00	0.00	100.00
#200	289.30	65.65	34.35
Fuente	151.40	34.35	
Total	440.70	100.00	
<b>METRO 2</b>			
#4	0.00	0.00	100.00
#200	271.40	61.25	38.75
Fuente	171.70	38.75	
Total	443.10	100.00	
<b>METRO 3</b>			
#4	0.00	0.00	100.00
#200	274.50	76.19	23.81
Fuente	85.80	23.81	
Total	360.30	100.00	
<b>METRO 4</b>			
#4	8.40	3.52	96.48
#200	167.90	70.43	29.57
Fuente	62.10	26.05	
Total	238.40	100.00	

Elaboración: Jairo Sevilla

De esta tabla se obtiene que, en las muestras calculadas, en cada metro, más del 50% es retenido en el tamiz N°200 que es suelo grueso y más del 50% pasa el tamiz N°4, por esto determinamos, que el tipo de suelo es arena.

Tabla 9: Clasificación del suelo para punto 5

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b>METRO 1</b>			
#4	0.00	0.00	100.00
#200	294.50	69.82	30.18
Fuente	127.30	30.18	
Total	421.80	100.00	
<b>METRO 2</b>			
#4	1.00	0.19	99.81
#200	387.10	74.49	25.51
Fuente	131.60	25.32	
Total	519.70	100.00	
<b>METRO 3</b>			
#4	2.00	0.56	99.44
#200	284.20	79.19	20.81
Fuente	72.70	20.26	
Total	358.90	100.00	
<b>METRO 4</b>			
#4	4.50	1.51	98.49
#200	197.40	66.33	33.67
Fuente	95.70	32.16	
Total	297.60	100.00	

Elaboración: Jairo Sevilla

De esta tabla se obtiene que, en las muestras calculadas, en cada metro, más del 50% es retenido en el tamiz N°200 que es suelo grueso y más del 50% pasa el tamiz N°4, por esto determinamos, que el tipo de suelo es arena.

### **3.1.3.1 Ensayo de penetración estándar**

Para esto se lleva a cabo lo que nos indica la norma INEN 689, donde nos detalla los pasos para ejecutar el ensayo de penetración estándar: [27]

Al 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 +- cm sobre la cabeza de golpe. [27]

Se debe utilizar una cuerda de manila para el izaje del martinete, en caso de ser accionado mecánicamente, la cuerda debe enrollarse máximo dos veces. [27]

La barra de acero debe estar completamente vertical para asegurar la energía de los golpes. [27]

Se inicia el ensayo contando el número de golpes para penetrar 15 cm en dos intervalos el muestreador, lo determina la resistencia a la penetración de dicho suelo. [27]

Si al ejecutarlo sobrepasa los 50 golpes, sin haber penetrado la totalidad de cada intervalo, se anotará el número de golpes y la longitud de penetración del muestreador. [27]

Antes de extraer el muestreador a la superficie se debe girar por lo menos dos revoluciones, para cortar la muestra, posteriormente se extrae y se mide la longitud de la muestra obtenida, desechando la parte superior ya que no es representativa. [27]

La muestra se describe en la norma INEN 693, se lo cierra herméticamente para su análisis en el laboratorio. [27]

Se debe etiquetar las muestras adecuadamente con todos los datos necesarios para realizar los ensayos requeridos. [27]

Tabla 10: Clasificación de los perfiles de suelo

TIPO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50$
		$S_u \geq 100 \text{ KPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15$ $100 \text{ KPa} > S_u \geq 50 \text{ KPa}$
	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
E	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3m de arcillas blandas	$IP > 20$
		$w \geq 40\%$
		$S_u < 50 \text{ KPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1-Suelos susceptibles a la falla o colapso causados por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersos o débilmente cementados, etc.	
	F2-Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H>3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas)	
	F3- Arcillas de muy alta plasticidad (H>7.5m con índice de plasticidad IP>75)	
	F4- Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H>30m)	
	F5- Suelos con contrastes de impedancia a ocurrir dentro de los primeros 30m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
	F6- Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Fuente: Norma ecuatoriana de la construcción (NEC – SE – DS 2015)

Dónde:

- N: Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil de suelo
- Vs30: Velocidad media de la onda de cortante

El ensayo de penetración estándar se lo realizó en cinco puntos de la zona de estudio para la obtención de muestras y su posterior análisis.

Tabla 11: Ensayo de penetración estándar para punto 1

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>
55	LIMPIEZA	24	<b>SM (arena limosa)</b>
70	11		
85	10		
100	14		
155	LIMPIEZA	38	<b>SM (arena limosa)</b>
170	20		
185	18		
200	20		
255	LIMPIEZA	39	<b>SM (arena limosa)</b>
270	27		
285	13		
300	26		
355	LIMPIEZA	53	<b>SM (arena limosa)</b>
370	25		
385	23		
400	30		
455	LIMPIEZA		<b>SM (arena limosa)</b>
470			
485			
500			

Elaboración: Jairo Sevilla

Tabla 12: Ensayo de penetración estándar para punto 2

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>
55	LIMPIEZA	53	<b>SM (arena limosa)</b>
70	23		
85	19		
100	34		
155	LIMPIEZA	74	<b>SM (arena limosa)</b>
170	42		
185	43		
200	31		
255	LIMPIEZA	48	<b>SM (arena limosa)</b>
270	23		
285	23		
300	25		
355	LIMPIEZA		<b>SM (arena limosa)</b>
370			
385			
400			

Elaboración: Jairo Sevilla

Tabla 13: Ensayo de penetración estándar para punto 3

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>
55	LIMPIEZA	32	<b>SM (arena limosa)</b>
70	15		
85	14		
100	18		
155	LIMPIEZA	54	<b>SM (arena limosa)</b>
170	20		
185	21		
200	33		
255	LIMPIEZA	70	<b>SM (arena limosa)</b>
270	70		
285			
300			

Elaboración: Jairo Sevilla

Tabla 14: Ensayo de penetración estándar para punto 4

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>
55	LIMPIEZA	26	<b>SM (arena limosa)</b>
70	8		
85	11		
100	15		
155	LIMPIEZA	37	<b>SM (arena limosa)</b>
170	17		
185	17		
200	20		
255	LIMPIEZA	62	<b>SM (arena limosa)</b>
270	37		
285	30		
300	32		
355	LIMPIEZA		<b>SM (arena limosa)</b>
370			
385			
400			

Elaboración: Jairo Sevilla

Tabla 15: Ensayo de penetración estándar para punto 5

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>
55	LIMPIEZA	19	<b>SM (arena limosa)</b>
70	12		
85	9		
100	10		
155	LIMPIEZA	46	<b>SM (arena limosa)</b>
170	18		
185	22		
200	24		
255	LIMPIEZA	57	<b>SM (arena limosa)</b>
270	21		
285	27		
300	30		
355	LIMPIEZA		<b>SM (arena limosa)</b>
370			
385			
400			

Elaboración: Jairo Sevilla

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

La velocidad sísmica de la onda de corte en la capa superior del suelo de 30 m ( $V_{s30}$ ) es un parámetro importante en la ingeniería actual de terremotos, debido a que ésta es responsable de la amplificación del movimiento del suelo. [28]

Por la importancia de conocer el valor del  $V_{s30}$  se han desarrollado un gran número de correlaciones empíricas para estimar rápidamente las propiedades geotécnicas del suelo. La más frecuente es la que relaciona la resistencia a la penetración estándar no corregida ( $N$ ) y la velocidad de la onda de corte el  $V_s$ , para representar esta correlación se usan 500 pares de datos secundarios y se obtienen formulaciones tomando en cuenta las características geológicas y geotécnicas. [28] [29]

Existen varias correlaciones que se han desarrollado al paso de los años para los suelos como arenas, limos y arcillas. De todas estas ecuaciones establecidas se utilizó la ecuación de Imai (1997), tomada del artículo “Correlación empírica entre la resistencia a la penetración estándar no corregida ( $N$ ) y la velocidad de la onda de corte ( $V_s$ ) para el Valle de Katmandú, Nepal”, esta fórmula se muestra a continuación:

$$V_s = 80.6 N^{0.331}$$

Donde:

- $V_{s30}$ = Velocidad media de la onda de cortante.
- $N$ = Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil de suelo.
- A continuación, se muestra el cálculo de la velocidad media de la onda de cortante para los 5 pozos tomando alturas indistintas.

PUNTO = 1

- $H = 3$
- $N = 39$

$$V_s = 80.6 N^{0.331}$$

$$V_s = 80.6 (39)^{0.331}$$

$$V_s = 271.01 \text{ (m/s)}$$

PUNTO = 2

- $H = 3$
- $N = 48$

$$V_s = 80.6 N^{0.331}$$

$$V_s = 80.6 (48)^{0.331}$$

$$V_s = 290.29 \text{ (m/s)}$$

PUNTO = 3

- $H = 3$
- $N = 70$

$$V_s = 80.6 N^{0.331}$$

$$V_s = 80.6 (70)^{0.331}$$

$$V_s = 328.90 \text{ (m/s)}$$

PUNTO = 4

- $H = 3$
- $N = 62$

$$V_s = 80.6 N^{0.331}$$

$$V_s = 80.6 (62)^{0.331}$$

$$V_s = 315.95 (m/s)$$

PUNTO = 5

- H = 3
- N = 57

$$V_s = 80.6 N^{0.331}$$

$$V_s = 80.6 (57)^{0.331}$$

$$V_s = 307.28 (m/s)$$

Para calcular el  $V_{s30}$  promedio se establece una relación entre la altura y la velocidad media de la onda de corte correspondiente a cada tramo como se muestra en la siguiente fórmula:

$$V_s \text{ promedio (m/s)} = \frac{H}{\frac{h1}{Vs1} + \frac{h2}{Vs2} + \frac{h3}{Vs3} + \frac{hn}{Vsn}}$$

Tabla 16: Velocidad media de onda cortante  $V_{s30}$  para punto 1

PROFUNDIDAD (cm)	NSPT (TOTAL)	$V_s$ 30 (m/s)	TIPO DE PERFIL	$V_s$ 30 PROM. (m/s)
55	24			NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN
70				
85				
100				
155	38	268.68	D	279.19
170				
185				
200				
255	39	271.01	D	



255	70	328.90	D	
270				
285				
300				

Elaboración: Jairo Sevilla

Tabla 19: Velocidad media de onda cortante Vs30 para punto 4

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>Vs 30 (m/s)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>	<b>Vs 30 PROM. (m/s)</b>
55	26	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
70				
85				
100				
155	37	266.32	D	289.02
170				
185				
200				
255	62	315.95	D	
270				
285				
300				

Elaboración: Jairo Sevilla

Tabla 20: Velocidad media de onda cortante Vs30 para punto 5

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>Vs 30 (m/s)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>	<b>Vs 30 PROM. (m/s)</b>
55	19	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
70				
85				
100				
155	46	286.23	D	296.38
170				
185				
200				
255	57	307.28	D	
270				
285				
300				

Elaboración: Jairo Sevilla

Se observa que los resultados anteriores están en un rango de un perfil de suelo tipo D. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de cada punto:

Tabla 21: Vs30 de cada punto, Vs30 promedio y tipo de perfil de suelo.

<b>TABLA DE RESUMEN</b>			
<b>PUNTO</b>	<b>Vs 30 (m/s)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>	<b>Vs 30 PROM. (m/s)</b>
1	279.19	D	298.08
2	311.05	D	
3	314.78	D	
4	289.02	D	
5	296.38	D	

Elaboración: Jairo Sevilla

Considerando la tabla de clasificación de los perfiles de suelo que nos da la Norma Ecuatoriana de la construcción 2015 y los resultados que tenemos en la tabla 23, podemos clasificar el tipo de suelo que tenemos, considerando las condiciones de Velocidad media de onda cortante.

El valor promedio obtenido en la tabla 23 está en un rango de  $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$ , entonces lo clasificamos como un suelo de perfil tipo D, que es un perfil de suelo rígido.

### **3.1.5 Ecuaciones de atenuación para sismos intraplaca cortical.**

Sismos corticales superficiales cuya profundidad es  $\leq 30 \text{ Km}$

### 3.1.5.1 Modelo Boore y Atkinson (2008)

La ecuación de predicción del movimiento del suelo está en función de la magnitud de momento ( $M$ ), distancia de la fuente al sitio ( $R_{JB}$ ), y la velocidad de onda de cortante ( $V_{s30}$ ) y tipo de falla.

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

La función de la distancia está dada por:

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

**Donde:**

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

- $c_1, c_2, c_3, M_{ref}, R_{ref}$  y  $h$ : los coeficientes de escala de distancia. (Ver Anexo B-2)

Para la magnitud de referencia, se usa  $M_{ref} = 4.5$  que es un valor arbitrario. Esta es la magnitud aproximada de gran parte de los datos utilizados para determinar los coeficientes fijos. La distancia de referencia, es un valor de  $R_{ref} = 1$  km esto es conveniente porque las curvas que describen la dependencia de la distancia giran alrededor de  $R = R_{ref}$ . [15]

La escala de magnitud viene dada por:

a)  $M \leq M_h$

$$F_M(M) = e_1 U + e_2 SS + e_3 NS + e_4 RS + e_5 (M - M_h) + e_6 (M - M_h)^2$$

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 24.
- La “magnitud de giro”  $M_h$ , 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 22: 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 específica	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)  $pga_{4nl} \leq a_1$ :

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

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  $\varepsilon=0$ .
- ✓  $g=gal$  (unidad de aceleración equivalente a  $1\text{ cm/s}^2$ .  $1g=9,81\text{ gales}=9,81\text{ cm/s}^2$ )

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:

a)  $V_{s30} \leq V_1$

$$b_{nl} = b_1$$

b)  $V_1 < V_{s30} \leq V_2$

$$b_{nl} = (b_1 - b_2) \ln(V_{s30}/V_2) / \ln(V_1/V_2) + b_2$$

c)  $V_2 < V_{s30} < V_{ref}$

$$b_{nl} = b_2 \ln(V_{s30}/V_{ref}) / \ln(V_2/V_{ref})$$

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:

$$M_w = 5 - 8$$

$$V_{s30} = 180-1300 \text{ m/s}$$

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

Tabla 23: Valores empleados en el modelo de Boore y Atkinson.

<b>Mw =</b>	6,5	<b>Rjb(km) =</b>	2,03	Falla Ambato	<b>Vs30</b> (m/s)	298.08		
<b>Mw =</b>	6,3	<b>Rjb(km) =</b>	3,53	Falla Huachi				
<b>Mw =</b>	6,6	<b>Rjb(km) =</b>	1,82	Falla Totoras				
<b>Mw =</b>	6,8	<b>Rjb(km) =</b>	9,00	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

Fuente: Jairo Sevilla.

### 3.1.5.2 Modelo Akkar y Bommer (2010)

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. [15]

Se deriva ecuaciones para la predicción de la aceleración pseudo espectral 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<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> = Coeficientes para la predicción de Pseudoaceleración espectral. (Ver Anexo C-1)

- $M$ = Magnitud de Momento (Tabla 30)
- $R_{JB}$ = Distancia Joyner y Boore (Tabla 5)

$S_S$  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 (RJB), que es la distancia perpendicular a la proyección vertical en la superficie. [16]

#### **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 24: Valores empleados en el modelo de Akkar y Bommer.

<b>Mw =</b>	6,5	<b>Rjb(km) =</b>	2,03	Falla Ambato	<b>Vs30 (m/s)</b>	298.08
<b>Mw =</b>	6,3	<b>Rjb(km) =</b>	3,53	Falla Huachi		
<b>Mw =</b>	6,6	<b>Rjb(km) =</b>	1,82	Falla Totoras		
<b>Mw =</b>	6,8	<b>Rjb(km) =</b>	9,00	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

Fuente: Jairo Sevilla.

### 3.1.5.3 Modelo Kanno (2006)

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. [17]

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

### **Eventos Superficiales:**

En este estudio, el modelo sólo tiene tres variables: magnitud del sismo, distancia más corta al plano de falla sísmica y profundidad focal.

Si  $D \leq 30$  Km:

$$\log pre = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 10^{0,5M_w}) + c_1 + \epsilon_1$$

### **Eventos Profundos:**

Si  $D > 30$  Km:

$$\log pre = a_2 M_w + b_2 X - \log(X) + c_2 + \epsilon_2$$

### **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 30)

- $X$  = Distancia Joyner y Boore. (Tabla 5)
- $a_1, b_1, c_1, d_1, \varepsilon_1, p, q$  = 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)

$X$  = Distancia de origen

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:

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

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 25: Valores empleados en el modelo de Kanno.

<b>M<sub>w</sub> =</b>	6,5	<b>R<sub>jb</sub>(km) =</b>	2,03	Falla Ambato	<b>V<sub>s30</sub> (m/s)</b>	298.08
<b>M<sub>w</sub> =</b>	6,3	<b>R<sub>jb</sub>(km) =</b>	3,53	Falla Huachi		
<b>M<sub>w</sub> =</b>	6,6	<b>R<sub>jb</sub>(km) =</b>	1,82	Falla Totoras		
<b>M<sub>w</sub> =</b>	6,8	<b>R<sub>jb</sub>(km) =</b>	9,00	Falla Samanga		
<b>Tipo de Evento</b>				Superficial		

Fuente: Jairo Sevilla.

### 3.1.6 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. [17]

### 3.1.6.1 Modelo Young (1997).

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. [18]

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 30)
- R= Distancia Joyner y Boore. (Tabla 5)
- Z<sub>T</sub>= Tipo de origen, 0 para interplaca, 1 para intraplaca.
- c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>= Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral horizontal (5% de amortiguación) para terremotos de subducción. (Ver Anexo E-1)
- ✓ g= gal (unidad de aceleración equivalente a 1 cm/s<sup>2</sup>. 1g=9,81 gales= 9,81 cm/s<sup>2</sup>)

**Categorías:**

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

$$Z=1, Z_{ds}=1, Z_{ss}=0, Z_r=0$$

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

$$Z=0, Z_{ds}=0, Z_{ss}=1, Z_r=0$$

### Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para:

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

Tabla 26: Valores empleados en el modelo de Young.

<b>M<sub>w</sub></b>	<b>R<sub>jb</sub> (km)</b>	<b>H (km)</b>	<b>Tipo Tectónico</b>	<b>ZT</b>
8,9	295,10	125	Intraplaca	1

Fuente: Jairo Sevilla.

### 3.1.6.2 Modelo Zhao (2006).

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. [19]

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

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

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

**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
- $Mw$  = Magnitud del momento. (Tabla 30)
- $x$  = Distancia de Joyner y Boore. (Tabla 5)
- $h$  = 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  $C_k$ , 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  $h > 125\text{km}$  se utiliza  $h = 125\text{km}$  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  $< 25\text{ km}$ ).

### **Clasificación de los Eventos**

- Para eventos de Interfase usar el valor de  $S_I$
- Para eventos de Intraplaca usar los valores de  $S_S$  y  $S_{SL}$

### **El parámetro $C_k$ se usa en basa a las 5 clases de sitio definidas en el estudio de Zhao:**

- Roca Dura denominada clase A, donde  $V_{s30} > 1100\text{ m/s}$ . Usar datos de CH. (Anexo F-2)
- Roca con clase de sitio A + B, donde  $V_{s30} > 600\text{ m/s}$ . Usar datos de C1. (Anexo F-2)
- Suelo Duro con clase de sitio C, donde  $300 < V_{s30} \leq 600\text{ m/s}$ . Usar datos de C2. (Anexo F-2)

- Suelo Medio de clase D, donde  $200 < V_{s30} \leq 300$  m/s. Usar datos de C3. (Anexo F-2)
- Suelo Suave de clase E + F, donde  $V_{s30} \leq 200$  m/s. Usar datos de C3. (Anexo F-2)

Tabla 27: Valores empleados en el modelo de Zhao.

		Tipo Tectónico			Tipo de Falla	Vs30 (m/s)
Mw =	8,9	Intraplaca			Inversa	298.08
X (km) =	295,10	S1	SS	SSL	FR	Ck
h (km) =	50	0	Usar los datos de la tabla dada por Zhao		1	Usar los datos de la tabla dada por Zhao
hc (km) =	0					
δh =	1					

Fuente: Jairo Sevilla.

### 3.1.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 3.1.7.1 Magnitud de fallas.

A continuación, se muestra la ecuación establecida por Wells y Coppersmith que sirve para determinar la magnitud de momento Mw:

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

Donde:

- *a*, *b*: Coeficientes dados por Wells y Coppersmith (Tabla 31)
- *SRL*: Longitud de rotura superficial dada en km. (Tabla 5)

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

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

$$M = 5 + 1.22 * \log(16.32)$$

$$M = 6.48$$

Los coeficientes a y b se obtienen de la tabla 31 (Wells y Coppersmith) y los valores de la longitud de la falla Ambato (SRL) se tomó de la tabla 5.

Tabla 28: Magnitud de momento calculado ( $M_w$ ) de cada una de las fallas geológicas seleccionadas.

<b>CÓDIGO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>MAGNITUD DE MOMENTO (M)</b>
EC-344a	AMBATO	6,48
EC-344b	AMBATO	6.32
EC-3445	AMBATO	6.55
EC-54	AMBATO	6.85
EC-223	AMBATO	8.89

Fuente: Jairo Sevilla.

Tabla 29: Ecuaciones empleadas para el cálculo de la magnitud de Momento (M). Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura y área de ruptura.

Equation <sup>a</sup>	Slip Type <sup>†</sup>	Number of Events	Coefficients and Standard Errors		Standard Deviation $\sigma$	Correlation Coefficient $r$	Magnitude Range	Length/Width Range (km)
			a(m)	b(m)				
$M = a + b \cdot \log(\text{SRL})$	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
$\log(\text{SRL}) = a + b \cdot M$	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
$M = a + b \cdot \log(\text{RLD})$	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
$\log(\text{RLD}) = a + b \cdot M$	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
$M = a + b \cdot \log(\text{RW})$	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
$\log(\text{RW}) = a + b \cdot M$	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
$M = a + b \cdot \log(\text{RA})$	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
$\log(\text{RA}) = a + b \cdot M$	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)	0.99(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

<sup>a</sup>SRL—surface rupture length (km); RLD—subsurface rupture length (km); RW—down-dip rupture width (km), RA—rupture area (km<sup>2</sup>).  
<sup>†</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.

### 3.1.7.2 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.

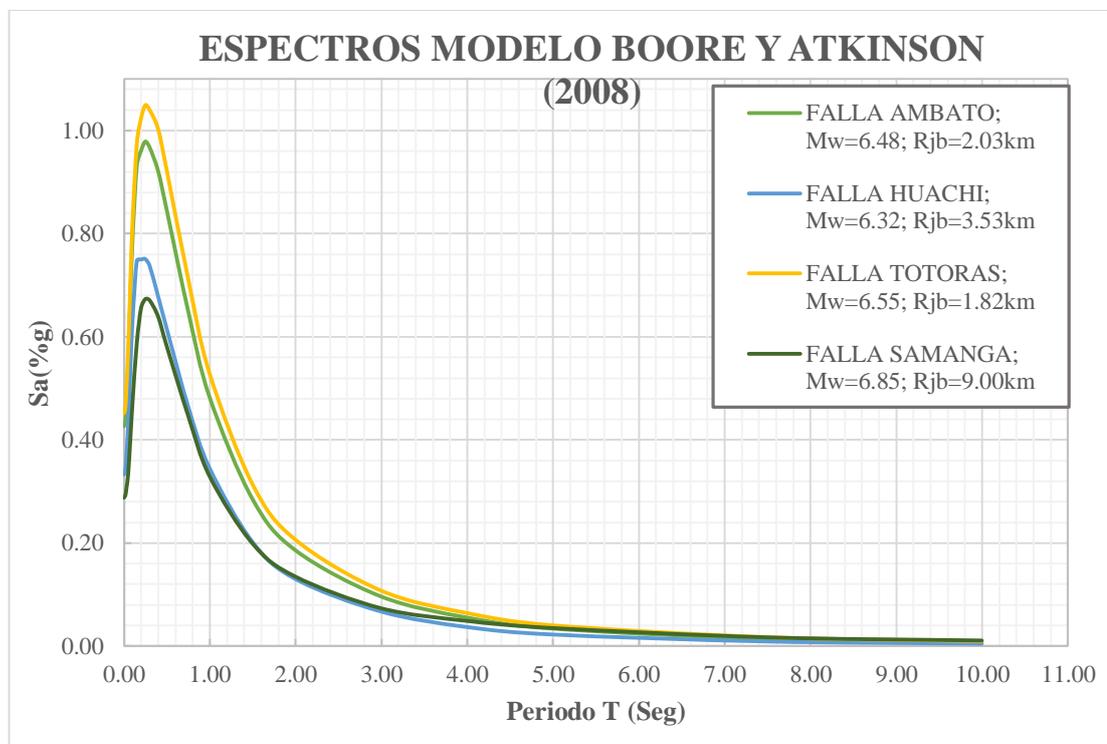
La gráfica del espectro presenta en el eje de las abscisas el periodo propio de la estructura y en el eje de las ordenadas la respuesta máxima en aceleración calculada para distintos factores de amortiguamiento. [30]

Una vez identificado el área de estudio, seleccionadas las fallas, la velocidad media de la onda de cortante, calculada la Magnitud de momento 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.

### Espectros calculados con el modelo de Boore y Atkinson (2008)

Se muestra el siguiente gráfico con el espectro obtenido con el modelo de Boore y Atkinson (2008) para cada una de las fallas corticales utilizadas como son: Ambato, Huachi, Totoras y Samanga. Para este modelo se requiere el valor de la velocidad media de onda cortante y se utilizó el Vs30 calculado que es de 325.19 m/s. (Tabla 23).

Figura 23: Espectro de aceleración obtenido con el modelo de Boore y Atkinson (2008) utilizando las fallas corticales seleccionadas



Elaboración: Jairo Sevilla.

En la figura 9 se observa que las aceleraciones van variando considerablemente ya que están ligadas a la longitud, distancia y magnitud de momento para cada una de las fallas seleccionadas.

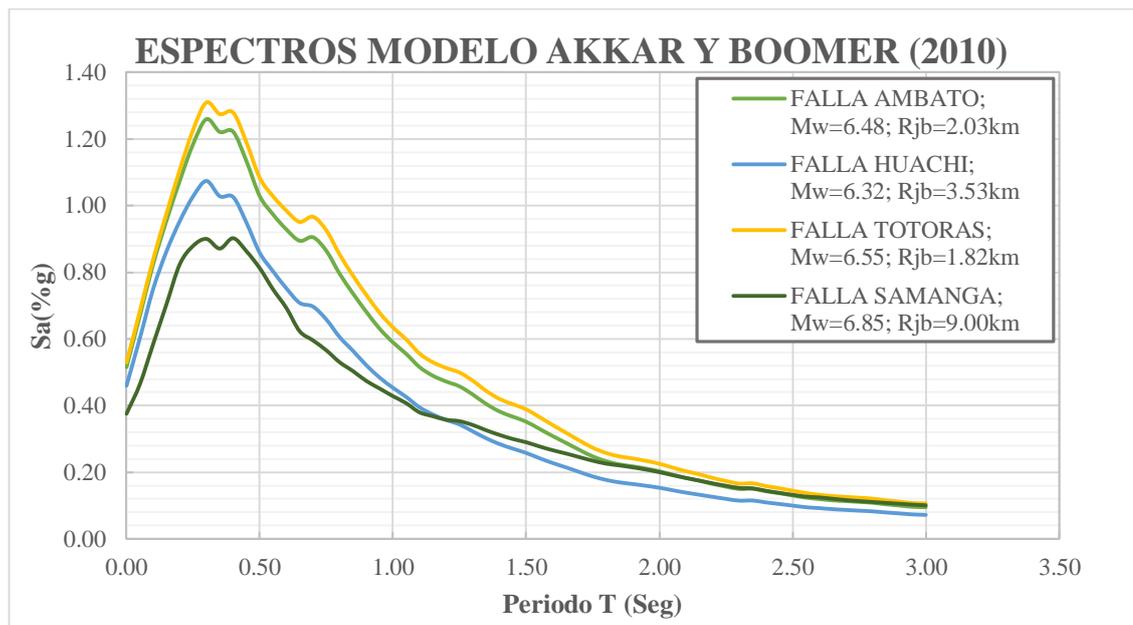
Este gráfico nos indica que la falla Totoras es la que predomina en el modelo de Boore y Atkinson con un valor máximo de aceleración de 1.25 g correspondiente a un período de 0.25 seg y después va decreciendo hasta llegar a un período de 10 seg.

Ante un mismo perfil de suelo en el área de estudio, teniendo como mayor respuesta en aceleración a la falla Totoras. Las fallas de Ambato, Huachi y Samanga irán disminuyendo en ese orden, ya que la distancia es mayor.

### **Espectros calculados con el modelo de Akkar y Bommer (2010)**

Se muestra el siguiente gráfico con el espectro obtenido con el modelo de Akkar y Bommer (2010) para cada una de las fallas corticales utilizadas como son: Ambato, Huachi, Totoras y Samanga.

Figura 24: Espectro de aceleración obtenido con el modelo de Akkar y Bommer (2010) utilizando las fallas corticales seleccionadas



Elaboración: Jairo Sevilla.

En la figura 10 se observa que las aceleraciones van variando considerablemente ya que están ligadas a la longitud, distancia y magnitud de momento para cada una de las fallas seleccionadas.

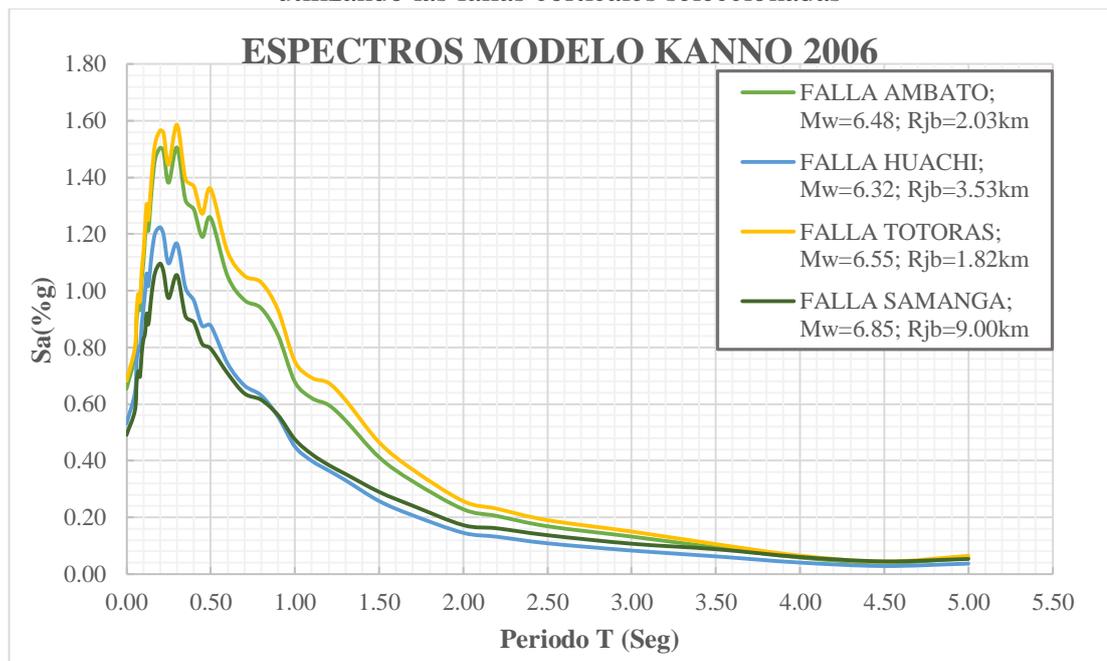
Este gráfico nos indica que la falla Totoras es la que predomina en el modelo de Boore y Atkinson con un valor máximo de aceleración de 1.30 g correspondiente a un período de 0.30 seg y después va decreciendo hasta llegar a un período de 3 seg.

Ante un mismo perfil de suelo en el área de estudio, teniendo como mayor respuesta en aceleración a la falla Totoras. Las fallas de Ambato, Huachi y Samanga irán disminuyendo en ese orden, ya que la distancia es mayor.

### **Espectros calculados con el modelo de Kanno (2006)**

Se muestra el siguiente gráfico con el espectro obtenido con el modelo de Kanno (2006) para cada una de las fallas corticales utilizadas como son: Ambato, Huachi, Totoras y Samanga. Para este modelo se requiere el valor de la velocidad media de onda cortante y se utilizó el Vs30 calculado que es de 325.19 m/s. (Tabla 23).

Figura 25: Espectro de aceleración obtenido con el modelo de Kanno (2010) utilizando las fallas corticales seleccionadas



Elaboración: Jairo Sevilla.

En la figura 11 se observa que las aceleraciones van variando considerablemente ya que están ligadas a la longitud, distancia y magnitud de momento para cada una de las fallas seleccionadas.

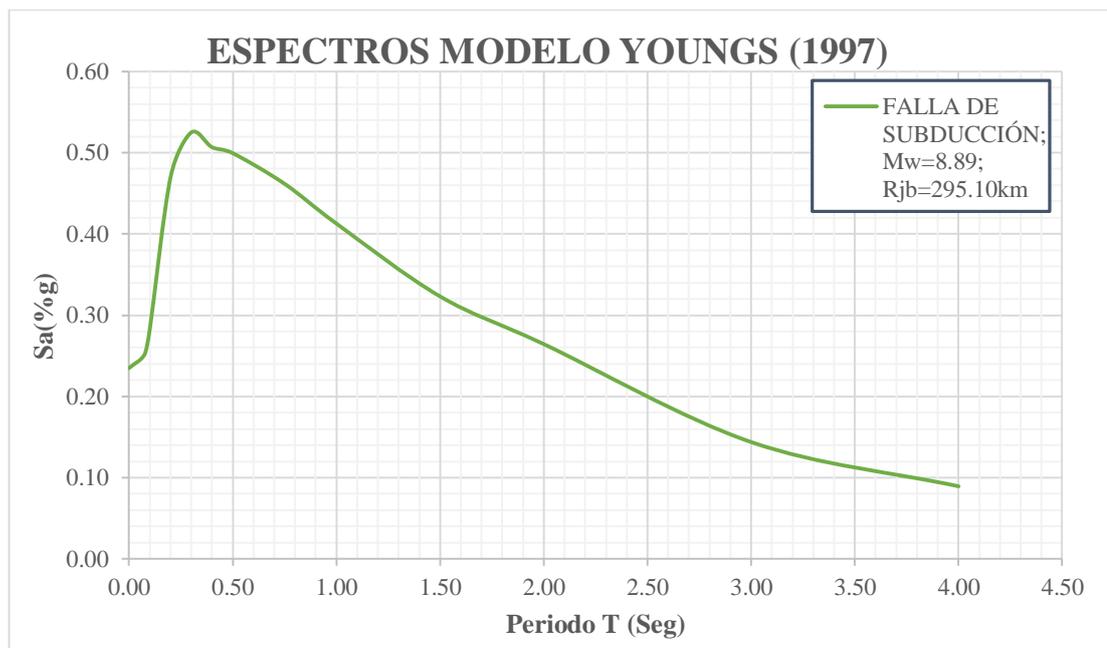
Este gráfico nos indica que la falla Totoras es la que predomina en el modelo de Boore y Atkinson con un valor máximo de aceleración de 1.60 g correspondiente a un período de 0.30 seg y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5 seg.

Ante un mismo perfil de suelo en el área de estudio, teniendo como mayor respuesta en aceleración a la falla Totoras. Las fallas de Ambato, Huachi y Samanga irán disminuyendo en ese orden, ya que la distancia es mayor.

### **Espectros calculados con el modelo de Young (1997)**

Se muestra el siguiente gráfico con el espectro obtenido con el modelo de Young (1997) para la falla de subducción.

Figura 26: Espectro de aceleración obtenido con el modelo de Young (1997) utilizando la falla de subducción



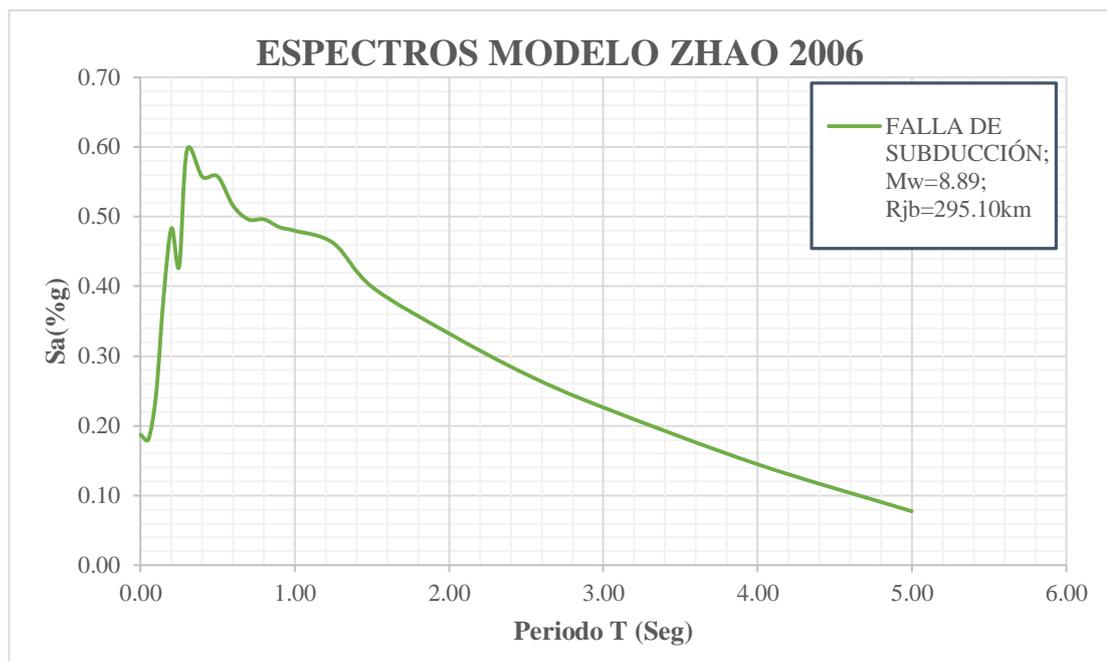
Elaboración: Jairo Sevilla.

En la figura 12 se observa que la aceleración de la falla de subducción va creciendo mientras que el periodo aumenta, hasta llegar a un valor máximo de aceleración de 0.53 g en un periodo de 0.3 seg y luego la aceleración va decreciendo hasta llegar a un periodo límite de 4 seg.

### Espectros calculados con el modelo de Zhao (2006)

Se muestra el siguiente gráfico con el espectro obtenido con el modelo de Zhao (2006) para la falla de subducción.

Figura 27: Espectro de aceleración obtenido con el modelo de Zhao (2006) utilizando la falla de subducción



Elaboración: Jairo Sevilla.

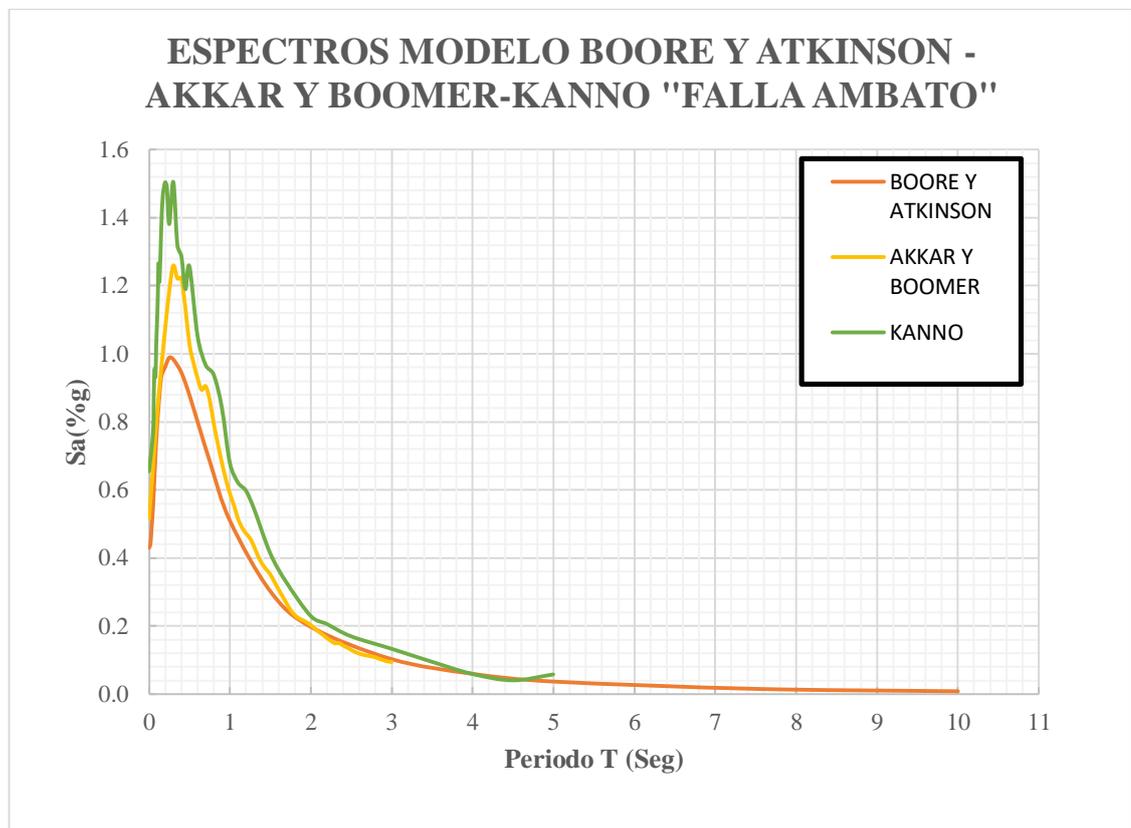
En la figura 13 se observa que la aceleración de la falla de subducción va creciendo mientras que el periodo aumenta, hasta llegar a un valor de aceleración de 0.48 g con un periodo de 0.2 seg, después la aceleración decrece y luego vuelve a aumentar a un valor máximo de aceleración de 0.60 g en un periodo de 0.35 seg y luego la aceleración va decreciendo hasta llegar a un periodo límite de 5 seg.

### 3.1.7.3 Espectros con los modelos para una falla seleccionada

Se sigue a graficar el espectro de aceleración con cada uno de los modelos (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno, Young y Zhao) para cada una de las fallas seleccionadas (Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y Subducción).

#### Espectros con los modelos para la falla Ambato

Figura 28: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Ambato



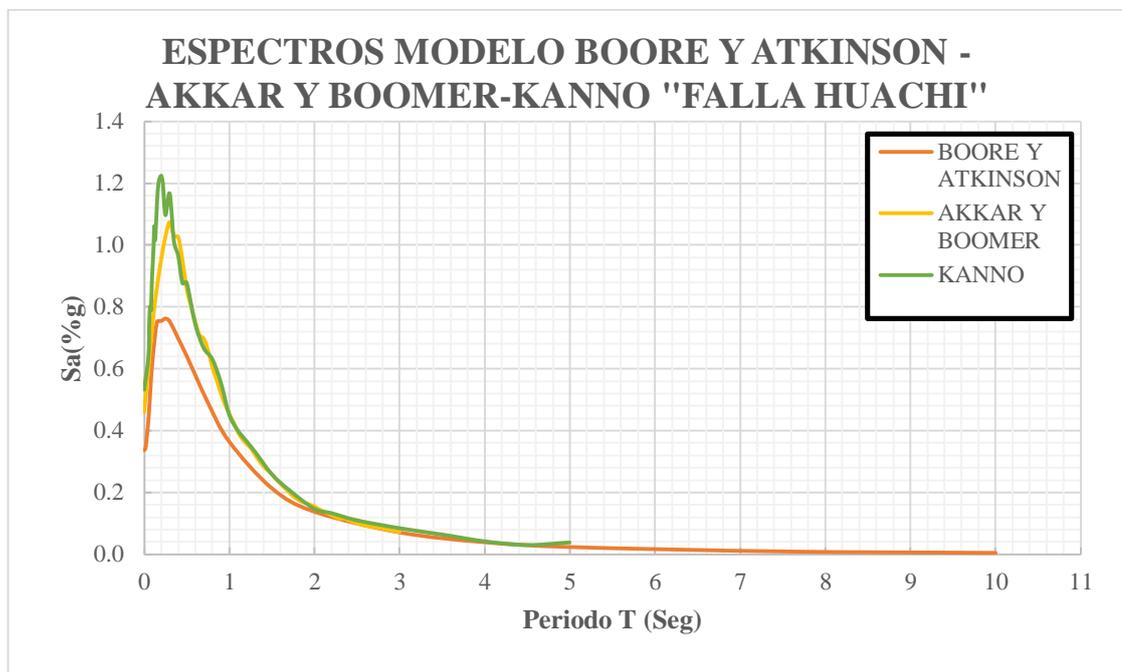
Elaboración: Jairo Sevilla.

Este gráfico nos indica que el espectro del modelo Kanno es el que predomina sobre el modelo de Akkar y Boomer y este sobre el modelo de Boore y Atkinson en la falla Ambato.

Este modelo de Kanno tiene un valor máximo de aceleración de 1.46 g correspondiente a un período de 0.20 seg y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5 seg, como se observa en la gráfica.

### 3.2.3.2 Espectros con los modelos para la falla Huachi

Figura 29: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Huachi



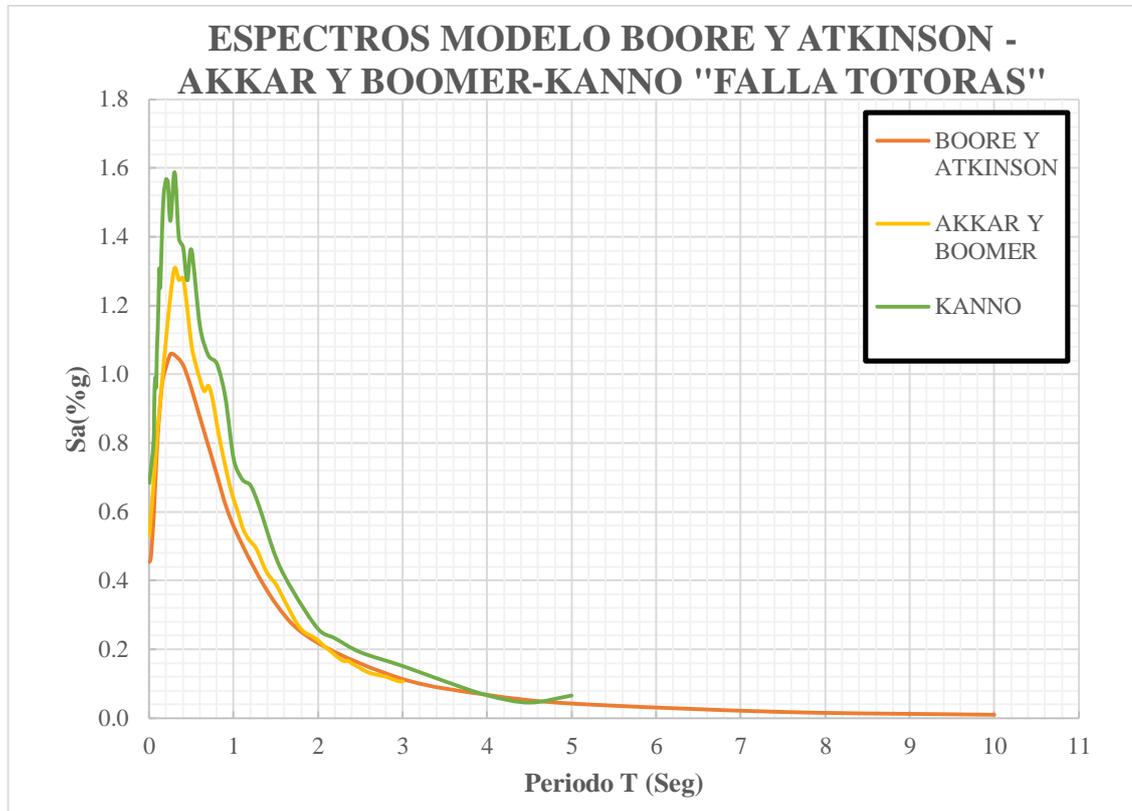
Elaboración: Jairo Sevilla.

Este gráfico nos indica que el espectro del modelo Kanno es el que predomina sobre el modelo de Akkar y Boomer y este sobre el modelo de Boore y Atkinson en la falla Ambato.

Este modelo de Kanno tiene un valor máximo de aceleración de 1.22 g correspondiente a un período de 0.20 seg y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5 seg, como se observa en la gráfica.

## Espectros con los modelos para la falla Totoras

Figura 30: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Totoras



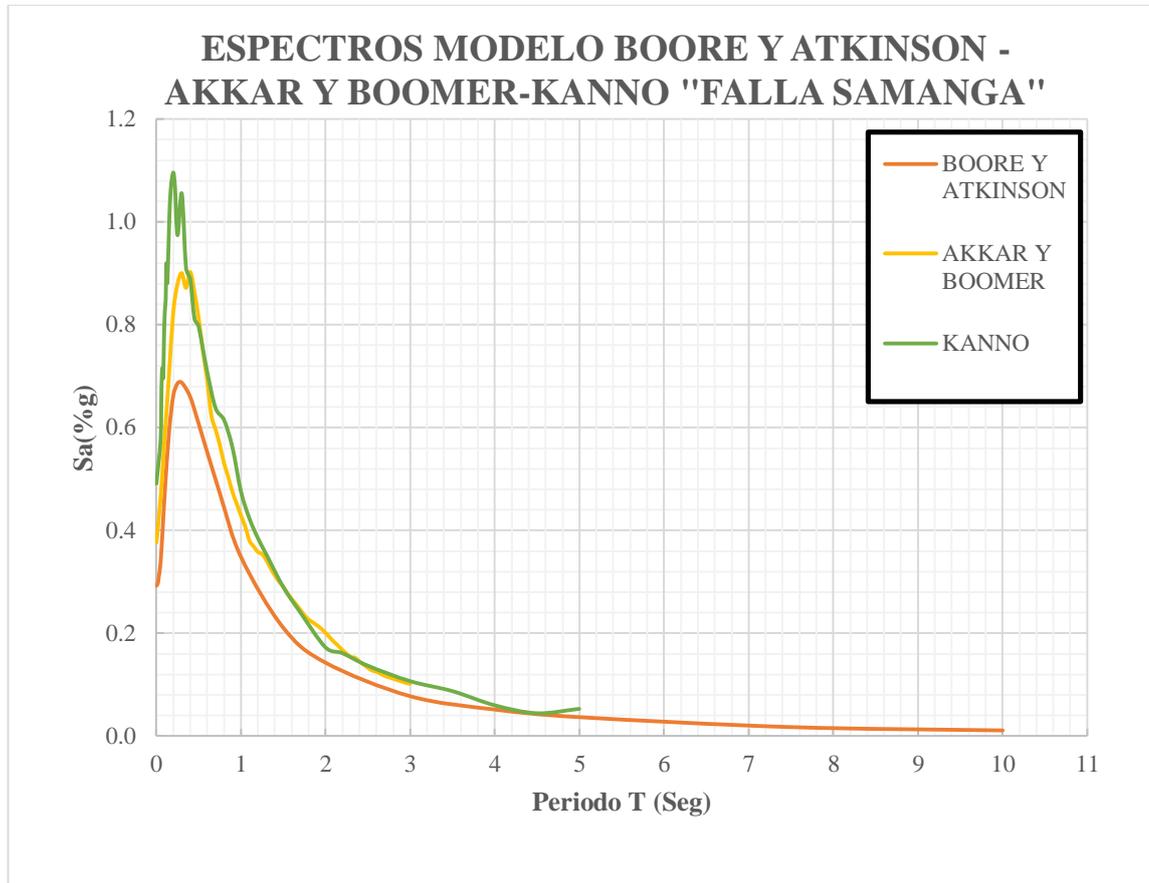
Elaboración: Jairo Sevilla.

Este gráfico nos indica que el espectro del modelo Kanno es el que predomina sobre el modelo de Akkar y Boomer y este sobre el modelo de Boore y Atkinson en la falla Ambato.

Este modelo de Kanno tiene un valor máximo de aceleración de 1.58 g correspondiente a un período de 0.20 seg y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5 seg, como se observa en la gráfica.

## Espectros con los modelos para la falla Samanga

Figura 31: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Samanga



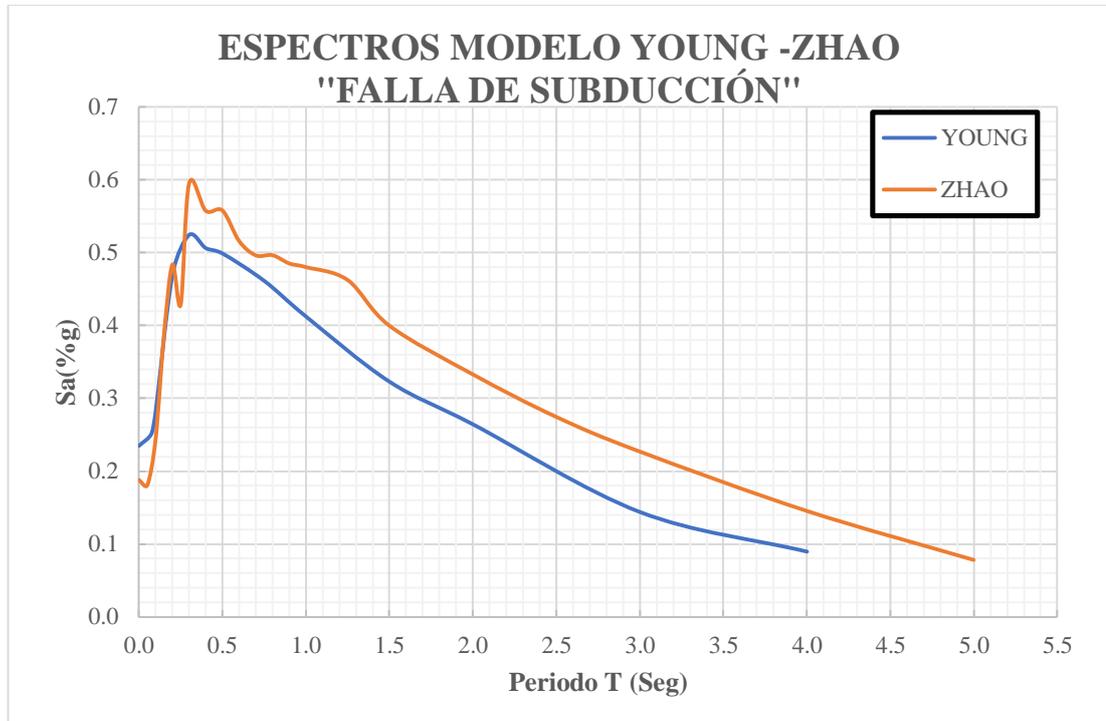
Elaboración: Jairo Sevilla.

Este gráfico nos indica que el espectro del modelo Kanno es el que predomina sobre el modelo de Akkar y Boomer y este sobre el modelo de Boore y Atkinson en la falla Ambato.

Este gráfico nos indica que el espectro del modelo Kanno es el que predomina en la falla Ambato con un valor máximo de aceleración de 1.10 g correspondiente a un período de 0.20 seg y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5 seg.

## Espectros con los modelos para la falla de Subducción

Figura 32: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Young y Zhao para la falla de Subducción



Elaboración: Jairo Sevilla.

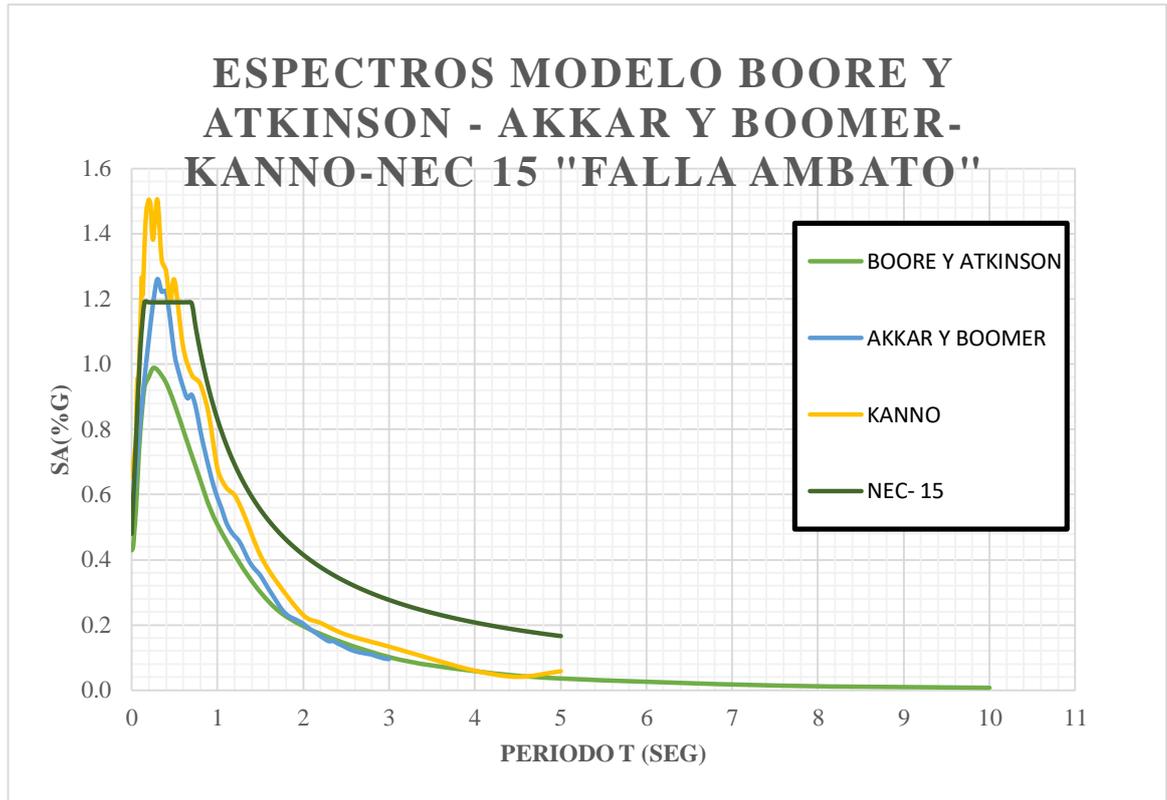
Este gráfico nos indica que el espectro del modelo Zhao tiene una mayor aceleración, pero en los dos modelos coincide su máxima aceleración en el mismo periodo que es 0.4 seg, luego las aceleraciones bajan hasta llegar a un periodo de 4.0 seg en el modelo de Young y 5.0 seg en el de Zhao.

### 3.1.7.4 Espectros con la NEC – 15

Ahora se realiza la comparación entre los espectros de los modelos establecidos para cada una de las fallas seleccionadas y el espectro de la NEC – 15.

### Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Ambato

Figura 33: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Ambato



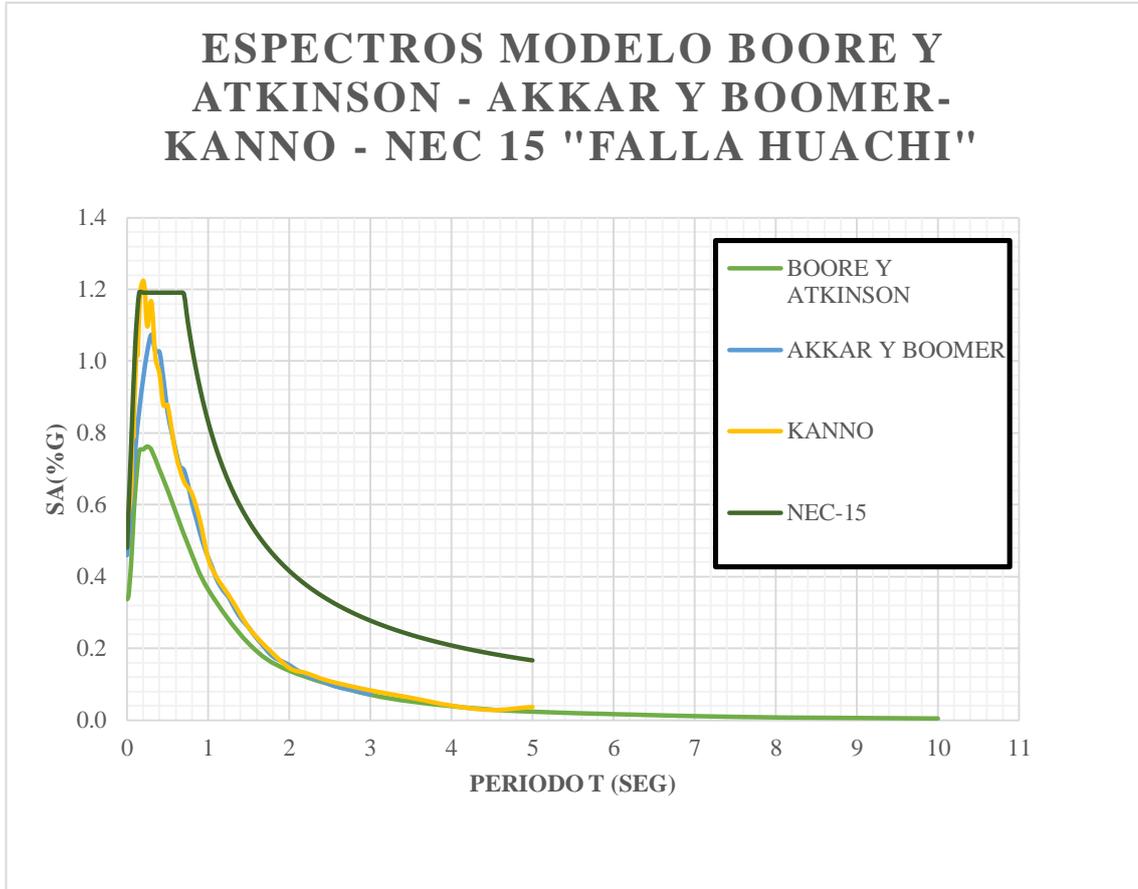
Elaboración: Jairo Sevilla.

Aquí se observa que el espectro de Boore y Atkinson está dentro del rango de la aceleración del espectro de la NEC-15, y tanto el de Akkar y Boomer y Kanno sobrepasan la aceleración de la NEC-15 en un intervalo de periodo y después vuelve a estar dentro de este.

El Espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración de 1.19 g durante el periodo de 0.25 seg hasta los 0.70 seg, este supera al de Boore y Atkinson, pero no al de Akkar y Boomer ni al de Kanno.

### 3.2.4.2 Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Huachi

Figura 34: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Huachi



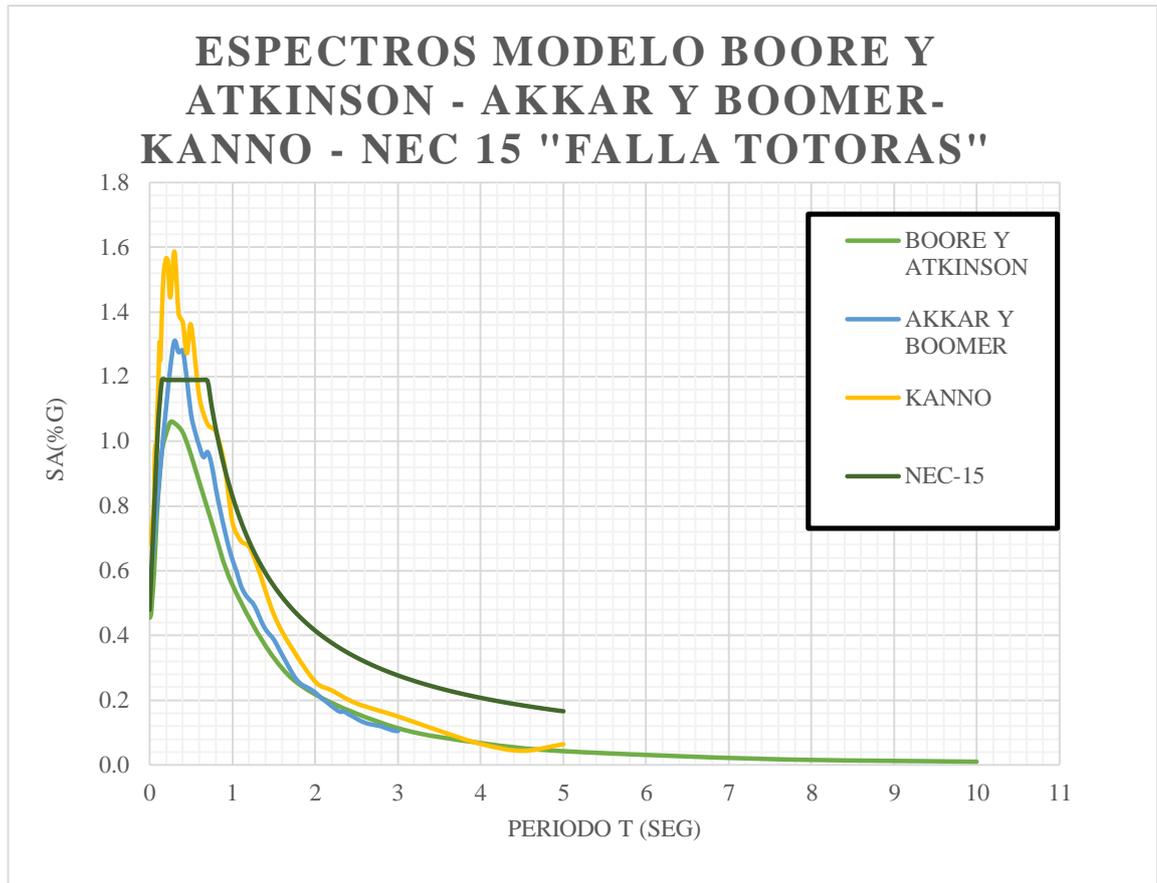
Elaboración: Jairo Sevilla.

Aquí se observa que el espectro de la NEC-15 está por sobre los de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, mas no por el de Kanno para la falla Huachi.

El Espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración de 1.19 g durante el periodo de 0.25 seg hasta los 0.70 seg.

## Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Totoras

Figura 35: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Totoras



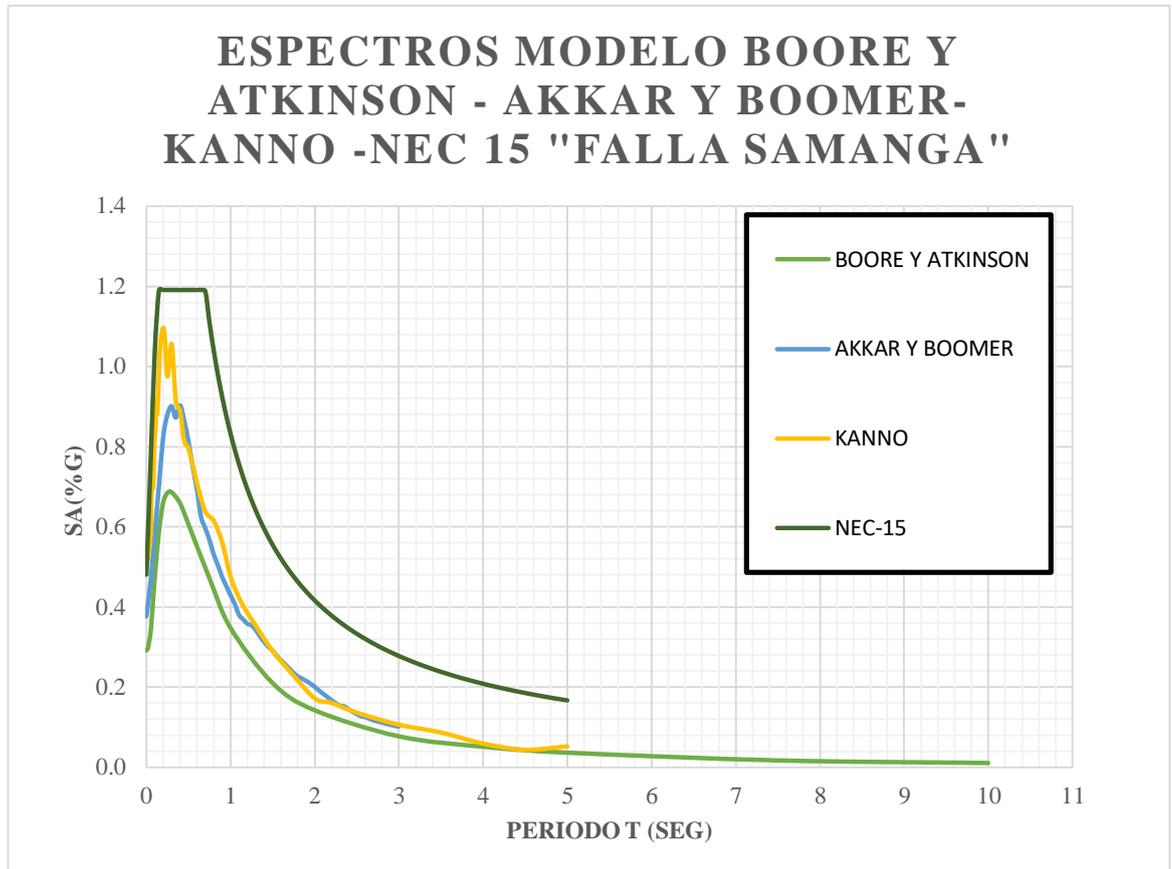
Elaboración: Jairo Sevilla.

Aquí se observa que el espectro de Boore y Atkinson está dentro del rango de la aceleración del espectro de la NEC-15, y tanto el de Akkar y Boomer y Kanno sobrepasan la aceleración de la NEC-15 en un intervalo de periodo y después vuelve a estar dentro de este.

El Espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración de 1.19 g durante el periodo de 0.25 seg hasta los 0.70 seg, este supera al de Boore y Atkinson, pero no al de Akkar y Boomer ni al de Kanno.

## Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Samanga

Figura 36: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Samanga



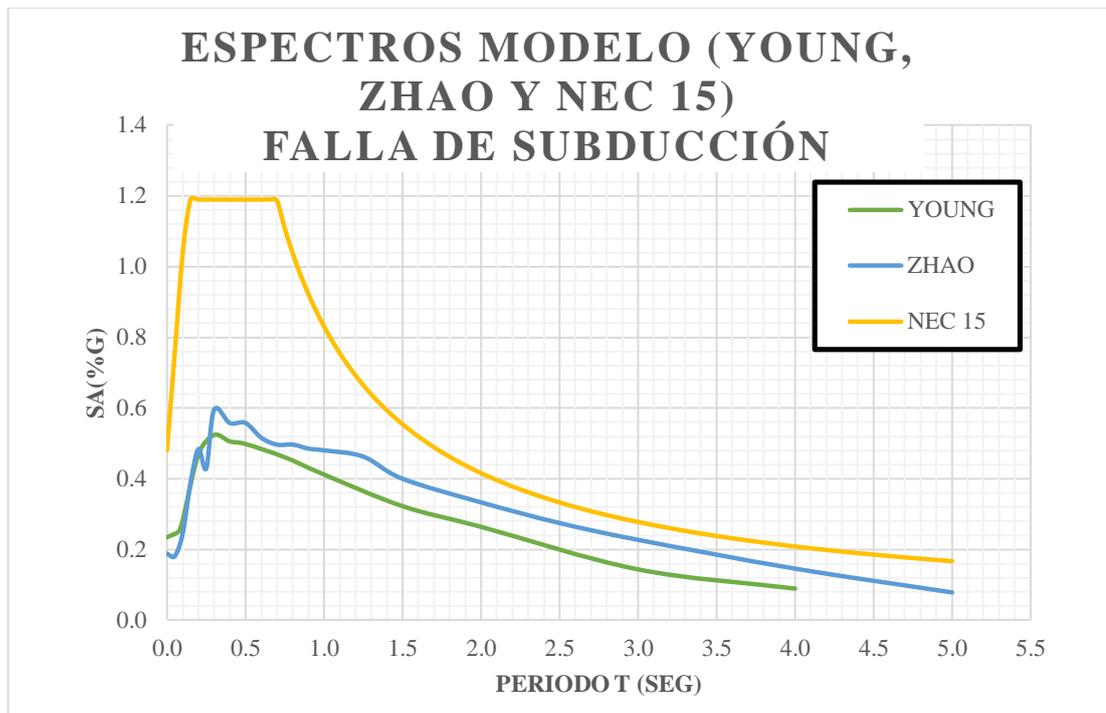
Elaboración: Jairo Sevilla.

Aquí se observa que el espectro de la NEC-15 está por sobre los de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Samanga

El Espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración de 1.19 g durante el periodo de 0.25 seg hasta los 0.70 seg.

**Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Young, Zhao y NEC-15) para la falla de subducción.**

Figura 37: Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Young, Zhao y NEC-15) para la falla de Subducción



Elaboración: Jairo Sevilla.

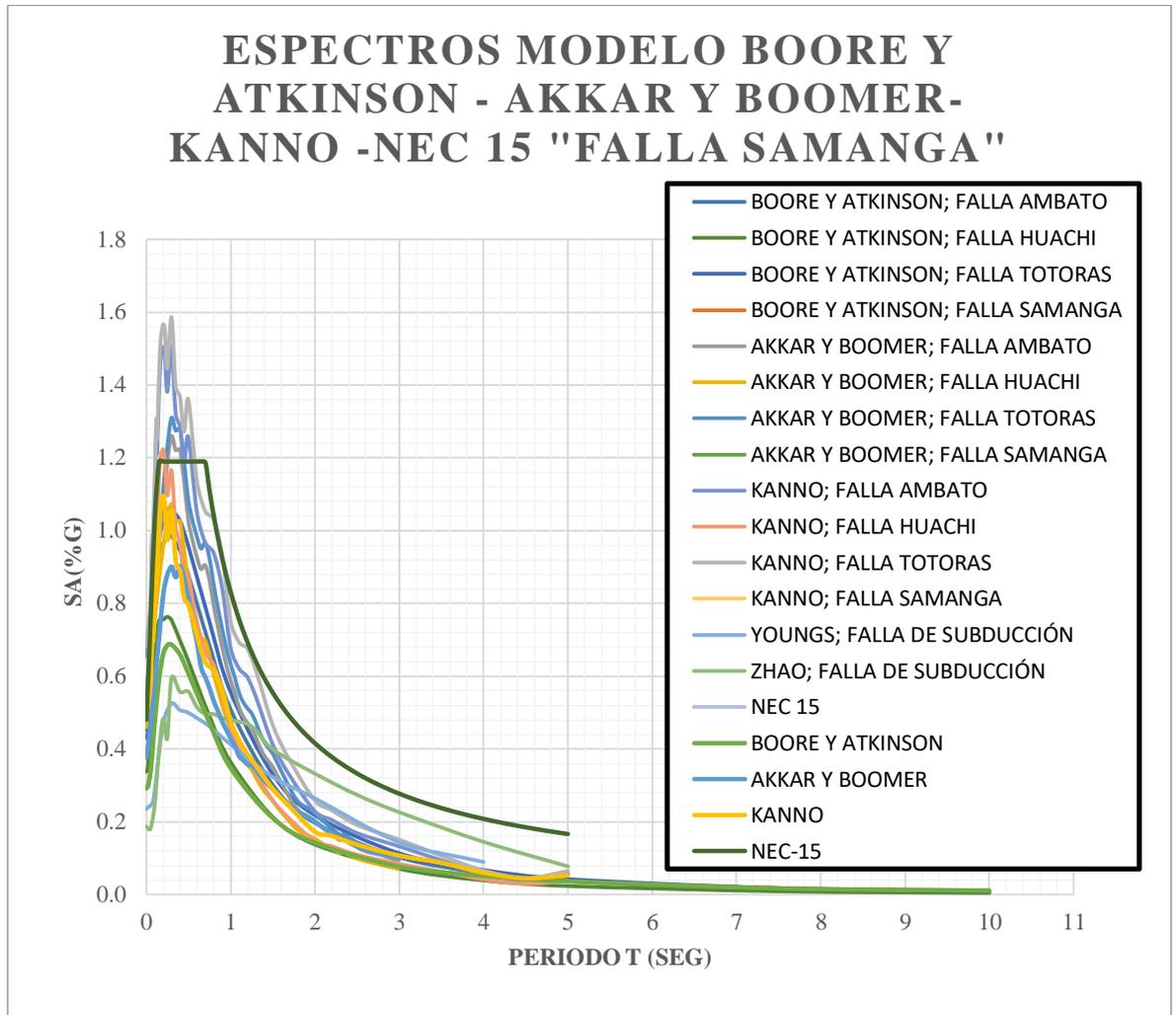
Aquí se observa que el espectro de la NEC-15 está por sobre los de Young y Zhao.

El Espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración de 1.19 g durante el periodo de 0.25 seg hasta los 0.70 seg.

**3.1.7.5 Espectro de los modelos de aceleración seleccionados y el de la NEC-15.**

En el siguiente gráfico se muestra el espectro de aceleración con cada uno de los modelos seleccionados (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno, Young y Zhao) para cada una de las fallas mencionadas (Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y Subducción) y el espectro de la NEC 15.

Figura 38: Espectros de aceleración obtenidos con los modelos (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno, Young y Zhao), las fallas (Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y Subducción) y el espectro de la NEC 15.



Elaboración: Jairo Sevilla.

En este gráfico se puede observar que los espectros de las fallas corticales sobresalen en periodos cortos y afectan a estructuras de menor altura como son las de 2 a 3 pisos, al igual que los espectros generados por la falla de subducción.

El modelo que más sobresale es el de Kanno con las fallas corticales de Totoras y Ambato, que es donde se obtiene las máximas aceleraciones. También mencionar que el modelo de Akkar y Boomer sobrepasa al de la NEC-15 para las fallas corticales de Totoras y Ambato. El resto de modelos evaluados están por debajo de la NEC-15.

### 3.1.7.6 Espectro determinístico comparado con la NEC-15.

Se toman los valores máximos de aceleración de los modelos con cada una de las fallas para después compararlos con el espectro de la NEC-15.

Tabla 30: Valores periodo y aceleración para el espectro determinístico y NEC-15.

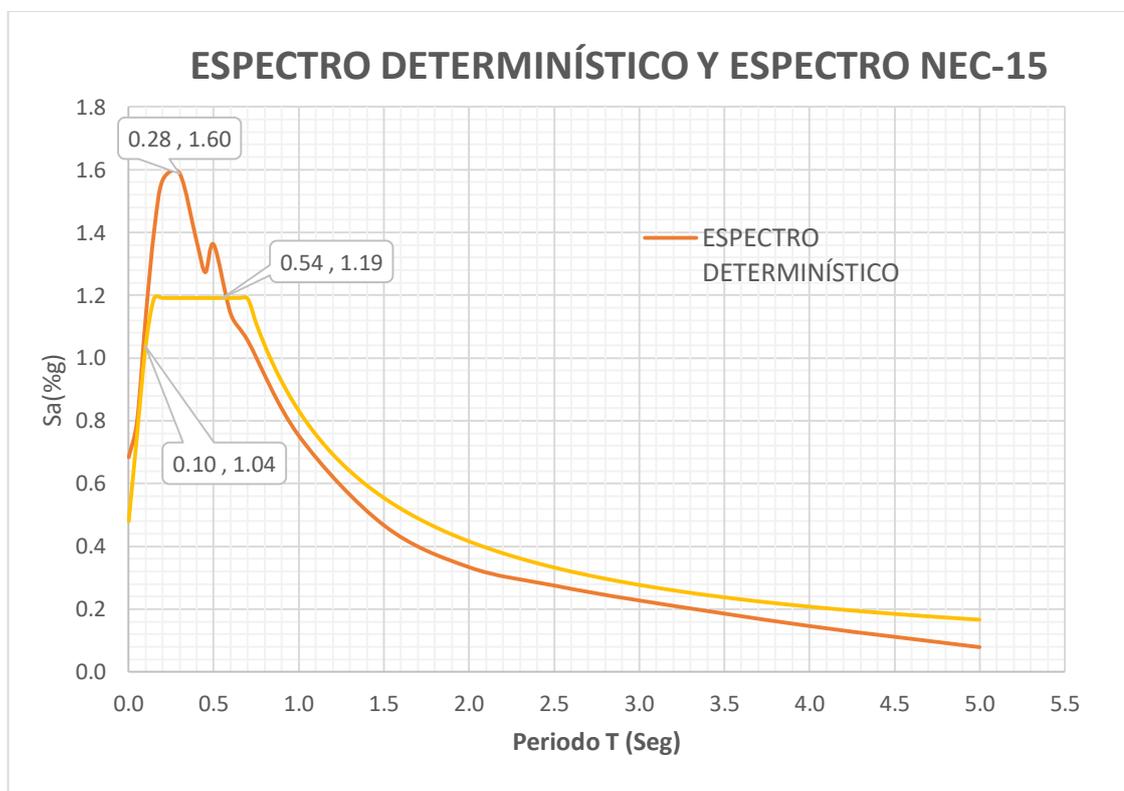
<b>T(seg)</b>	<b>Sa(g) Determinista</b>	<b>Sa(g) NEC- 15</b>
0.00	0.68	0.480
0.05	0.80	0.760
0.10	1.13	1.040
0.15	1.41	1.190
0.20	1.57	1.190
0.25	1.45	1.190
0.30	1.59	1.190
0.35	1.40	1.190
0.40	1.37	1.190
0.45	1.27	1.190
0.50	1.36	1.190
0.55	1.03	1.190
0.60	1.14	1.190
0.65	0.95	1.190
0.70	1.05	1.187
0.75	0.93	1.108
0.80	1.03	1.039
0.85	0.79	0.978
0.90	0.93	0.923
0.95	0.68	0.875
1.00	0.75	0.831
1.05	0.60	0.791
1.10	0.69	0.756

<b>T(seg)</b>	<b>Sa(g) Determinista</b>	<b>Sa(g) NEC- 15</b>
1.15	0.53	0.723
1.20	0.68	0.693
1.25	0.50	0.665
1.30	0.62	0.639
1.35	0.44	0.616
1.40	0.42	0.594
1.45	0.40	0.573
1.50	0.47	0.554
1.55	0.36	0.536
1.60	0.34	0.519
1.65	0.32	0.504
1.70	0.37	0.489
1.75	0.27	0.475
1.80	0.26	0.462
1.85	0.25	0.449
1.90	0.24	0.437
1.95	0.23	0.426
2.00	0.33	0.416
2.05	0.21	0.405
2.10	0.20	0.396
2.15	0.19	0.387
2.20	0.23	0.378
2.25	0.17	0.369
2.30	0.17	0.361
2.35	0.17	0.354
2.40	0.16	0.346
2.45	0.15	0.339
2.50	0.27	0.332
2.55	0.14	0.326
2.60	0.13	0.320

T(seg)	Sa(g) Determinista	Sa(g) NEC-15
2.65	0.13	0.314
2.70	0.13	0.308
2.75	0.12	0.302
2.80	0.12	0.297
2.85	0.11	0.292
2.90	0.11	0.287
3.00	0.23	0.277
3.50	0.11	0.237
4.00	0.15	0.208
4.50	0.04	0.185
5.00	0.08	0.166

Elaboración: Jairo Sevilla.

Figura 39: Espectro determinístico comparado con la NEC-15.



Elaboración: Jairo Sevilla.

En la figura se puede observar que el espectro determinístico puede llegar a una aceleración máxima de 1.48 g y es mucho mayor que la de la NEC-15 durante el periodo de 0 a 0.54 seg, y para un periodo mayor a este el de la NEC-15 tiene un espectro más crítico durante un periodo más largo.

### 3.1.8 Cálculo de los periodos de vibración.

#### Periodo Fundamental de Vibración

La NEC-2015 nos da la siguiente ecuación (método 1) para calcular el valor del periodo fundamental T:

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

Donde:

- T: Período de vibración.
- C<sub>t</sub>: Coeficiente que depende del tipo de edificio.
- h<sub>n</sub>: Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

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

Tabla 31: Valores de C<sub>t</sub> y α utilizados para el cálculo del período 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: NEC-15 (Peligro Sísmico)

Procedemos al cálculo de T para la estructura de 2 pisos.

$$T = Ct * hn^\alpha$$

$$T = 0.055 * 7.80^{0.9}$$

$$T = \mathbf{0.35 \text{ seg}}$$

Procedemos al cálculo de T para la estructura de 3 pisos.

$$T = Ct * hn^\alpha$$

$$T = 0.055 * 7.70^{0.9}$$

$$T = \mathbf{0.35 \text{ seg}}$$

Procedemos al cálculo de T para la estructura de 4 pisos.

$$T = Ct * hn^\alpha$$

$$T = 0.055 * 10.80^{0.9}$$

$$T = \mathbf{0.47 \text{ seg}}$$

### **Periodo límite de Vibración**

Para el periodo de vibración tenemos las siguientes ecuaciones que nos da la NEC-15, considerando que estamos en una zona sísmica V.

$$T_o = 0.1 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

**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.

Los datos para los períodos límite nos da las tablas de la NEC-15

Tabla 32: Valores de coeficientes de amplificación de suelo y factor Z para un perfil de suelo tipo D.

<b>DATOS</b>	
<b>Z</b>	0.40
<b>Fa</b>	1.20
<b>Fd</b>	1.19
<b>Fs</b>	1.28

Fuente: NEC-15 (Peligro Sísmico)

Aplicando la ecuación de To:

$$T_o = 0.1 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_o = 0.1 * 1.28 * \frac{1.19}{1.2}$$

$$T_o = 0.127 \text{ seg}$$

Aplicando la ecuación de Tc:

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.55 * 1.28 * \frac{1.19}{1.2}$$

$$T_c = 0.698 \text{ seg}$$

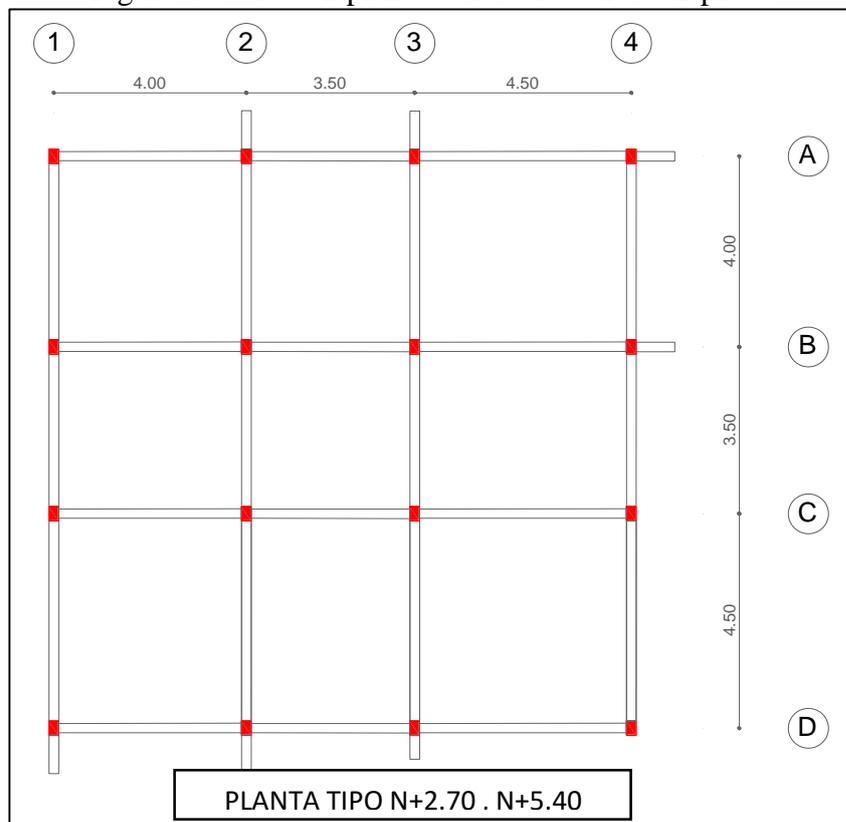
### 3.1.9 Comportamiento estructural de las estructuras tipo en el área de estudio.

Se va a modelar tres estructuras tipo que estén ubicadas en el área de estudio. Para esto se usará el programa de análisis y diseño estructural ETABS 2016 v16, para analizar el comportamiento estructural y verificar si los resultados obtenidos cumplen con los que nos da en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) 2015.

#### 3.1.9.1 Evaluación de la estructura de 2 pisos.

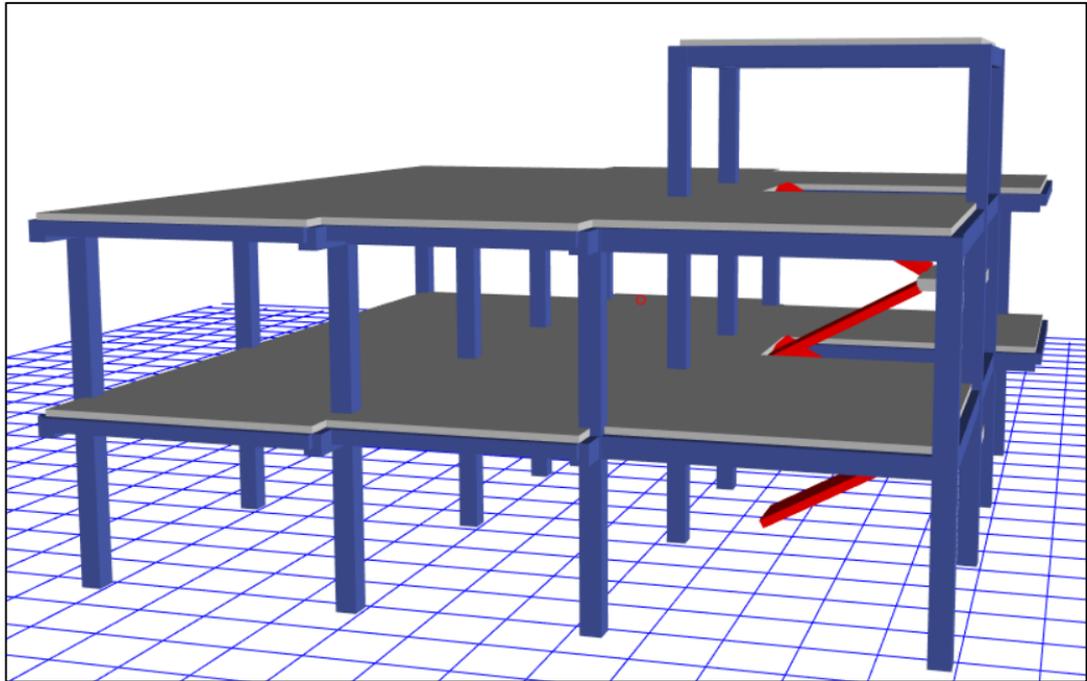
A continuación, se muestra la vista en planta de las estructuras en el área de estudio.

Figura 40: Vista en planta de la estructura de 2 pisos.



Elaboración: Jairo Sevilla.

Figura 41: Vista modelada de la estructura.



Fuente: Etabs 2016V16.2.1

A continuación, se muestra las secciones de los elementos estructurales en cada una de las estructuras tipo en el área de estudio:

Tabla 33: Secciones y propiedades de la estructura de 2 pisos

ESTRUCTURA TIPO	DIMENSIÓN
RESISTENCIA DEL HORMIGÓN	$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
LÍMITE DE FLUENCIA DEL ACERO	$Fy = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
LOSA	20 cm
ALTURA	7.80
COEFICIENTE DE POISSON	0.20
MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN	$Ec = 13100 * (f'c)^{1/2}$

Elaboración: Jairo Sevilla.

### Cortante Basal

Se procede a calcular el cortante basal con la siguiente ecuación que nos da la norma ecuatoriana:

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

**Donde:**

- V= Coeficiente sísmico.
- I= Factor de importancia.
- Sa=Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g).
- R= Factor de reducción de resistencia sísmica.
- $\phi_P$ = Coeficiente de configuración en planta.
- $\phi_E$ = Coeficiente de configuración en elevación.

Tabla 34: Coeficientes obtenidos para el cálculo del coeficiente de los espectros elásticos para la estructura de 2 pisos

ESTRUCTURA TIPO	$\phi_P$	$\phi_E$	I	R
ESTRUCTURA DE 2 PISOS	0.9	1	1	8

Elaboración: Jairo Sevilla.

### **Comportamiento estructural.**

Se procede a modelar las estructuras introduciendo el espectro de la NEC-15 y el espectro determinístico haciendo una comparación con los resultados obtenidos con los dos para dar a conocer el comportamiento del espectro determinístico con respecto al de la NEC-15.

### **Datos para estructura de 2 pisos**

A continuación, se presenta los datos utilizados y calculados para la estructura de 2 pisos.

Tabla 35: Datos para la estructura de 2 pisos

<b>DATOS PARA V</b>					
<b>Z (g)</b>	0.4				
<b>I</b>	1				
<b>R</b>	8				
<b>Φp</b>	0.9				
<b>Φe</b>	1				
<b>Ct</b>	0.055				
<b>α</b>	0.9				
<b>hn (m)</b>	7.8				
<b>η</b>	2.48				
<b>Fa</b>	1.2				
<b>Fd</b>	1.19				
<b>Fs</b>	1.28				
<b>r</b>	1				
<b>Tc</b>	0.6981				
<b>To</b>	0.1269				
<b>T</b>	0.3493	<b>Tmax (1.3T)</b>	0.454	<b>Tmodal (s)</b>	0.440
<b>Sa (T)</b>	1.1904	<b>Sa (Tmax)</b>	1.1904	<b>Sa (Tmodal)</b>	1.1904
<b>V</b>	<b>0.1653</b>	<b>V (Tmax)</b>	<b>0.1653</b>	<b>V (Tmodal)</b>	<b>0.1653</b>
<b>k</b>	1.000	<b>k(max)</b>	1.000	<b>k(modal)</b>	1.000

Elaboración: Jairo Sevilla.

Tabla 36: Datos obtenidos del programa etabs de la estructura de 2 pisos

<b>TABLE: Modal Participating Mass Ratios</b>							
<b>Case</b>	<b>Mode</b>	<b>Period</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>Sum UX</b>	<b>Sum UY</b>	<b>RZ</b>
		sec					
Modal	1	0.44	0.0003	0.8223	0.0003	0.8223	0.0637
Modal	2	0.394	0.8714	0.0011	0.8717	0.8234	0.0028
Modal	3	0.371	0.0033	0.0653	0.875	0.8887	0.8161
Modal	4	0.153	3.28E-05	0.0926	0.8751	0.9812	0.0094
Modal	5	0.141	0.0959	3.68E-05	0.9709	0.9813	4.24E-05
Modal	6	0.124	1.41E-05	0.014	0.9709	0.9953	0.0796
Modal	7	0.112	0.0005	0.0037	0.9714	0.999	0.0245
Modal	8	0.106	0.028	1.40E-05	0.9994	0.999	0.0008
Modal	9	0.067	0.0001	0.0002	0.9995	0.9992	0.0005
Modal	10	0.065	0.0001	0.0002	0.9995	0.9995	0.0001
Modal	11	0.041	8.59E-07	0.0004	0.9995	0.9999	9.35E-06
Modal	12	0.037	0.0004	7.07E-06	0.9999	0.9999	0.0001

Fuente: Etabs 2016V16.2.1

### Periodo de vibración.

Por medio de un análisis modal, las características de deformación de los elementos resistentes y utilizando las propiedades estructurales, obtenemos el periodo fundamental T2 en el programa ETABS.

Tabla 37: Valores de To, Tc, T1 y T2 de la estructura de 2 pisos

<b>Estructura Tipo</b>	<b>To</b>	<b>Tc</b>	<b>T1</b>	<b>T2 (programa Etabs)</b>
Estructura 2 pisos	0.1269	0.6981	0.3493	0.440

Elaboración: Jairo Sevilla.

El valor de T2 calculado en el programa Etabs no debe ser mayor que el 30% al valor de T1 calculado.

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

$$0.3493 \leq 0.440 \leq 0.454$$

**El valor de T2 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.

### Modos de vibración de la estructura.

Los dos primeros modos de vibración deben ser traslacionales, es decir menor que el 30%, y el tercer modo debe ser rotacional, es decir mayor al 30%.

Tabla 38: Participación Modal de Masa de estructura de 2 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 – DETERMINISTA)

<b>TABLE: Modal Participating Mass Ratios</b>				
<b>Case</b>	<b>Mode</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>RZ</b>
Modal	1	0.0003	0.8223	0.0637
Modal	2	0.8714	0.0011	0.0028
Modal	3	0.0033	0.0653	0.8161
Modal	4	0.00003283	0.0926	0.0094
Modal	5	0.0959	0.00003677	0.00004236
Modal	6	0.00001405	0.014	0.0796
Modal	7	0.0005	0.0037	0.0245
Modal	8	0.028	0.000014	0.0008
Modal	9	0.0001	0.0002	0.0005
Modal	10	0.0001	0.0002	0.0001
Modal	11	8.594E-07	0.0004	0.000009347
Modal	12	0.0004	0.000007065	0.0001

Fuente: Etabs 2016V16.2.1

Se divide el valor de RZ para el valor mayor entre UX y UY para obtener el porcentaje y el tipo de rotación.

Tabla 39: Participación Modal de Masa de estructura de 2 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 - DETERMINISTA)

<b>ESTRUCTURA DE 2 PISOS</b>				
<b>MODOS</b>	<b>UX o UY</b>	<b>RZ</b>	<b>%</b>	<b>TIPO</b>
1	0.8223	0.0637	7.75 < 30%	TRASLACIONAL
2	0.8714	0.0028	0.32 < 30%	TRASLACIONAL
3	0.0653	0.8161	1249.77 > 30%	ROTACIONAL

Elaboración: Jairo Sevilla.

En el análisis de la estructura se puede concluir que los tres modos de vibración cumplen.

**Modos necesarios para acumular el 90% de Masa.**

Se debe considerar los modos que involucren la participación de la Masa modal de al menos el 90% de la masa total de la estructura según la NEC 2015.

Tabla 40: Acumulación de la Masa del 90% de la estructura de 2 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 - DETERMINISTA)

Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0%	82%
Modal	2	87%	82%
Modal	3	88%	89%
Modal	4	88%	98%
Modal	5	97%	98%
Modal	6	97%	100%
Modal	7	97%	100%
Modal	8	100%	100%
Modal	9	100%	100%
Modal	10	100%	100%
Modal	11	100%	100%
Modal	12	100%	100%

Fuente: Etabs 2016V16.2.1

**Deriva de Piso.**

Se debe comprobar que la estructura presente deformaciones inelásticas controlables.

Para las derivas de piso se utilizará 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. [1]

$$\Delta_{INELÁSTICA} \leq 2\%$$

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

Dónde:

- $\Delta_M$  = Deriva máxima inelástica
- R = Factor de reducción de resistencia.
- $\Delta_E$  = Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

Tabla 41: Derivas de piso más altas de la estructura de 2 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015)

TABLE: Story Drifts								
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X	Y	Z	$\Delta M$
			$\Delta E$		m	m	m	
Story3	ESPX Max	X	0.000972	9	12	8	7.8	0.58%
Story3	ESPY Max	X	0.000327	9	12	8	7.8	0.20%
Story2	ESPX Max	X	0.001708	19	0	-1	5.4	1.02%
Story2	ESPY Max	X	0.000944	19	0	-1	5.4	0.57%
Story1	ESPX Max	X	0.00159	7	12	0	2.7	0.95%
Story1	ESPY Max	X	0.000802	7	12	0	2.7	0.48%
Story3	ESPX Max	Y	0.000359	8	12	4.5	7.8	0.22%
Story3	ESPY Max	Y	0.001052	8	12	4.5	7.8	0.63%
Story2	ESPX Max	Y	0.000821	17	12.8	12	5.4	0.49%
Story2	ESPY Max	Y	0.002287	17	12.8	12	5.4	1.37%
Story1	ESPX Max	Y	0.000769	10	12	12	2.7	0.46%
Story1	ESPY Max	Y	0.002175	10	12	12	2.7	1.31%

Fuente: Etabs 2016V16.2.1

En la tabla se muestra que las derivas de piso inelásticas para la estructura si se encuentran dentro del rango establecido por la NEC, es decir menor al 2%.

Tabla 42: Derivas de piso más altas de la estructura de 2 pisos del programa etabs (para espectro DETERMINISTA)

TABLE: Story Drifts								
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X	Y	Z	ΔM
			ΔE		m	m	m	
Story3	ESPX Max	X	0.001116	9	12	8	7.8	0.67%
Story3	ESPY Max	X	0.000373	9	12	8	7.8	0.22%
Story2	ESPX Max	X	0.001966	19	0	-1	5.4	1.18%
Story2	ESPY Max	X	0.001055	19	0	-1	5.4	0.63%
Story1	ESPX Max	X	0.001831	7	12	0	2.7	1.10%
Story1	ESPY Max	X	0.0009	7	12	0	2.7	0.54%
Story3	ESPX Max	Y	0.000396	8	12	4.5	7.8	0.24%
Story3	ESPY Max	Y	0.001151	8	12	4.5	7.8	0.69%
Story2	ESPX Max	Y	0.000903	17	12.8	12	5.4	0.54%
Story2	ESPY Max	Y	0.00248	17	12.8	12	5.4	1.49%
Story1	ESPX Max	Y	0.000844	9	12	8	2.7	0.51%
Story1	ESPY Max	Y	0.002358	10	12	12	2.7	1.41%

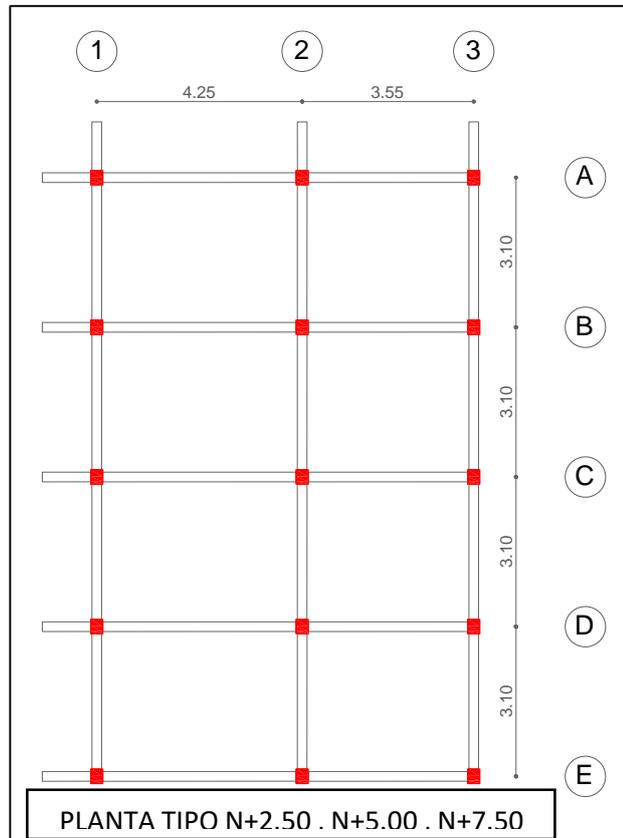
Fuente: Etabs 2016V16.2.1

Existe una variación de las derivas del espectro determinista con el de la NEC 2015, esto indica que la estructura se ve afectada por el ingreso de cada espectro.

### 3.1.9.2 Evaluación de la estructura de 3 pisos.

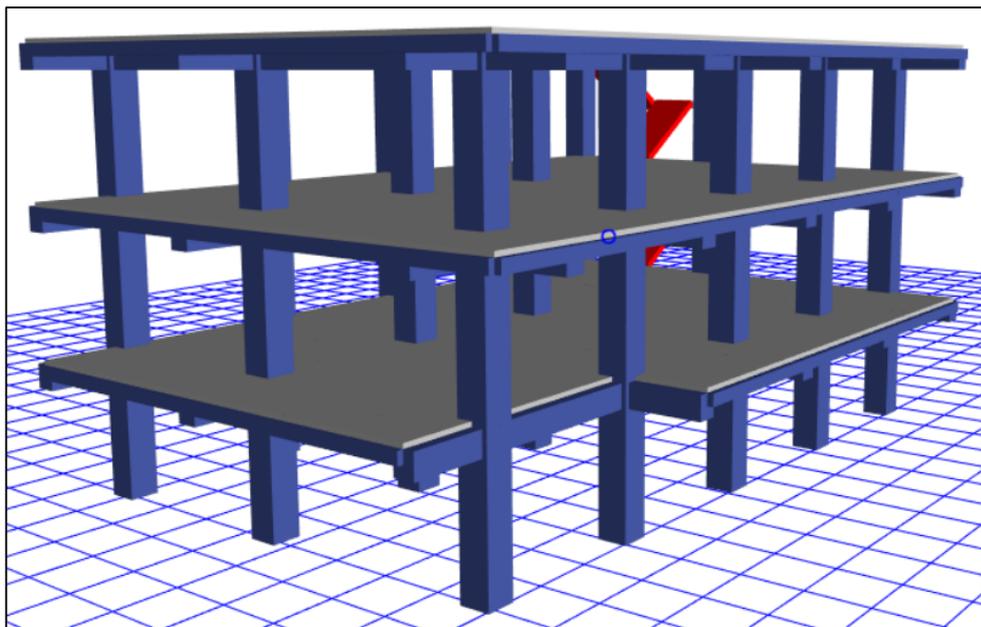
A continuación, se muestra la vista en planta de las estructuras en el área de estudio.

Figura 42: Vista en planta de la estructura de 3 pisos.



Elaboración: Jairo Sevilla.

Figura 43: Vista modelada de la estructura.



Fuente: Etabs 2016V16.2.1

A continuación, se muestra las secciones de los elementos estructurales en cada una de las estructuras tipo en el área de estudio:

Tabla 43: Secciones y propiedades de la estructura de 3 pisos

<b>ESTRUCTURA TIPO</b>	<b>DIMENSIÓN</b>
RESISTENCIA DEL HORMIGÓN	$f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
LÍMITE DE FLUENCIA DEL ACERO	$F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
LOSA	20 cm
ALTURA	7.50
COEFICIENTE DE POISSON	0.20
MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN	$E_c = 13100 * (f_c)^{1/2}$

Elaboración: Jairo Sevilla.

### Cortante Basal

Se procede a calcular el cortante basal con la siguiente ecuación que nos da la norma ecuatoriana:

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

### Donde:

- V= Coeficiente sísmico.
- I= Factor de importancia.
- Sa=Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g).
- R= Factor de reducción de resistencia sísmica.
- $\phi_P$ = Coeficiente de configuración en planta.
- $\phi_E$ = Coeficiente de configuración en elevación.

Tabla 44: Coeficientes obtenidos para el cálculo del coeficiente de los espectros elásticos para la estructura de 3 pisos

ESTRUCTURA TIPO	$\phi_P$	$\phi_E$	I	R
ESTRUCTURA DE 3 PISOS	0.9	1	1	8

Elaboración: Jairo Sevilla.

## Comportamiento estructural.

Se procede a modelar las estructuras introduciendo el espectro de la NEC-15 y el espectro determinístico haciendo una comparación con los resultados obtenidos con los dos para dar a conocer el comportamiento del espectro determinístico con respecto al de la NEC-15.

### Datos para estructura de 3 pisos

A continuación, se presenta los datos utilizados y calculados para la estructura de 3 pisos.

Tabla 45: Datos para la estructura de 3 pisos

<b>DATOS PARA V</b>					
<b>Z (g)</b>	0.4				
<b>I</b>	1				
<b>R</b>	8				
<b><math>\Phi_p</math></b>	0.9				
<b><math>\Phi_e</math></b>	1				
<b>C<sub>t</sub></b>	0.055				
<b><math>\alpha</math></b>	0.9				
<b>h<sub>n</sub> (m)</b>	7.7				
<b><math>\eta</math></b>	2.48				
<b>F<sub>a</sub></b>	1.2				
<b>F<sub>d</sub></b>	1.19				
<b>F<sub>s</sub></b>	1.28				
<b>r</b>	1				
<b>T<sub>c</sub></b>	0.6981				
<b>T<sub>o</sub></b>	0.1269				
<b>T</b>	0.3453	<b>T<sub>max</sub> (1.3T)</b>	0.449	<b>T<sub>modal</sub> (s)</b>	0.358
<b>S<sub>a</sub> (T)</b>	1.1904	<b>S<sub>a</sub> (T<sub>max</sub>)</b>	1.1904	<b>S<sub>a</sub> (T<sub>modal</sub>)</b>	1.1904
<b>V</b>	<b>0.1653</b>	<b>V (T<sub>max</sub>)</b>	<b>0.1653</b>	<b>V (T<sub>modal</sub>)</b>	<b>0.1653</b>
<b>k</b>	1.000	<b>k(max)</b>	1.000	<b>k(modal)</b>	1.000

Elaboración: Jairo Sevilla.

Tabla 46: Datos obtenidos del programa etabs de la estructura de 3 pisos

<b>TABLE: Modal Participating Mass Ratios</b>							
<b>Case</b>	<b>Mode</b>	<b>Period</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>Sum UX</b>	<b>Sum UY</b>	<b>RZ</b>
		sec					
Modal	1	0.358	0.6536	0.0568	0.6536	0.0568	0.0713
Modal	2	0.315	0.0094	0.6156	0.663	0.6724	0.1749
Modal	3	0.261	0.1072	0.1149	0.7702	0.7873	0.5208
Modal	4	0.104	0.0657	0.0082	0.8359	0.7955	0.0055
Modal	5	0.097	0.0478	0.0021	0.8837	0.7976	0.0048
Modal	6	0.091	1.42E-05	0.038	0.8837	0.8356	0.0018
Modal	7	0.086	0.0118	0.0674	0.8955	0.903	0.0197
Modal	8	0.082	0.0084	0.0176	0.9039	0.9206	0.0013
Modal	9	0.066	0.012	0.0225	0.9159	0.9431	0.0701
Modal	10	0.063	0.0354	0.0039	0.9513	0.9471	0.0118
Modal	11	0.041	0.026	0.0302	0.9773	0.9773	0.0001
Modal	12	0.039	0.0213	0.0219	0.9986	0.9992	0.0001

Fuente: Etabs 2016V16.2.1

### Periodo de vibración.

Por medio de un análisis modal, las características de deformación de los elementos resistentes y utilizando las propiedades estructurales, obtenemos el periodo fundamental T2 en el programa ETABS.

Tabla 47: Valores de To, Tc, T1 y T2 de la estructura de 3 pisos

<b>Estructura Tipo</b>	<b>To</b>	<b>Tc</b>	<b>T1</b>	<b>T2 (programa Etabs)</b>
Estructura 3 pisos	0.1269	0.6981	0.3453	0.358

Elaboración: Jairo Sevilla.

El valor de T2 calculado en el programa Etabs no debe ser mayor que el 30% al valor de T1 calculado.

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

$$0.3453 \leq 0.358 \leq 0.449$$

**El valor de T2 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.

**Modos de vibración de la estructura.**

Los dos primeros modos de vibración deben ser traslacionales, es decir menor que el 30%, y el tercer modo debe ser rotacional, es decir mayor al 30%.

Tabla 48: Participación Modal de Masa de estructura de 3 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 – DETERMINISTA)

<b>TABLE: Modal Participating Mass Ratios</b>				
<b>Case</b>	<b>Mode</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>RZ</b>
Modal	1	0.6536	0.0568	0.0713
Modal	2	0.0094	0.6156	0.1749
Modal	3	0.1072	0.1149	0.5208
Modal	4	0.0657	0.0082	0.0055
Modal	5	0.0478	0.0021	0.0048
Modal	6	1.42E-05	0.038	0.0018
Modal	7	0.0118	0.0674	0.0197
Modal	8	0.0084	0.0176	0.0013
Modal	9	0.012	0.0225	0.0701
Modal	10	0.0354	0.0039	0.0118
Modal	11	0.026	0.0302	0.0001
Modal	12	0.0213	0.0219	0.0001

Fuente: Etabs 2016V16.2.1

Se divide el valor de RZ para el valor mayor entre UX y UY para obtener el porcentaje y el tipo de rotación.

Tabla 49: Participación Modal de Masa de estructura de 3 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 - DETERMINISTA)

ESTRUCTURA DE 2 PISOS				
MODOS	UX o UY	RZ	%	TIPO
1	0.6536	0.0713	10.91 < 30%	TRASLACIONAL
2	0.6156	0.1749	28.41 < 30%	TRASLACIONAL
3	0.1149	0.5208	453.26 > 30%	ROTACIONAL

Fuente: Etabs 2016V16.2.1

En el análisis de la estructura se puede concluir que los tres modos de vibración cumplen.

**Modos necesarios para acumular el 90% de Masa.**

Se debe considerar los modos que involucren la participación de la Masa modal de al menos el 90% de la masa total de la estructura según la NEC 2015.

Tabla 50: Acumulación de la Masa del 90% de la estructura de 3 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 - DETERMINISTA)

Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	65%	6%
Modal	2	66%	67%
Modal	3	77%	79%
Modal	4	84%	80%
Modal	5	88%	80%
Modal	6	88%	84%
Modal	7	90%	90%
Modal	8	90%	92%
Modal	9	92%	94%
Modal	10	95%	95%
Modal	11	98%	98%
Modal	12	100%	100%

Fuente: Etabs 2016V16.2.1

## Deriva de Piso.

Se debe comprobar que la estructura presente deformaciones inelásticas controlables.

Para las derivas de piso se utilizará 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. [1]

$$\Delta_{INELÁSTICA} \leq 2\%$$

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

Dónde:

- $\Delta_M$  = Deriva máxima inelástica
- R = Factor de reducción de resistencia.
- $\Delta_E$  = Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

Tabla 51: Derivas de piso más altas de la estructura de 3 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015)

TABLE: Story Drifts								
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X	Y	Z	$\Delta M$
			$\Delta E$					
Story3	ESPX Max	X	0.001396	233	-1.5	13.9	7.5	0.84%
Story3	ESPY Max	X	0.000738	233	-1.5	13.9	7.5	0.44%
Story2	ESPX Max	X	0.001564	24	7.8	13.9	5	0.94%
Story2	ESPY Max	X	0.000802	24	7.8	13.9	5	0.48%
Story1	ESPX Max	X	0.000827	4	7.8	12.4	2.5	0.50%

TABLE: Story Drifts								
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X	Y	Z	$\Delta M$
			$\Delta E$		m	m	m	
Story1	ESPY Max	X	0.000403	4	7.8	12.4	2.5	0.24%
Story3	ESPX Max	Y	0.000556	20	7.8	0	7.5	0.33%
Story3	ESPY Max	Y	0.000934	233	-1.5	13.9	7.5	0.56%
Story2	ESPX Max	Y	0.000641	30	7.8	1	5	0.38%
Story2	ESPY Max	Y	0.001086	9	-1.5	0	5	0.65%
Story1	ESPX Max	Y	0.000366	30	7.8	1	2.5	0.22%
Story1	ESPY Max	Y	0.000579	26	0	8.3	2.5	0.35%

Fuente: Etabs 2016V16.2.1

En la tabla se muestra que las derivas de piso inelásticas para la estructura si se encuentran dentro del rango establecido por la NEC, es decir menor al 2%.

Tabla 52: Derivas de piso más altas de la estructura de 3 pisos del programa etabs (para espectro DETERMINISTA)

TABLE: Story Drifts								
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X	Y	Z	$\Delta M$
			$\Delta E$		m	m	m	
Story3	ESPX Max	X	0.001634	233	-1.5	13.9	7.5	0.98%
Story3	ESPY Max	X	0.000909	233	-1.5	13.9	7.5	0.55%
Story2	ESPX Max	X	0.001833	24	7.8	13.9	5	1.10%
Story2	ESPY Max	X	0.000987	24	7.8	13.9	5	0.59%
Story1	ESPX Max	X	0.000968	4	7.8	12.4	2.5	0.58%
Story1	ESPY Max	X	0.000492	4	7.8	12.4	2.5	0.30%
Story3	ESPX Max	Y	0.00066	30	7.8	1	7.5	0.40%
Story3	ESPY Max	Y	0.001196	233	-1.5	13.9	7.5	0.72%
Story2	ESPX Max	Y	0.00076	30	7.8	1	5	0.46%
Story2	ESPY Max	Y	0.001395	9	-1.5	0	5	0.84%
Story1	ESPX Max	Y	0.000433	30	7.8	1	2.5	0.26%
Story1	ESPY Max	Y	0.000742	26	0	8.3	2.5	0.45%

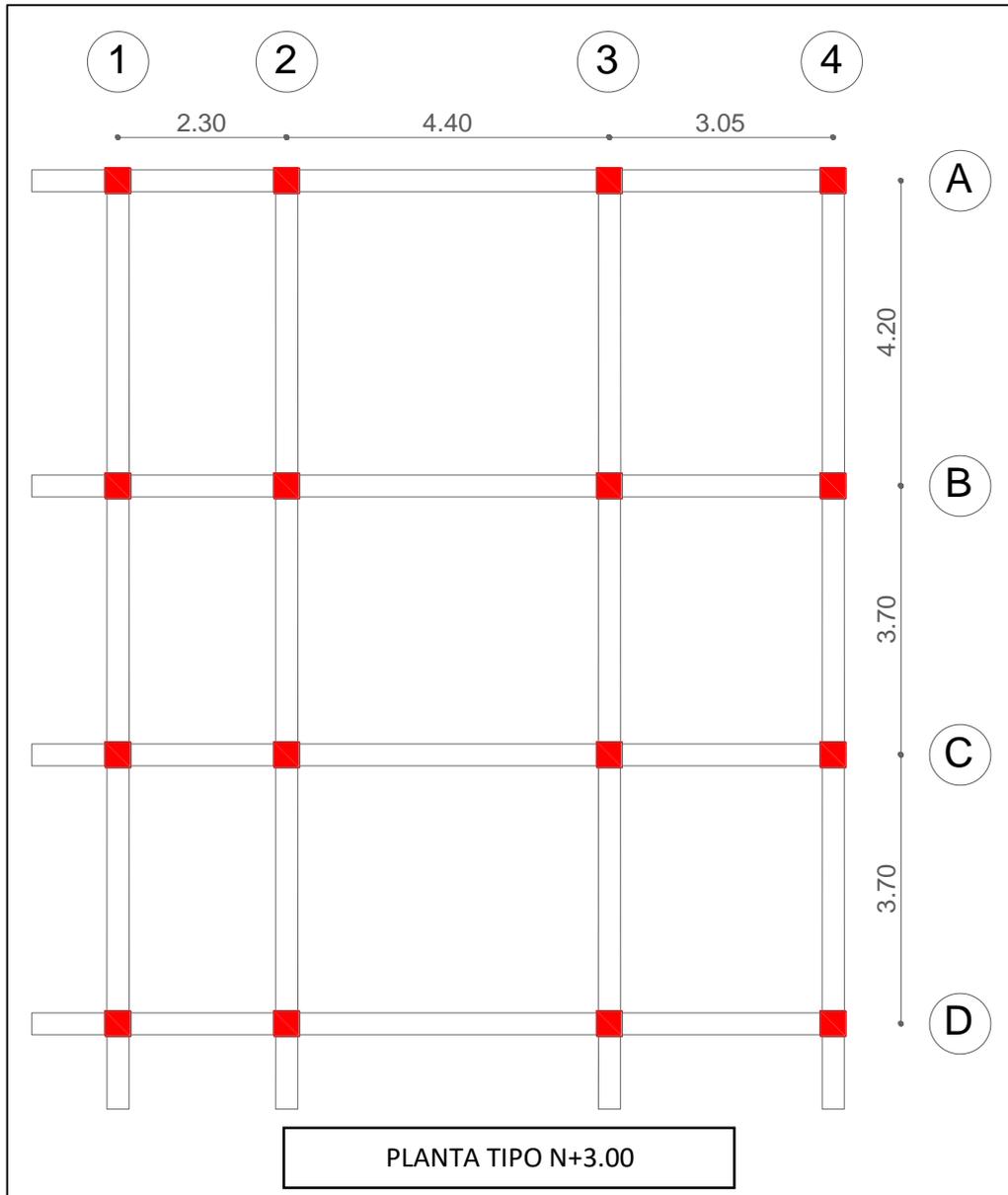
Fuente: Etabs 2016V16.2.1

Existe una variación de las derivas del espectro determinista con el de la NEC 2015, esto indica que la estructura se ve afectada por el ingreso de cada espectro.

### 3.1.9.3 Evaluación de la estructura de 4 pisos.

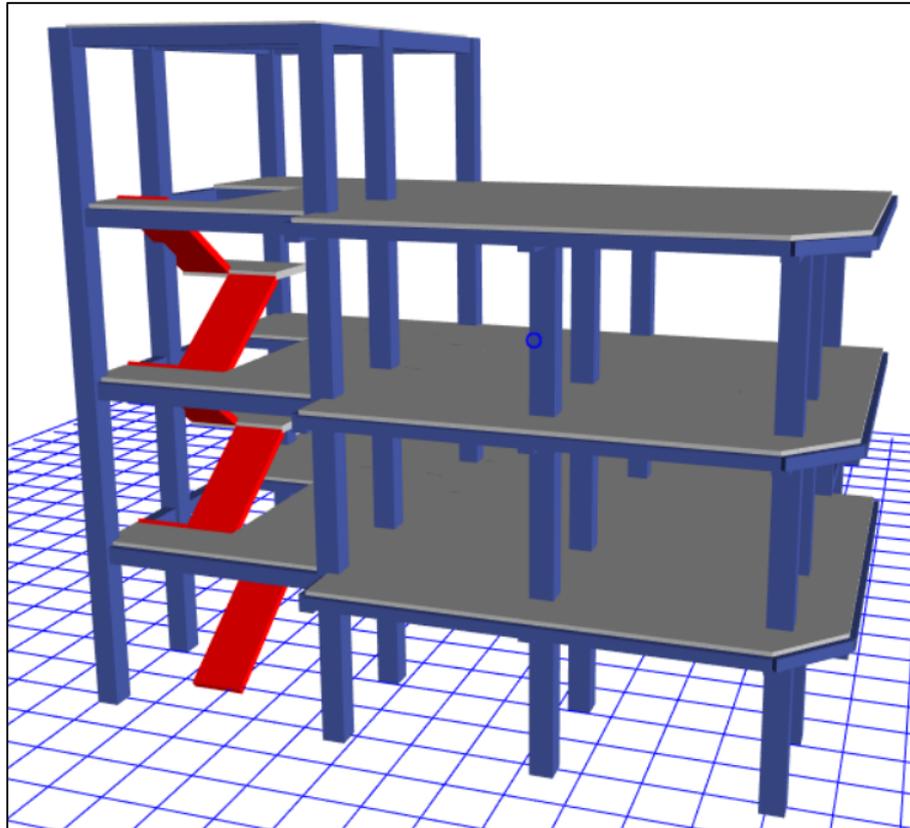
A continuación, se muestra la vista en planta de las estructuras en el área de estudio.

Figura 44: Vista en planta de la estructura de 4 pisos.



Elaboración: Jairo Sevilla.

Figura 45: Vista modelada de la estructura.



Fuente: Etabs 2016V16.2.1

A continuación, se muestra las secciones de los elementos estructurales en cada una de las estructuras tipo en el área de estudio:

Tabla 53: Secciones y propiedades de la estructura de 4 pisos

<b>ESTRUCTURA TIPO</b>	<b>DIMENSIÓN</b>
RESISTENCIA DEL HORMIGÓN	$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
LÍMITE DE FLUENCIA DEL ACERO	$Fy = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
LOSA	20 cm
ALTURA	11.95
COEFICIENTE DE POISSON	0.20
MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN	$Ec = 13100 * (f'c)^{1/2}$

Elaboración: Jairo Sevilla.

## Cortante Basal

Se procede a calcular el cortante basal con la siguiente ecuación que nos da la norma ecuatoriana:

$$V = \frac{I * Sa}{R * \phi_P * \phi_E}$$

### Donde:

- V= Coeficiente sísmico.
- I= Factor de importancia.
- Sa=Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g).
- R= Factor de reducción de resistencia sísmica.
- $\phi_P$ = Coeficiente de configuración en planta.
- $\phi_E$ = Coeficiente de configuración en elevación.

Tabla 54: Coeficientes obtenidos para el cálculo del coeficiente de los espectros elásticos para la estructura de 4 pisos

ESTRUCTURA TIPO	$\phi_P$	$\phi_E$	I	R
ESTRUCTURA DE 4 PISOS	0.9	0.9	1	8

Elaboración: Jairo Sevilla.

## Comportamiento estructural.

Se procede a modelar las estructuras introduciendo el espectro de la NEC-15 y el espectro determinístico haciendo una comparación con los resultados obtenidos con los dos para dar a conocer el comportamiento del espectro determinístico con respecto al de la NEC-15.

### Datos para estructura de 4 pisos

A continuación, se presenta los datos utilizados y calculados para la estructura de 4 pisos.

Tabla 55: Datos para la estructura de 4 pisos

<b>DATOS PARA V</b>					
<b>Z (g)</b>	0.4				
<b>I</b>	1				
<b>R</b>	8				
<b><math>\Phi_p</math></b>	0.9				
<b><math>\Phi_e</math></b>	0.9				
<b>Ct</b>	0.055				
<b><math>\alpha</math></b>	0.9				
<b>hn (m)</b>	11.95				
<b><math>\eta</math></b>	2.48				
<b>Fa</b>	1.2				
<b>Fd</b>	1.19				
<b>Fs</b>	1.28				
<b>r</b>	1				
<b>Tc</b>	0.6981				
<b>To</b>	0.1269				
<b>T</b>	0.5129	<b>Tmax (1.3T)</b>	0.667	<b>Tmodal (s)</b>	0.634
<b>Sa (T)</b>	1.1904	<b>Sa (Tmax)</b>	1.1904	<b>Sa (Tmodal)</b>	1.1904
<b>V</b>	<b>0.1837</b>	<b>V (Tmax)</b>	<b>0.1837</b>	<b>V (Tmodal)</b>	<b>0.1837</b>
<b>k</b>	1.006	<b>k(max)</b>	1.083	<b>k(modal)</b>	1.067

Elaboración: Jairo Sevilla.

Tabla 56: Datos obtenidos del programa etabs de la estructura de 4 pisos

<b>TABLE: Modal Participating Mass Ratios</b>							
<b>Case</b>	<b>Mode</b>	<b>Period</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>Sum UX</b>	<b>Sum UY</b>	<b>RZ</b>
		sec					
Modal	1	0.634	0.0002	0.7923	0.0002	0.7923	0.0157
Modal	2	0.538	0.744	0.0022	0.7443	0.7945	0.0716
Modal	3	0.514	0.0495	0.0149	0.7937	0.8094	0.7008
Modal	4	0.223	0.0005	0.1039	0.7942	0.9133	0.0016
Modal	5	0.187	0.0454	0.003	0.8396	0.9163	0.0259

<b>TABLE: Modal Participating Mass Ratios</b>							
<b>Case</b>	<b>Mode</b>	<b>Period</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>Sum UX</b>	<b>Sum UY</b>	<b>RZ</b>
		sec					
Modal	6	0.14	0.0921	0.0041	0.9317	0.9204	0.0108
Modal	7	0.13	0.0068	0.0464	0.9385	0.9668	0.014
Modal	8	0.119	0.0018	0.0083	0.9403	0.9751	0.064
Modal	9	0.087	0.0165	0.0012	0.9568	0.9763	0.0157
Modal	10	0.083	0.0009	0.0234	0.9577	0.9998	0.0031
Modal	11	0.058	0.0266	3.14E-05	0.9843	0.9998	0.0225
Modal	12	0.035	0.0147	1.54E-05	0.999	0.9998	0.0368

Fuente: Etabs 2016V16.2.1

### Periodo de vibración.

Por medio de un análisis modal, las características de deformación de los elementos resistentes y utilizando las propiedades estructurales, obtenemos el periodo fundamental T2 en el programa ETABS.

Tabla 57: Valores de To, Tc, T1 y T2 de la estructura de 4 pisos

<b>Estructura Tipo</b>	<b>To</b>	<b>Tc</b>	<b>T1</b>	<b>T2 (programa Etabs)</b>
Estructura 4 pisos	0.1269	0.6981	0.5129	0.634

Elaboración: Jairo Sevilla.

El valor de T2 calculado en el programa Etabs no debe ser mayor que el 30% al valor de T1 calculado.

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

$$0.5129 \leq 0.634 \leq 0.667$$

**El valor de T2 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.

**Modos de vibración de la estructura.**

Los dos primeros modos de vibración deben ser traslacionales, es decir menor que el 30%, y el tercer modo debe ser rotacional, es decir mayor al 30%.

Tabla 58: Participación Modal de Masa de estructura de 4 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 – DETERMINISTA)

<b>TABLE: Modal Participating Mass Ratios</b>				
<b>Case</b>	<b>Mode</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>RZ</b>
Modal	1	0.0002	0.7923	0.0157
Modal	2	0.744	0.0022	0.0716
Modal	3	0.0495	0.0149	0.7008
Modal	4	0.0005	0.1039	0.0016
Modal	5	0.0454	0.003	0.0259
Modal	6	0.0921	0.0041	0.0108
Modal	7	0.0068	0.0464	0.014
Modal	8	0.0018	0.0083	0.064
Modal	9	0.0165	0.0012	0.0157
Modal	10	0.0009	0.0234	0.0031
Modal	11	0.0266	3.14E-05	0.0225
Modal	12	0.0147	1.54E-05	0.0368

Fuente: Etabs 2016V16.2.1

Se divide el valor de RZ para el valor mayor entre UX y UY para obtener el porcentaje y el tipo de rotación.

Tabla 59: Participación Modal de Masa de estructura de 4 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 - DETERMINISTA)

ESTRUCTURA DE 2 PISOS				
MODOS	UX o UY	RZ	%	TIPO
1	0.7923	0.0157	1.98 < 30%	TRASLACIONAL
2	0.744	0.0716	9.62 < 30%	TRASLACIONAL
3	0.0495	0.7008	1415.76 > 30%	ROTACIONAL

Elaboración: Jairo Sevilla.

En el análisis de la estructura se puede concluir que los tres modos de vibración cumplen.

**Modos necesarios para acumular el 90% de Masa.**

Se debe considerar los modos que involucren la participación de la Masa modal de al menos el 90% de la masa total de la estructura según la NEC 2015.

Tabla 60: Acumulación de la Masa del 90% de la estructura de 4 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015 - DETERMINISTA)

Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0%	79%
Modal	2	74%	79%
Modal	3	79%	81%
Modal	4	79%	91%
Modal	5	84%	92%
Modal	6	93%	92%
Modal	7	94%	97%
Modal	8	94%	98%
Modal	9	96%	98%
Modal	10	96%	100%
Modal	11	98%	100%
Modal	12	100%	100%

Fuente: Etabs 2016V16.2.1

## Deriva de Piso.

Se debe comprobar que la estructura presente deformaciones inelásticas controlables.

Para las derivas de piso se utilizará 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. [1]

$$\Delta_{INELÁSTICA} \leq 2\%$$

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

Dónde:

- $\Delta_M$  = Deriva máxima inelástica
- R = Factor de reducción de resistencia.
- $\Delta_E$  = Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

Tabla 61: Derivas de piso más altas de la estructura de 4 pisos del programa etabs (para espectro NEC 2015)

TABLE: Story Drifts								
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X	Y	Z	$\Delta M$
			$\Delta E$		m	m	m	
Story4	ESPX Max	X	0.000314	17	5.7	11.9	11.95	0.19%
Story4	ESPY Max	X	0.000128	3	0	7.4	11.95	0.08%
Story3	ESPX Max	X	0.000341	23	0	-1	9	0.20%
Story3	ESPY Max	X	0.000151	23	0	-1	9	0.09%
Story2	ESPX Max	X	0.000435	23	0	-1	6	0.26%
Story2	ESPY Max	X	0.000172	23	0	-1	6	0.10%

TABLE: Story Drifts								
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X	Y	Z	$\Delta M$
			$\Delta E$		m	m	m	
Story1	ESPX Max	X	0.00033	11	6.7	0	3	0.20%
Story1	ESPY Max	X	0.000125	11	6.7	0	3	0.08%
Story4	ESPX Max	Y	0.000268	7	6.7	7.4	11.95	0.16%
Story4	ESPY Max	Y	0.000476	7	6.7	7.4	11.95	0.29%
Story3	ESPX Max	Y	0.00013	21	6.7	-1	9	0.08%
Story3	ESPY Max	Y	0.000349	21	6.7	-1	9	0.21%
Story2	ESPX Max	Y	0.000145	21	6.7	-1	6	0.09%
Story2	ESPY Max	Y	0.000388	21	6.7	-1	6	0.23%
Story1	ESPX Max	Y	0.000111	11	6.7	0	3	0.07%
Story1	ESPY Max	Y	0.000284	11	6.7	0	3	0.17%

Fuente: Etabs 2016V16.2.1

En la tabla se muestra que las derivas de piso inelásticas para la estructura si se encuentran dentro del rango establecido por la NEC, es decir menor al 2%.

Tabla 62: Derivas de piso más altas de la estructura de 4 pisos del programa etabs (para espectro DETERMINISTA)

TABLE: Story Drifts								
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X	Y	Z	$\Delta M$
			$\Delta E$		m	m	m	
Story4	ESPX Max	X	0.001589	17	5.7	11.9	11.95	0.95%
Story4	ESPY Max	X	0.000654	17	5.7	11.9	11.95	0.39%
Story3	ESPX Max	X	0.001841	5	2.3	11.9	9	1.10%
Story3	ESPY Max	X	0.000762	23	0	-1	9	0.46%
Story2	ESPX Max	X	0.002567	23	0	-1	6	1.54%
Story2	ESPY Max	X	0.001061	23	0	-1	6	0.64%
Story1	ESPX Max	X	0.001839	11	6.7	0	3	1.10%
Story1	ESPY Max	X	0.00071	11	6.7	0	3	0.43%
Story4	ESPX Max	Y	0.000752	6	6.7	11.9	11.95	0.45%
Story4	ESPY Max	Y	0.001914	7	6.7	7.4	11.95	1.15%
Story3	ESPX Max	Y	0.000748	21	6.7	-1	9	0.45%
Story3	ESPY Max	Y	0.00215	21	6.7	-1	9	1.29%
Story2	ESPX Max	Y	0.000938	21	6.7	-1	6	0.56%
Story2	ESPY Max	Y	0.002693	21	6.7	-1	6	1.62%
Story1	ESPX Max	Y	0.000663	11	6.7	0	3	0.40%
Story1	ESPY Max	Y	0.001785	11	6.7	0	3	1.07%

Fuente: Etabs 2016V16.2.1

Existe una variación de las derivas del espectro determinista con el de la NEC 2015, esto indica que la estructura se ve afectada por el ingreso de cada espectro.

### **3.2 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

De acuerdo a la hipótesis planteada anteriormente en esta investigación “Determinación del peligro sísmico determinista para las estructuras del sector Pishilata ubicado entre las calles Troncal de la Sierra, Real Audiencia de Quito, Horacio e Hipócrates de la ciudad de Ambato” se determinó que la envolvente de los espectros de aceleración determinista calculados mediante las ecuaciones de atenuación supera al espectro de la NEC 2015, durante el periodo de 0.1seg a 0.54seg, con una aceleración máxima de 1.60g que representa una variación del 25.63%.

Las edificaciones de hasta 5 pisos tienen un nivel de amenaza significativo, ya que las aceleraciones de la NEC 2015 son menores a las aceleraciones del espectro determinista.

Por lo tanto, las edificaciones que se están analizando se ven afectadas en el comportamiento estructural.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- En el área de estudio tenemos un suelo de perfil tipo D, con una velocidad media de onda cortante de 298.08 m/s.
- El área de estudio está comprendida por estructuras de 1 a 4 pisos de altura.
- Las fallas activas que se considera son Ambato con magnitud de 6.48 y distancia 2.03km, Huachi con magnitud de 6.32 y distancia 3.53km, Totoras con magnitud de 6.55 y distancia 1.82km, Samanga con magnitud de 6.85 y distancia 9.00km, y la falla de subducción con magnitud de 8.89 y distancia 295.1km, siendo la falla Totoras la de mayor peligro por encontrarse más cercana al área de estudio.
- Las aceleraciones máximas en el espectro determinista con relación al NEC 2015 se producen en el periodo de 0.2seg a 0.3seg, y con esto nos indica que las estructuras más propensas a sufrir daños en sus elementos estructurales son las que tienen una altura entre 2 y 3 pisos.
- Durante un periodo de 0.1seg a 0.54seg, el espectro determinista supera al espectro de la NEC 2105, con una aceleración máxima de 1.60g que representa una variación del 25.63% con respecto al NEC 2015. Con esto se determina que este espectro afecta a las estructuras de baja altura.

- La aceleración de la NEC 2015 está por debajo de lo real y se espera una aceleración mayor como respuesta de las estructuras del sitio, ya que se obtuvo un valor de aceleración máxima en roca (PGA) de 0.48g para el espectro de la NEC 2015 y de 0.68g para el espectro de determinista.
- La estructura tipo de 2 pisos es una estructura estable si se evalúa con el espectro de la NEC 2015, sin embargo, al evaluarla con el espectro determinista, sus derivas de piso aumentan su porcentaje como se puede observar en la tabla 41 (espectro NEC 2015) y tabla 42 (espectro DETERMINISTA)
- La estructura tipo de 3 pisos es una estructura estable si se evalúa con el espectro de la NEC 2015, sin embargo, al evaluarla con el espectro determinista, sus derivas de piso aumentan su porcentaje como se puede observar en la tabla 51 (espectro NEC 2015) y tabla 52 (espectro DETERMINISTA)
- La estructura tipo de 4 pisos es una estructura estable si se evalúa con el espectro de la NEC 2015, sin embargo, al evaluarla con el espectro determinista, sus derivas de piso aumentan su porcentaje como se puede observar en la tabla 61 (espectro NEC 2015) y tabla 62 (espectro DETERMINISTA)

## **4.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda para las estructuras nuevas que se construyan en el lugar de estudio utilizar un espectro determinista, y verificar con el de la NEC 2015.

- Para las estructuras que ya existen se aconseja ejecutar la evaluación de comportamiento estructural en base al espectro determinista obtenido.
- Se ve necesario que la ciudad de Ambato cuente con un mapa de zonificación sísmica para identificar las diversas zonas de alto peligro sísmico y así evitar desastres futuros de consideración.
- Para obtener mejores resultados, se debería tener una mejor caracterización de las fallas tectónicas en la ciudad de Ambato, y las ecuaciones de atenuación se deben seguir actualizando para la obtención de los espectros.

## C. MATERIALES DE REFERENCIA

### 1. BIBLIOGRAFÍA

[1] Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015

[2] Fabricio Paúl Cobos Torres. “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CAMPUS HUACHI” Ambato, 2017.

[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: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiri7ac8eDNAhUIFR4KHcfMDU0QFggvMAc&url=http%3A%2F%2Fbibdigital.epn.edu.ec%2Fbitstream%2F15000%2F11856%2F1%2FCD-6563.pdf&usg=AFQjCNHtomV5lx5RKzGy04bwTFpPWJWLg&bvm=bv.126130881,d.dmo>

[4] A. Giuliano. (2017). Nociones sobre Sismología e Ingeniería Sismorresistente. Instituto Nacional de Prevención Sísmica. En línea. Disponible: [http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Manual\\_de\\_Preencion\\_Sismica.pdf](http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Manual_de_Preencion_Sismica.pdf)

[5] Chaguay, L. (2011). Riesgo sísmico y riesgo estructural de la zona el tablón. En línea. Disponible: [http://ecuadorgoldproduction.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=61&Itemid=69](http://ecuadorgoldproduction.com/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=69)

[6] 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>

[7] observatorio-ambato.blogspot.com. (2010). ¿Qué impacto de vulnerabilidad sísmica tiene Ambato? En línea. Disponible: [http://observatorio-ambato.blogspot.com/2010/03/blog-post\\_18.html](http://observatorio-ambato.blogspot.com/2010/03/blog-post_18.html)

[8] Alva, L. (2005). Del Instante de la Creación a la Formación Y Estructura de la Tierra. México: UNAM.

[9] Servicio Geológico Mexicano (2017) Riesgos geológicos, Tectónica de placas. En línea. Disponible: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Tectonica-de-placas.html>

[10] Gass, P. &. (1980). Introducción a las ciencias de la tierra. España: Reverte.

[11] Ciencias Nacionales. En línea. Disponible: <https://cienciasnacionales.com/2016/10/01/sismicidad-y-vulcanismo/>

[12] Módulos Universitarios en ciencia del Desarrollo Sostenible (MOUDS). UNIVERSITAT ROVIRA i VIRGILI. Catalunya, España. En línea. Disponible: <http://www.desenvolupamentsostenible.org/es/-los-riesgos-naturales/3-concepto-y-tipo-de-riesgo/3-3-el-riesgo-sismico/3-3-3-metodos-de-prediccion-y-prevencion.>

[13] V. Schmidt, Ecuaciones predictivas del movimiento del suelo para América Central, con datos de 1972 a 2010., 2014.

[14] J. Stewart, J. Douglas and M. Javanbarg, Selection of Ground Motion Prediction, Los Angeles.

[15] 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>

[16] 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>

[17] 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)

[18] 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>

[19] 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>

[20] Aguilar, Z. Análisis de Peligro Sísmico y Estimado del movimiento Sísmico de diseño. En línea. Disponible: <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/proy5.pdf>

[21] Vidal, F. Los Terremotos y sus Causas. En línea. Disponible: [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETAC1/\\$File/ETA-C1.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETAC1/$File/ETA-C1.pdf)

[22] Astronomía. Tierra y luna. En línea. Disponible: <http://www.astromia.com/tierraluna/fallas.htm>

[23] INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA – INPRES. En línea. Disponible: <http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>

[24] 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>

[25] Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. En línea. Disponible: <http://www.igepn.edu.ec/>

[26] 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>

[27] NTE INEN 0689. En línea. Disponible: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0689.1982.pdf>

[28] 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>

[29] Pérez, et al. (2012). Correlaciones Empíricas entre la velocidad de propagación de las ondas S ( $V_s$ ) y otros parámetros geotectónicos para los suelos de Madrid. En línea. Disponible: [file:///C:/Users/PERSONAL/Downloads/CorrelacioneseemplicasVs\\_aranzadi\\_2013%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/PERSONAL/Downloads/CorrelacioneseemplicasVs_aranzadi_2013%20(2).pdf)

[30] Crisafulli, F. Villafañe, 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>

[31] S. Kramer, Geotechnical Earthquake Engineering, 1996.

## 2. ANEXOS

### ANEXO A: FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1: Equipo para realizar el Ensayo de penetración estándar (SPT).



Fotografía 2: Realizando el Ensayo de penetración estándar (SPT).



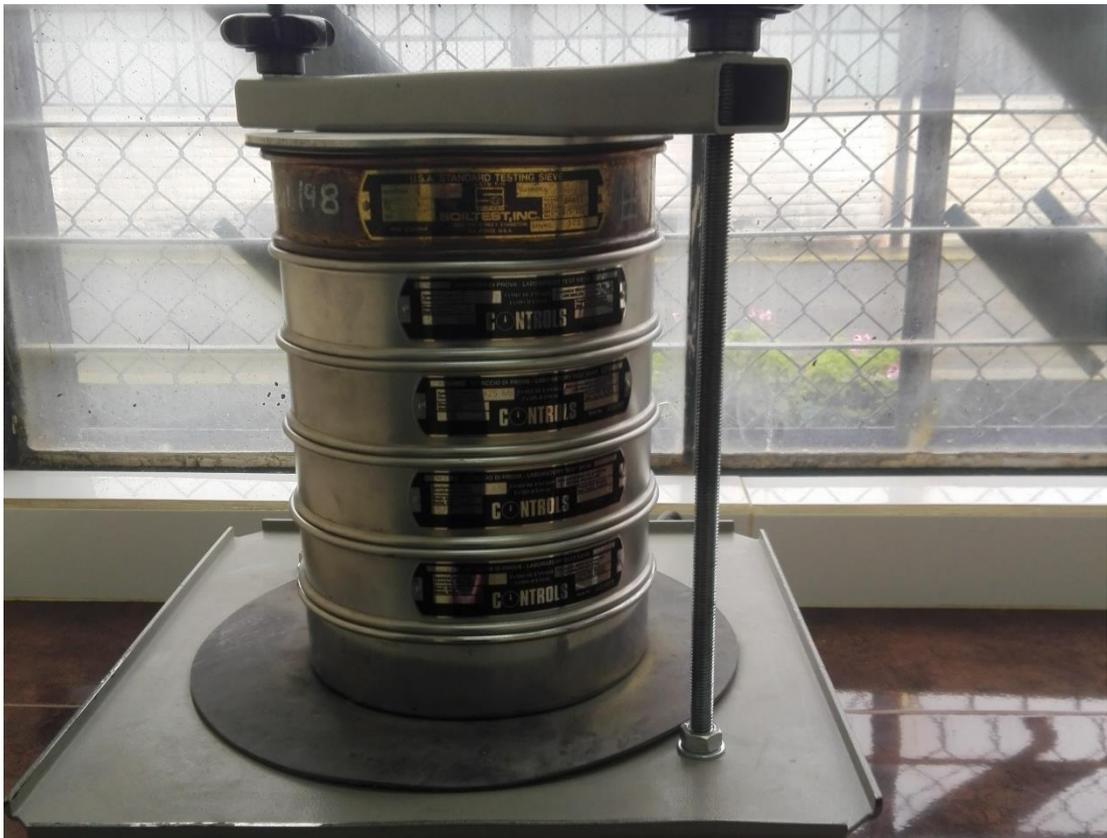
Fotografía 3: Muestra de suelo obtenida en situ.



Fotografía 4: Toma de muestra de suelo para analizar en el laboratorio.



Fotografía 5: Muestras de suelo en el horno para secado (Laboratorios FICM).



Fotografía 6: Tamices utilizados para determinar la granulometría (Laboratorios FICM).



Fotografía 7: Muestra tamizada (Laboratorios FICM).



Fotografía 8: Balanza utilizada (Laboratorios FICM).



Fotografía 9: Estructura de 2 pisos ubicada en el lugar de estudio.



Fotografía 10: Estructura de 3 pisos ubicada en el lugar de estudio.



Fotografía 11: Estructura de 4 pisos ubicada en el lugar de estudio.

**ANEXO B-1:** Coeficientes de amplificación del área de estudio dependiente del periodo. Modelo Boore y Atkinson (2008)

<b>PERIODO</b>	<b>b lin</b>	<b>b 1</b>	<b>b 2</b>
0.010	-0.360	-0.640	-0.14
0.020	-0.340	-0.630	-0.12
0.030	-0.330	-0.620	-0.11
0.050	-0.290	-0.640	-0.11
0.075	-0.230	-0.640	-0.11
0.10	-0.250	-0.600	-0.13
0.15	-0.280	-0.530	-0.18
0.20	-0.310	-0.520	-0.19
0.25	-0.390	-0.520	-0.16
0.30	-0.440	-0.520	-0.14
0.40	-0.500	-0.510	-0.10
0.50	-0.600	-0.500	-0.06
0.75	-0.690	-0.470	0.00
1.0	-0.700	-0.440	0.00
1.5	-0.720	-0.400	0.00
2.0	-0.730	-0.380	0.00
3.0	-0.740	-0.340	0.00
4.0	-0.750	-0.310	0.00
5.0	-0.750	-0.291	0.00
7.5	-0.692	-0.247	0.00
10.0	-0.650	-0.215	0.00

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 B-2:** Coeficientes de escala de distancia. Modelo Boore y Atkinson (2008)

<b>PERIODO</b>	<b>c 1</b>	<b>c 2</b>	<b>c 3</b>	<b>h</b>
0.010	-0.66220	0.12000	-0.01151	1.35
0.020	-0.66600	0.12280	-0.01151	1.35
0.030	-0.69010	0.12830	-0.01151	1.35
0.050	-0.71700	0.13170	-0.01151	1.35
0.075	-0.72050	0.12370	-0.01151	1.55
0.10	-0.70810	0.11170	-0.01151	1.68
0.15	-0.69610	0.09884	-0.01113	1.86
0.20	-0.58300	0.04273	-0.00952	1.98
0.25	-0.57260	0.02977	-0.00837	2.07
0.30	-0.55430	0.01955	-0.00750	2.14
0.40	-0.64430	0.04394	-0.00626	2.24
0.50	-0.69140	0.06080	-0.00540	2.32
0.75	-0.74080	0.07518	-0.00409	2.46
1.0	-0.81830	0.10270	-0.00334	2.54
1.5	-0.83030	0.09793	-0.00255	2.66
2.0	-0.82850	0.09432	-0.00217	2.73
3.0	-0.78440	0.07282	-0.00191	2.83
4.0	-0.68540	0.03758	-0.00191	2.89
5.0	-0.50960	-0.02391	-0.00191	2.93
7.5	-0.37240	-0.06568	-0.00191	3.00
10.0	-0.09824	-0.13800	-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.

**ANEXO B-3:** Coeficientes de escala de magnitud. Modelo Boore y Atkinson (2008)

<b>PERIODO</b>	<b>e1</b>	<b>e2</b>	<b>e3</b>	<b>e4</b>	<b>e5</b>	<b>e6</b>	<b>e7</b>	<b>Mh</b>
0.010	-0.52883	-0.49429	-0.74551	-0.49966	0.28897	-0.10019	0.00000	6.75
0.020	-0.52192	-0.48508	-0.73906	-0.48895	0.25144	-0.11006	0.00000	6.75
0.030	-0.45285	-0.41831	-0.66722	-0.42229	0.17976	-0.12858	0.00000	6.75
0.050	-0.28476	-0.25022	-0.48462	-0.26092	0.06369	-0.15752	0.00000	6.75
0.075	0.00767	0.04912	-0.20578	0.02706	0.01170	-0.17051	0.00000	6.75
0.10	0.20109	0.23102	0.03058	0.22193	0.04697	-0.15948	0.00000	6.75
0.15	0.46128	0.48661	0.30185	0.49328	0.17990	-0.14539	0.00000	6.75
0.20	0.57180	0.59253	0.40860	0.61472	0.52729	-0.12964	0.00102	6.75
0.25	0.51884	0.53496	0.33880	0.57747	0.60880	-0.13843	0.08607	6.75
0.30	0.43825	0.44516	0.25356	0.51990	0.64472	-0.15694	0.10601	6.75
0.40	0.39220	0.40602	0.21398	0.46080	0.78610	-0.07843	0.02262	6.75
0.50	0.18957	0.19878	0.00967	0.26337	0.76837	-0.09054	0.00000	6.75
0.75	-0.21338	-0.19496	-0.49176	-0.10813	0.75179	-0.14053	0.10302	6.75
1.0	-0.46896	-0.43443	-0.78465	-0.39330	0.67880	-0.18257	0.05393	6.75
1.5	-0.86271	-0.79593	-1.20902	-0.88085	0.70689	-0.25950	0.19082	6.75
2.0	-1.22652	-1.15514	-1.57697	-1.27669	0.77989	-0.29657	0.29888	6.75
3.0	-1.82979	-1.74690	-2.22584	-1.91814	0.77966	-0.45384	0.67466	6.75
4.0	-2.24656	-2.15906	-2.58228	-2.38168	1.24961	-0.35874	0.79508	6.75
5.0	-1.28408	-1.21270	-1.50904	-1.41093	0.14271	-0.39006	0.00000	8.50
7.5	-1.43145	-1.31632	-1.81022	-1.59217	0.52407	-0.37578	0.00000	8.50
10.0	-2.15446	-2.16137	-2.53323	-2.14635	0.40387	-0.48492	0.00000	8.50

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-1: Coeficientes de la ecuación 1 y 2 para la predicción de Pseudoaceleración. Modelo Akkar y Bommer (2010)**

<i>T</i>	<i>b1</i>	<i>b2</i>	<i>b3</i>	<i>b4</i>	<i>b5</i>	<i>b6</i>	<i>b7</i>	<i>b8</i>	<i>b9</i>	<i>b10</i>	$\sigma_1$	$\sigma_2$
0	1.04159	0.91333	-0.0814	-2.92728	0.2812	7.86638	0.08753	0.01527	-0.04189	0.08015	0.261	0.0994
0.05	2.11528	0.72571	-0.07351	-3.33201	0.33534	7.74734	0.04707	-0.0243	-0.0426	0.08649	0.272	0.1142
0.1	2.11994	0.75179	-0.07448	-3.10538	0.30253	8.21405	0.02667	-0.0006	-0.04906	0.0791	0.2728	0.1167
0.15	1.64489	0.83683	-0.07544	-2.75848	0.2549	8.31786	0.02578	0.01703	-0.04184	0.0784	0.2788	0.1192
0.2	0.92065	0.96815	-0.07903	-2.49264	0.2179	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	0.0981	0.03919	-0.04853	0.08577	0.2871	0.099
0.3	-0.84006	1.37439	-0.10349	-2.19123	0.18139	6.54299	0.12847	0.0434	-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
0.4	-1.7032	1.5593	-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	0.177	6.78082	0.24121	0.11675	-0.05202	0.09943	0.3037	0.1123
0.5	-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	6.7617	0.26498	0.14446	-0.04259	0.06945	0.307	0.1274
0.6	-3.92759	2.08471	-0.14648	-1.88144	0.13621	6.10103	0.27718	0.15156	-0.03853	0.05932	0.3007	0.143
0.65	-4.4949	2.21154	-0.15522	-1.79031	0.12916	5.19135	0.28574	0.15239	-0.03423	0.05111	0.3004	0.1546
0.7	-4.62925	2.21764	-0.15491	-1.798	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	0.1392	4.27945	0.31516	0.16333	-0.0405	0.04253	0.2973	0.1602
0.8	-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	0.3352	0.1848	-0.03786	0.02867	0.2917	0.1543
0.9	-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	4.8454	0.35919	0.19411	-0.02209	0.02502	0.2912	0.1484
1	-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
1.1	-6.90379	2.77044	-0.19171	-1.71109	0.12227	5.00975	0.37756	0.19423	-0.02655	0.0014	0.2896	0.1427
1.15	-6.9618	2.75857	-0.1889	-1.66588	0.11447	5.08902	0.38149	0.19402	-0.02088	0.00148	0.2871	0.1435
1.2	-6.99236	2.73427	-0.18491	-1.5912	0.10265	5.03274	0.3812	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
1.3	-6.51719	2.51869	-0.1633	-1.46527	0.08005	5.14423	0.38862	0.19273	-0.01902	-0.0037	0.2869	0.1427
1.35	-6.55821	2.52238	-0.16307	-1.48223	0.08173	5.29006	0.38677	0.19082	-0.01842	-0.009	0.2885	0.1428
1.4	-6.61945	2.52611	-0.16274	-1.48257	0.08213	5.3349	0.38625	0.19285	-0.01607	-0.0088	0.2875	0.1458
1.45	-6.62737	2.49858	-0.1591	-1.4331	0.07577	5.19412	0.38285	0.19161	-0.01288	-0.0056	0.2857	0.1477
1.5	-6.71787	2.49486	-0.15689	-1.35301	0.06379	5.1575	0.37867	0.18812	-0.01208	-0.0022	0.2839	0.1468
1.55	-6.80776	2.50291	-0.15629	-1.31227	0.05697	5.27441	0.37267	0.18568	-0.00845	-0.0005	0.2845	0.145
1.6	-6.83632	2.51009	-0.15676	-1.3326	0.0587	5.54539	0.36952	0.18149	-0.00533	-6E-05	0.2844	0.1457
1.65	-6.88684	2.54048	-0.15995	-1.40931	0.0686	5.93828	0.36531	0.17617	-0.00852	-0.003	0.2841	0.1503
1.7	-6.946	2.57151	-0.16294	-1.47676	0.07672	6.36599	0.35936	0.17301	-0.01204	-0.0074	0.284	0.1537
1.75	-7.09166	2.62938	-0.16794	-1.54037	0.08428	6.82292	0.35284	0.16945	-0.01386	-0.0139	0.284	0.1558
1.8	-7.22818	2.66824	-0.17057	-1.54273	0.08325	7.11603	0.34775	0.16743	-0.01402	-0.0149	0.2834	0.1582
1.85	-7.29772	2.67565	-0.17004	-1.50936	0.07663	7.31928	0.34561	0.1673	-0.01526	-0.0119	0.2828	0.1592
1.9	-7.35522	2.67749	-0.16934	-1.46988	0.07065	7.25988	0.34142	0.16325	-0.01563	-0.007	0.2826	0.1611
1.95	-7.40716	2.68206	-0.16906	-1.43816	0.06525	7.25344	0.3372	0.16171	-0.01848	-0.0035	0.2832	0.1642
2	-7.50404	2.71004	-0.1713	-1.44395	0.06602	7.26059	0.33298	0.15839	-0.02258	-0.0049	0.2835	0.1657
2.05	-7.55598	2.72737	-0.17291	-1.45794	0.06774	7.4032	0.3301	0.15496	-0.02626	-0.0073	0.2836	0.1665

2.1	-7.53463	2.71709	-0.17221	-1.46662	0.0694	7.46168	0.32645	0.15337	-0.0292	-0.0087	0.2832	0.1663
2.15	-7.50811	2.71035	-0.17212	-1.49679	0.07429	7.51273	0.32439	0.15264	-0.03484	-0.0123	0.283	0.1661
2.2	-8.09168	2.91159	-0.1892	-1.55644	0.08428	7.77062	0.31354	0.1443	-0.03985	-0.0193	0.283	0.1627
2.25	-8.11057	2.92087	-0.19044	-1.59537	0.09052	7.87702	0.30997	0.1443	-0.04155	-0.0232	0.283	0.1627
2.3	-8.16272	2.93325	-0.19155	-1.60461	0.09284	7.91753	0.30826	0.14412	-0.04238	-0.0263	0.2829	0.1633
2.35	-7.94704	2.85328	-0.18539	-1.57428	0.09077	7.61956	0.32071	0.14321	-0.04963	-0.0234	0.2815	0.1632
2.4	-7.96679	2.85363	-0.18561	-1.57833	0.09288	7.59643	0.31801	0.14301	-0.0491	-0.0257	0.2826	0.1645
2.45	-7.97878	2.849	-0.18527	-1.57728	0.09428	7.50338	0.31401	0.14324	-0.04812	-0.0264	0.2825	0.1665
2.5	-7.88403	2.81817	-0.1832	-1.60381	0.09887	7.53947	0.31104	0.14332	-0.0471	-0.0277	0.2818	0.1681
2.55	-7.68101	2.7572	-0.17905	-1.65212	0.1068	7.61893	0.30875	0.14343	-0.04607	-0.0282	0.2818	0.1688
2.6	-7.72574	2.82043	-0.18717	-1.88782	0.14049	8.12248	0.31122	0.14255	-0.05106	-0.0297	0.2838	0.1741
2.65	-7.53288	2.74824	-0.18142	-1.89525	0.14356	7.92236	0.30935	0.14223	-0.05024	-0.0293	0.2845	0.1759
2.7	-7.41587	2.69012	-0.17632	-1.87041	0.14283	7.49999	0.30688	0.14074	-0.04887	-0.0296	0.2854	0.1772
2.75	-7.34541	2.65352	-0.17313	-1.86079	0.1434	7.26668	0.30635	0.14052	-0.04743	-0.0292	0.2862	0.1783
2.8	-7.24561	2.61028	-0.16951	-1.85612	0.14444	7.11861	0.30534	0.13923	-0.04731	-0.0275	0.2867	0.1794
2.85	-7.07107	2.56123	-0.16616	-1.90422	0.15127	7.36277	0.30508	0.13933	-0.04522	-0.0278	0.2869	0.1788
2.9	-6.99332	2.52699	-0.16303	-1.89704	0.15039	7.45038	0.30362	0.13776	-0.04203	-0.0262	0.2874	0.1784
2.95	-6.95669	2.51006	-0.16142	-1.90132	0.15081	7.60234	0.29987	0.13584	-0.03863	-0.0249	0.2872	0.1783
3	-6.92924	2.45899	-0.15513	-1.76801	0.13314	7.2195	0.29772	0.13198	-0.03855	-0.0247	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-1:** Coeficientes de regresión para el modelo de eventos superficiales de PGA, PGV y espectros de respuesta de aceleración amortiguada del 5%. Modelo Kanno (2006).

<b>T(s)</b>	<b>a1</b>	<b>b1</b>	<b>c1</b>	<b>d1</b>	<b>ε1</b>	<b>p</b>	<b>q</b>
0.00	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	0.8
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	0.6
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
0.10	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
0.20	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
0.30	0.56	-0.0026	0.51	0.0039	0.39	-0.8	1.96
0.35	0.56	-0.0024	0.42	0.0036	0.4	-0.85	2.09
0.40	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
0.50	0.59	-0.0016	0.04	0.0022	0.41	-0.91	2.25
0.60	0.62	-0.0014	-0.22	0.0025	0.41	-0.92	2.3
0.70	0.63	-0.0012	-0.37	0.0022	0.41	-0.96	2.41
0.80	0.65	-0.0011	-0.54	0.002	0.41	-0.98	2.46
0.90	0.68	-0.0009	-0.8	0.0019	0.41	-0.97	2.44
1.00	0.71	-0.0009	-1.04	0.0021	0.41	-0.93	2.32
1.10	0.72	-0.0007	-1.19	0.0018	0.41	-0.92	2.3
1.20	0.73	-0.0006	-1.32	0.0014	0.41	-0.91	2.26
1.30	0.74	-0.0006	-1.44	0.0014	0.41	-0.88	2.2
1.50	0.77	-0.0005	-1.7	0.0017	0.4	-0.85	2.12
1.70	0.79	-0.0005	-1.89	0.0019	0.39	-0.83	2.06
2.00	0.8	-0.0004	-2.08	0.002	0.39	-0.78	1.92
2.20	0.82	-0.0004	-2.24	0.0022	0.38	-0.76	1.88
2.50	0.84	-0.0003	-2.46	0.0023	0.38	-0.72	1.8
3.00	0.86	-0.0002	-2.72	0.0021	0.38	-0.68	1.7
3.50	0.9	-0.0003	-2.99	0.0032	0.37	-0.66	1.64
4.00	0.92	-0.0005	-3.21	0.0045	0.38	-0.62	1.54
4.50	0.94	-0.0007	-3.39	0.0064	0.38	-0.6	1.5
5.00	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-1:** Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral (5% de amortiguación) para sismos de subducción. Modelo Youngs (1997).

<b>PERIODO</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C*4</b>	<b>C*5</b>
0.000	0	0	-2.329	1.45	-0.1
0.075	2.4	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1
0.100	2.516	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1
0.200	1.549	-0.0019	-2.464	1.45	-0.1
0.300	0.793	-0.002	-2.327	1.45	-0.1
0.400	0.144	-0.002	-2.23	1.45	-0.1
0.500	-0.438	-0.0035	-2.14	1.45	-0.1
0.750	-1.704	-0.0048	-1.952	1.45	-0.1
1.000	-2.87	-0.0066	-1.785	1.45	-0.1
1.500	-5.101	-0.0114	-1.47	1.5	-0.1
2.000	-6.433	-0.0164	-1.29	1.55	-0.1
3.000	-6.672	-0.0221	-1.347	1.65	-0.1
4.000	-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-1:** Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria. Modelo Zhao (2006)

<b>Periodo T(s)</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>SR</b>	<b>SI</b>	<b>Ss</b>	<b>SsL</b>
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

**ANEXO F-2:** Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción. Modelo Zhao (2006).

<b>CH</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>Ck</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b><math>\tau</math></b>	<b><math>\sigma T</math></b>
0.239	1.111	1.344	1.355	1.420	1.344	0.604	0.398	0.723
0.939	1.684	1.793	1.747	1.814	1.793	0.640	0.444	0.779
1.499	2.061	2.135	2.031	2.082	2.135	0.694	0.490	0.849
1.462	1.916	2.168	2.052	2.113	2.168	0.702	0.460	0.839
1.280	1.669	2.085	2.001	2.030	2.085	0.692	0.423	0.811
1.121	1.468	1.942	1.941	1.937	1.942	0.682	0.391	0.786
0.852	1.172	1.683	1.808	1.770	1.683	0.670	0.379	0.770
0.365	0.655	1.127	1.482	1.397	1.127	0.659	0.390	0.766
-0.207	0.071	0.515	0.934	0.955	0.515	0.653	0.389	0.760
-0.705	-0.429	-0.003	0.394	0.559	-0.003	0.653	0.401	0.766
-1.144	-0.866	-0.449	-0.111	0.188	-0.449	0.652	0.408	0.769
-1.609	-1.325	-0.928	-0.620	-0.246	-0.928	0.647	0.418	0.770
-2.023	-1.732	-1.349	-1.066	-0.643	-1.349	0.653	0.411	0.771
-2.451	-2.152	-1.776	-1.523	-1.084	-1.776	0.657	0.410	0.775
-3.243	-2.923	-2.542	-2.327	-1.936	-2.542	0.660	0.402	0.773
-3.888	-3.548	-3.169	-2.979	-2.661	-3.169	0.664	0.408	0.779
-4.783	-4.410	-4.039	-3.871	-3.640	-4.039	0.669	0.414	0.787
-5.444	-5.049	-4.698	-4.496	-4.341	-4.698	0.671	0.411	0.786
-5.839	-5.431	-5.089	-4.893	-4.758	-5.089	0.667	0.396	0.776
-6.598	-6.181	-5.882	-5.698	-5.588	-5.882	0.647	0.382	0.751
-6.752	-6.347	-6.051	-5.873	-5.798	-6.051	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