



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

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

**Tema:**

---

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

---

**AUTOR:** Nelson Hernan Sánchez Guevara

**TUTOR:** Ing. Mg. Santiago Medina

**Ambato – Ecuador  
2018**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Yo, Ing. Mg. Santiago Medina, certifico que el presente trabajo bajo el tema: ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO - SECTOR MIÑARICA I, es de autoría del Sr. Nelson Hernan Sánchez Guevara, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, abril del 2018

---

Ing. Mg. Santiago Medina

## **AUTORÍA**

Yo, Nelson Hernan Sánchez Guevara con C.I: 160064393-4, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO - SECTOR MIÑARICA I, es de mi completa autoría.

Ambato, abril del 2018

---

Nelson Hernan Sánchez Guevara

## **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, abril del 2018

Autor

---

Nelson Hernan Sánchez Guevara

C.I: 160064393-4

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO - SECTOR MIÑARICA I”, del egresado Nelson Hernan Sánchez Guevara, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Para constancia firman.

---

Ing. Mg. Carlos Navarro

---

Ing. Mg. Christian Medina

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser mi fortaleza y mi compañía a lo largo de mi vida universitaria.

A mi padre ya que sin su apoyo incondicional nunca hubiera alcanzado esta meta. Su sabiduría ha me enseñado a enfrentarme a la vida.

A mi madre por haber sido mi amiga y compañera en todo momento y mi principal motivación en los momentos más difíciles, ya que ella me animó a seguir siempre adelante.

A mi hermano Milton ya que en un inicio sus consejos me ayudaron a elegir esta carrera.

A mis hermanos Erick y Marcia, ya que con su apoyo y su infinito amor siempre me han ayudado a seguir adelante y pesar de los problemas.

A mi familia por apoyarme en todo momento y haberme enseñado el camino del esfuerzo y la dedicación para alcanzar esta meta.

A mi abuela Ines, quien desde el cielo guía mi camino. Con sus buenos consejos me ayudo a ser una mejor persona.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme dado la paciencia, el valor, la sabiduría y la salud para poder llegar a cumplir esta meta tan importante en mi vida.

A mi padre ya que su esfuerzo y trabajo me enseñaron que lo que uno se propone lo puede conseguir.

A mi madre por estar en todos los momentos de mi vida, guiarme por el camino correcto, aconsejarme en todas las dificultades que se me han presentado, su amor incondicional, ser el pilar en mi vida y que en ella siempre podre confiar.

A toda mi familia por apoyarme y no desmayar en todas las adversidades de la vida. Por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional.

A mi amiga Jessy por haber sido un gran apoyo emocional durante mi carrera y el tiempo en que realizaba esta tesis, enseñándome el significado de una verdadera amistad.

A mi tutor Ing. Mg. Santiago Medina por su asesoría y tiempo en la realización de este trabajo. Gracias por su paciencia y dedicación.

Al Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional por la información proporcionada para el alcance de esta investigación.

A mi grupo de trabajo, por todo el apoyo y tiempo dedicado para realizar los ensayos de este proyecto.

A todos los que dijeron que nunca lo iba a lograr, ya que eso me sirvió para superarme día a día y hoy haberlo conseguido.

## ÍNDICE

### A. PÁGINAS PRELIMINARES

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO .....	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA .....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVI

### B. TEXTO

CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2 ANTECEDENTES .....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	2
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 Objetivo General:.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos: .....	3
CAPÍTULO II.....	4
FUNDAMENTACIÓN.....	4
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.2 HIPÓTESIS .....	23
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS .....	23
2.3.1 Variable Dependiente.....	23
2.3.2 Variable Independiente.....	23
CAPÍTULO III .....	24
METODOLOGÍA.....	24
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	24
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	24
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	25

3.3.1	Variable Independiente .....	25
3.3.2	Variable Dependiente .....	26
3.4	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	27
3.5	PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	28
CAPÍTULO IV.....		29
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....		29
4.1	RECOLECCIÓN DE DATOS .....	29
4.1.1	Régimen Tectónico .....	29
4.1.2	Selección de Fallas Geológicas.....	32
4.1.3	Características del Suelo .....	36
4.1.3.1	Ensayo de Penetración Estándar .....	47
4.1.4	Velocidad media de la onda de cortante Vs30.....	52
4.1.4.1	Determinación de la Velocidad media de la onda de cortante Vs30	54
4.1.5	Ecuaciones de atenuación para Falla Cortical Intraplaca.....	59
4.1.5.1	Modelo de Boore y Atkinson (2008).....	59
4.1.5.2	Modelo de Akkar y Bommer (2010) .....	64
4.1.5.3	Modelo Kanno (2006).....	67
4.1.6	Ecuaciones de atenuación para subducción .....	68
4.1.6.1	Modelo Youngs (1997) .....	68
4.1.6.2	Modelo Zhao (2006) .....	70
4.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	72
4.2.1	Magnitud de las fallas.....	72
4.2.2	Cálculo de Espectros .....	73
4.2.2.1	Espectros calculados con el modelo de Boore y Atkinson (2008)	74
4.2.2.2	Espectros calculados con el Modelo de Akkar y Bommer (2010)	75
4.2.2.3	Espectros calculados con el Modelo Kanno (2006) .....	76
4.2.2.4	Espectros calculados con el Modelo de Youngs (1997) para la Falla de subducción .....	77
4.2.2.5	Espectros calculados con el Modelo de Zhao (2006) para la Falla de subducción.....	78
4.2.3	Comparación de los espectros obtenidos con el de la NEC-15 .....	79
4.2.4	Espectros con la NEC-15.....	82
4.2.5	Espectros de todos los modelos Vs. el de la NEC-15.....	85
4.2.6	Espectro crítico comparado con la NEC-15 .....	85
4.2.7	Comportamiento Estructural de Estructuras tipo en el sitio de estudio 87	
4.3	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS .....	111

<b>CAPÍTULO V</b> .....	112
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	112
<b>5.1 CONCLUSIONES</b> .....	112
<b>5.2 RECOMENDACIONES</b> .....	113
<b>C. MATERIALES DE REFERENCIA</b> .....	114
<b>1. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	114
<b>2. ANEXOS</b> .....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento (M) .....	19
Tabla 2. Operacionalización de la variable independiente .....	25
Tabla 3. Operacionalización de la variable dependiente .....	26
Tabla 4. Plan de recolección de información .....	27
Tabla 5. Eventos más destructivos asociados al régimen de Subducción .....	30
Tabla 6. Intensidades sentidas en la ciudad de Ambato .....	31
Tabla 7. Longitud y distancia de Fallas Geológicas en estudio.....	35
Tabla 8. Clasificación de los suelos con base en el SUCS .....	36
Tabla 9. Análisis granulométrico. (Pozo 1).....	37
Tabla 10. Análisis granulométrico (Pozo 2).....	38
Tabla 11. Análisis granulométrico (Pozo 3).....	40
Tabla 12. Análisis granulométrico (Pozo 4).....	42
Tabla 13. Análisis granulométrico (Pozo 5).....	45
Tabla 14. Coordenadas UTM de cada perforación realizada en el Sector “Miñarica I”	49
Tabla 15. Ensayo de Penetración Estándar – (Pozo 1) .....	49
Tabla 16. Ensayo de Penetración Estándar – (Pozo 2) .....	50
Tabla 17. Ensayo de Penetración Estándar – (Pozo 3) .....	50
Tabla 18. Ensayo de Penetración Estándar – (Pozo 4) .....	51
Tabla 19. Ensayo de Penetración Estándar – (Pozo 5) .....	52
Tabla 20. Clasificación de los Perfiles de Suelo .....	53
Tabla 21. Velocidad media de la onda de cortante Vs30– (Pozo 1).....	56
Tabla 22. Velocidad media de la onda de cortante Vs30– (Pozo 2).....	56

Tabla 23. Velocidad media de la onda de cortante $V_{s30}$ – (Pozo 3).....	57
Tabla 24. Velocidad media de la onda de cortante $V_{s30}$ – (Pozo 4).....	57
Tabla 25. Velocidad media de la onda de cortante $V_{s30}$ – (Pozo 5).....	58
Tabla 26. Valores de velocidad de onda de corte ( $V_{s30}$ ).....	59
Tabla 27. Valores de variables ficticias para diferentes tipos de fallas.....	61
Tabla 28. Magnitud de Momento $M_w$ para cada una de las fallas en estudio.....	73
Tabla 29. Valores para espectro de aceleración específico.....	86
Tabla 30. Secciones de los elementos estructurales de cada una de las edificaciones en sitio.....	88
Tabla 31. Factores para la reducción de los espectros elásticos.....	91
Tabla 32. Valores $C_t$ y $\alpha$ para el cálculo del Período de Vibración Fundamental de cada estructura.....	92
Tabla 33. Valores $F_a$ , $F_d$ , $F_s$ para el perfil de suelo tipo D empleados en el cálculo de los Períodos Límites de Vibración para las estructuras.....	93
Tabla 34. Valores obtenidos de $T$ , $T_o$ , $T_c$ con cada uno de los espectros analizados....	95
Tabla 35. Modos de vibración en cada una de las estructuras.....	97
Tabla 36. Modos de vibración.....	98
Tabla 37. Valores de aceleración y coeficientes sísmicos obtenidos con los periodos calculados en Etabs.....	100
Tabla 38. Derivas máximas elásticas e inelásticas para cada una de las estructuras analizadas en sitio.....	107
Tabla 39. Validación del análisis dinámico.....	109
Tabla 40. Derivas de piso elásticas con cada espectro ingresado.....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El supercontinente llamado Pangea.....	4
Figura 2. Mapa de distribución actual de placas tectónicas.....	5
Figura 3. Diagrama de un límite de placas destructivo o convergente.....	6
Figura 4. Diagrama de un límite de placas Divergente o constructivo.....	6
Figura 5. Diagrama de un límite de colisión.....	7
Figura 6. Diagrama de un límite de placas transformante.....	8
Figura 7. Esquema de una Falla Normal.....	8

Figura 8. Esquema de una Falla Inversa.....	9
Figura 9. Esquema de una Falla de desgarre. ....	9
Figura 10. Posición del Foco o Hipocentro y su proyección sobre el terreno conocida como Epicentro.....	10
Figura 11. Ondas de cuerpo primarias que se propagan por el interior de la tierra.....	12
Figura 12. Ondas de cuerpo secundarias que se propagan por el interior de la tierra ....	12
Figura 13. Ondas superficiales de Rayleigh generadas por movimientos sísmicos .....	13
Figura 14. Ondas superficiales de Love generadas por movimientos sísmicos .....	14
Figura 15. Zonas sísmicas en el Ecuador para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z.....	16
Figura 16. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño .....	17
Figura 17. Fallas Geológicas del Ecuador .....	32
Figura 18. Fallas Geológicas Tungurahua .....	33
Figura 19. Fallas Geológicas Ambato .....	33
Figura 20. Fallas Geológicas en el Área de Estudio.....	34
Figura 21. Distancia perpendicular más cercana a la Falla. ....	35
Figura 22. Ubicación de las perforaciones realizadas en el Sector “Miñarica I” .....	48
Figura 23. Valores entre eventos, dentro del evento y sigma total de ecuaciones nuevas en diferentes períodos de respuesta. Las sigmas totales de las ecuaciones de Ambraseys y otros (1996) se muestran para la comparación. ....	66
Figura 24. Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008).....	74
Figura 25. Espectros de aceleración modelo Akkar y Bommer (2010).....	75
Figura 26. Espectros de aceleración modelo Kanno (2006).....	76
Figura 27. Espectros de aceleración modelo Youngs (1997) .....	77
Figura 28. Espectros de aceleración modelo Zhao (2006) .....	78
Figura 29. Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la falla Ambato .....	79
Figura 30. Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la falla Huachi .....	80
Figura 31. Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la Falla Totoras .....	80
Figura 32. Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la Falla Samanga .....	81

Figura 33. Espectros de aceleración modelo Youngs(1997) - Zhao(2006) Falla de Subducción .....	81
Figura 34. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer, NEC-15 para la falla de Ambato.....	82
Figura 35. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer, NEC15 para la Falla de Huachi .....	82
Figura 36. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer, NEC-15 para la Falla de Totoras .....	83
Figura 37. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer, NEC- 15 para la Falla de Samanga .....	83
Figura 38. Espectros de aceleración modelo Youngs(1997) - Zhao(2006) – NEC 2015 Falla de Subducción.....	84
Figura 39. Todos los espectros comparados con la NEC-15 .....	85
Figura 40. Espectro específico comparado con la NEC-15.....	87
Figura 41. Vista en planta de la Estructura de 6 pisos.....	88
Figura 42. Vista en planta de la Estructura de 3 pisos.....	89
Figura 43. Vista en planta de la Estructura de 2 pisos.....	90
Figura 44. Espectro específico y los valores de aceleración obtenidos con los periodos calculados en Etabs.....	99
Figura 45. Derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y el Específico en sentido X para la estructura de 6 pisos .....	101
Figura 46. Derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y el Específico en sentido Y para la estructura de 6 pisos .....	102
Figura 47. Derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y el Específico en sentido X para la estructura de 3 pisos .....	103
Figura 48. Derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y el Específico en sentido Y para la estructura de 3 pisos .....	104
Figura 49. Derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y el Específico en sentido X para la estructura de 2 pisos .....	105
Figura 50. Derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y el Específico en sentido Y para la estructura de 2 pisos .....	106
Figura 51. Espectro específico y Nec-15 con los valores de T para cada estructura....	108

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A</b> .....	119
Fotografía 1. Martinete .....	119
Fotografía 2. Equipos para el ensayo SPT .....	119
Fotografía 3. Trípode y colocación del martinete.....	120
Fotografía 4. Motor.....	120
Fotografía 5. Realizando el ensayo SPT .....	121
Fotografía 6. Medir la longitud de la muestra .....	121
Fotografía 7. Muestras de pozo 1 .....	122
Fotografía 8. Separación de la muestra en recipientes metálicos .....	122
Fotografía 9. Tamizado de la muestra de suelo para análisis granulométrico.....	123
Fotografía 10. Pesando muestra de suelo .....	123
Fotografía 11. Estructura de 6 pisos .....	124
Fotografía 12. Estructura de 3 pisos .....	124
Fotografía 13. Estructura de 2 pisos .....	125
Fotografía 14. Levantamiento de Estructura de 6 pisos .....	125
Gráfico 1. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Boore y Atkinson (2008).....	128
Gráfico 2. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Akkar y Bommer (2010) .....	129
Gráfico 3. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Kanno (2006).....	130
Gráfico 4. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Youngs (1997).....	131
Gráfico 5. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Zhao (2006) .....	132
<b>ANEXO B</b> .....	133
B-1. Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del período .....	133
B-2. Coeficientes de escala de distancia ( $M_{ref} = 4,5$ y $R_{ref} = 1,0$ km para todos los períodos, excepto $R_{ref} = 5,0$ km para $p_{ga4nl}$ ) .....	134
B-3. Coeficientes de escala de magnitud.....	135
<b>ANEXO C</b> .....	136
C-1. Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción de Pseudoaceleración espectral .....	136
C-1 Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción de Pseudoaceleración espectral.....	138

<b>ANEXO D</b> .....	141
D-1. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos poco profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de pga 5% .....	141
<b>ANEXO E</b> .....	142
E-1. Relaciones de atenuación para aceleración espectral de respuesta horizontal (amortiguación del 5%) para los terremotos de subducción para el suelo .....	142
<b>ANEXO F</b> .....	143
F-1. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria .....	143
F- 2. Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción .....	144

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

**TEMA: “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO - SECTOR MIÑARICA I”**

**Autor:** Nelson Hernan Sánchez Guevara

**Tutor:** Ing. Mg. Santiago Medina

**RESUMEN EJECUTIVO**

En el presente proyecto de investigación se procedió a calcular el período de vibración para 3 estructuras ubicadas en el sitio de estudio, lo que corresponde a una aceleración de gravedad  $S_a$  (g), tomada del espectro específico, para compararlo con el espectro de aceleraciones de la NEC-15 y verificar el comportamiento estructural de cada estructura tipo seleccionada. Para este proceso se realizaron los siguientes pasos: establecer el régimen tectónico en base al área de estudio, identificación y caracterización de todas las fuentes sísmicas (fallas geológicas) capaces de producir un movimiento del terreno significativo, por medio del ensayo de penetración estándar se obtuvo el  $N_{spt}$  para calcular la velocidad media de la onda de cortante  $V_{s30}$  aproximada para el tipo de perfil, en base a la distancia fuente-sitio de estudio se calcula la magnitud de momento para cada falla, por medio de parámetros como distancia al epicentro, profundidad focal, se emplearon ecuaciones de predicción de movimiento de suelo obteniendo espectros de aceleración, mediante una envolvente de todos los espectros de aceleración se obtiene un espectro específico de aceleraciones máximas el cual se compara con el espectro de la norma.

Las aceleraciones dadas por el espectro específico para edificaciones que tienen periodos estructurales entre 0,10seg – 0,60seg son mayores a las obtenidas según la NEC-15.

## ABSTRACT

In this research project we proceeded to calculate the vibration period for 3 structures located in the study site, which corresponds to an acceleration of gravity  $S_a$  (g), taken from the specific spectrum, to compare it with the acceleration spectrum of the NEC-15 and verify the structural behavior of each selected type structure. For this process the following steps were carried out: establish the tectonic regime based on the study area, identification and characterization of all the seismic sources (geological faults) capable of producing a significant ground movement, by means of the standard penetration test was obtained the  $N_{spt}$  to calculate the average speed of the shear wave  $V_{s30}$  approximated for the type of profile, based on the source-site distance of the study the moment magnitude for each fault is calculated, by means of parameters such as distance to the epicenter, depth focal, soil motion prediction equations were used obtaining acceleration spectra, by means of an envelope of all the acceleration spectra a specific spectrum of maximum accelerations is obtained which is compared with the spectrum of the norm.

The accelerations given by the specific spectrum for buildings that have structural periods between 0.10sec - 0.60sec are greater than those obtained according to the NEC-15.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

### 1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras del cantón Ambato - sector “Miñarica I”

### 1.2 ANTECEDENTES

Según Alvarado y Valdebenito consideran:” Los estudios de microzonificación sísmica, geológicos y geotécnicos constituyen una prioridad en la cuantificación del peligro sísmico a nivel local permitiendo dividir el territorio en áreas con características dinámicas semejantes.” [1]

Según el Ing. Diego Quizanga en su tesis de magister considera: “Quito posee una gran cantidad de edificaciones vulnerables debido a que se encuentra atravesada por un sistema de fallas corticales. El Ing. Fabricio Yépez junto con otros expertos realizó un primer estudio para evaluar la zonificación estructural de acuerdo al tipo de material y su tipología estructural, con el que se obtuvo estimaciones del riesgo sísmico para la ciudad de Quito”. “Los espectros críticos para el Sur y Norte de Quito están asociados a la liberación de energía en el segmento de falla Puengasí y Lumbisí-La Bota por lo que se registraron valores de aceleración muy altos en comparación con el espectro normativo de la NEC.” “Los valores de PGA y las formas espectrales de los espectros críticos son similares al espectro de la NEC con excepción del espectro para el perfil de suelo tipo E, el cual posee un  $V_{S_{30}}$  igual a 200 m/s. El espectro Normativo indica que para el perfil de suelo tipo E los valores de  $V_{S_{30}}$  son menores a 180 m/s por lo que para estos valores las ecuaciones de atenuación no son aplicables.” [2]

Según el Dr. Aguiar: “Mediante la determinación de factores se debe incrementar las aceleraciones espectrales elásticas debido a las ondas sísmicas directas en caso de producirse un sismo asociado a las fallas ciegas de Quito.” [3]

Según el Ing. Paúl Cobos en su Tesis establece: “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.” “La respuesta espectral de aceleración variará en base a la distancia del epicentro, y para la falla de subducción dependerá la profundidad a la que se libere la energía para producir un sismo. [4]

La Norma Ecuatoriana de la Construcción establece un mapa de zonificación sísmica para el diseño, el cual proviene del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años). [5]

Este mapa divide al Ecuador en 6 zonas en el cual la amenaza sísmica va desde intermedia hasta muy alta, presentando un valor máximo de 0.50 g en la costa ecuatoriana caracterizando la zona VI. De esta manera la ciudad de Ambato se encuentra en la quinta zona sísmica con un valor Z de 0,4g. [5]

Se definen seis tipos de perfil de suelo cuya clasificación corresponde a los 30 m superiores del perfil para los perfiles tipo A, B, C, D y E. [5]

La Normativa Ecuatoriana de la Construcción establece coeficientes de amplificación de suelo los cuales amplifican las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones, desplazamientos, así como para el comportamiento lineal de los suelos para diseño en roca.” [5]

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

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El constante movimiento relativo de las placas tectónicas ha dado origen a lo que hoy se conoce como el cinturón de fuego del pacífico, el cual provoca la mayor actividad sísmica y volcánica a lo largo de su recorrido debido a la gran cantidad de energía liberada en las zonas de subducción. Ecuador se encuentra entre los países que conforman su recorrido

por lo que con el pasar de los años en estos países se han producido sismos de gran magnitud siendo Chile el país que registra el mayor de estos eventos. [6]

El Ecuador tiene un nivel de peligrosidad sísmica alto ya que pertenece al Cinturón de Fuego del Pacífico, en donde se puede señalar que la principal fuente de sismos tectónicos en el país ocurren debido a la subducción de la placa de Nazca dentro de la placa Sudamericana. [5] [7]

Debido a que el territorio ecuatoriano se encuentra catalogado como de amenaza sísmica alta, se cuenta con un mapa de zonificación sísmica el cual clasifica las diferentes zonas de peligro sísmico según su nivel de amenaza. A este hecho también se suma un complejo sistema de fallas locales superficiales que son las responsables de los sismos de gran magnitud en el país. [5] [7]

El Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional ha realizado un estudio mediante el cual determinó la existencia de tres fallas geológicas en la ciudad de Ambato, esto determinó la existencia de suelos y edificaciones vulnerables. La ubicación geográfica, estratigráfica y geológica de la ciudad de Ambato contribuye a aumentar el riesgo sísmico en la ciudad. Al noreste de Tungurahua, existen varias fallas geológicas que representan el 30% de la actividad sísmica del país. [4] [5]

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General:**

Realizar el estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras de Ambato sector “Miñarica I”.

### **1.4.2 Objetivos Específicos:**

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

## CAPÍTULO II

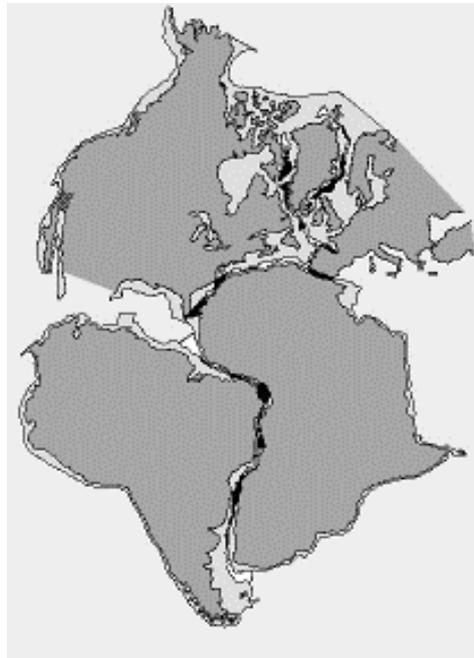
### FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

##### 2.1.1 Tectónica de Placas

En un inicio, la teoría de la deriva continental desarrollada por Alfred Wegener afirmó que hace 200 millones de años los actuales continentes formaban un supercontinente llamado Pangea los cuales, al moverse constantemente sobre un supuesto sustrato viscoso llegaron a ocupar su posición actual. [10]

Figura 1. El supercontinente llamado Pangea

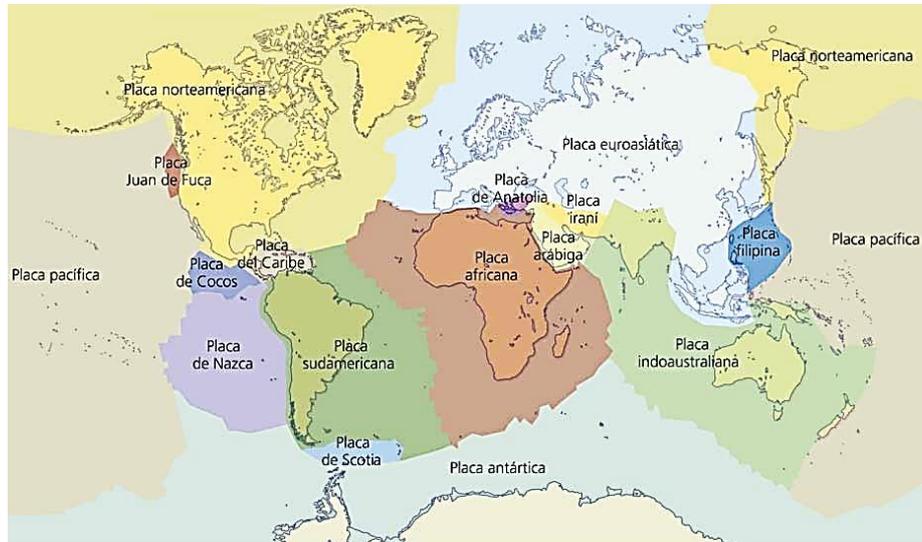


Fuente: Gutiérrez, C. Guevara, E. Sismos: Serie Fascículos

Con Base en la Teoría de Wegener y varias contribuciones geológicas y geofísicas, se desarrolló la teoría de tectónica de placas, la cual considera que la litosfera está dividida en varios sectores rígidos, conocidos como placas, las mismas que se mueven entre sí con desplazamientos promedio de 2 a 12 centímetros al año. El mecanismo de impulso de las placas se produce debido al arrastre de los fragmentos de litosfera provocado por las corrientes de convección las cuales transportan el material caliente hacia zonas poco

profundas mientras que el material con menor temperatura es llevado a mayores profundidades. [10]

Figura 2. Mapa de distribución actual de placas tectónicas



Fuente: Blink Learning

### **Tipos de Límite de Placas**

Los Límites de placas se definen como zonas en las que varias placas entran en contacto. [11]

Son de 3 tipos fundamentales:

#### **Límite convergente o destructivo**

Este tipo de límite de placas se da cuando la corteza oceánica y la continental se desplazan la una hacia la otra, es decir la placa oceánica, al ser más densa, es empujada bajo la placa continental formando de este modo una zona de subducción. [11]

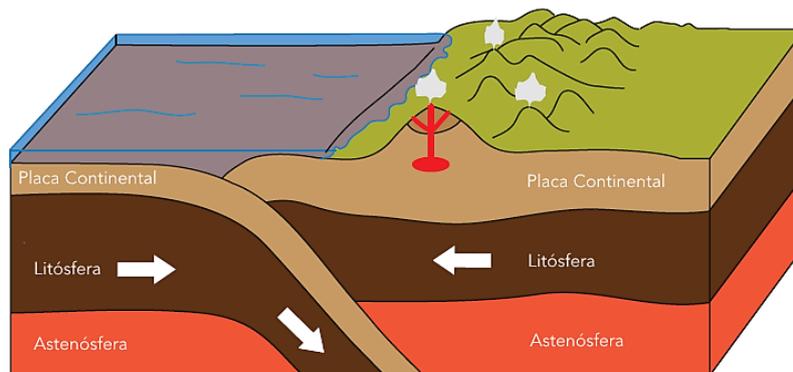
La fricción causada por el rozamiento entre las dos placas provoca la fusión de la placa oceánica ocasionando terremotos. [11]

Cuando la lava o magma que se encuentra en el manto de la Tierra se eleva hacia la superficie a través de las grietas, se produce una erupción en la superficie dando como

resultado la formación de un volcán. En algunos casos la lava no llega hasta la superficie y ésta se solidifica formando rocas ígneas. [11]

Un ejemplo de un límite de placa convergente se encuentra entre la placa de Nazca y la de Sudamérica. La placa de Nazca se ve obligada a permanecer por debajo de la placa Sudamericana. [11]

Figura 3. Diagrama de un límite de placas destructivo o convergente

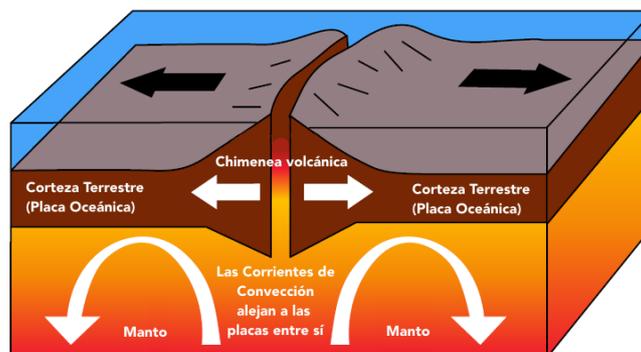


Fuente: Galápagos Conservation Trust

### Límite divergente o constructivo

Un límite de placas divergente se genera cuando las placas se alejan entre sí provocando que el magma se eleve y llene la apertura creada. El magma alcanza la superficie y forma una nueva corteza que a menudo da lugar a la formación de volcanes. [11]

Figura 4. Diagrama de un límite de placas Divergente o constructivo



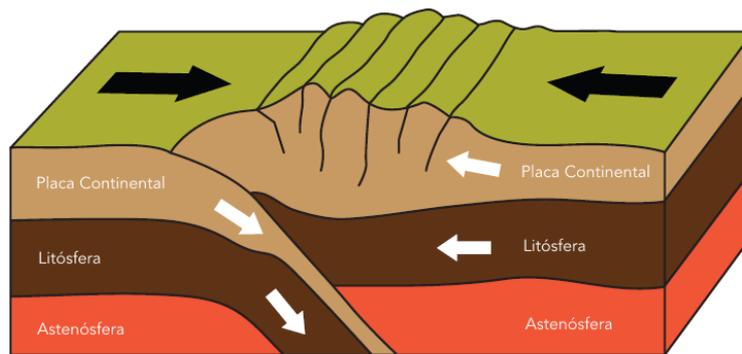
Fuente: Galápagos Conservation Trust

## Límite de placas de colisión

Este tipo de límite se produce por el choque de dos placas continentales, ambas de baja densidad, las cuales son forzadas a salir hacia la superficie dando origen a las montañas plegadas. [11]

Un claro ejemplo es el Himalaya, el cual se formó por el límite de placas de colisión. [11]

Figura 5. Diagrama de un límite de colisión



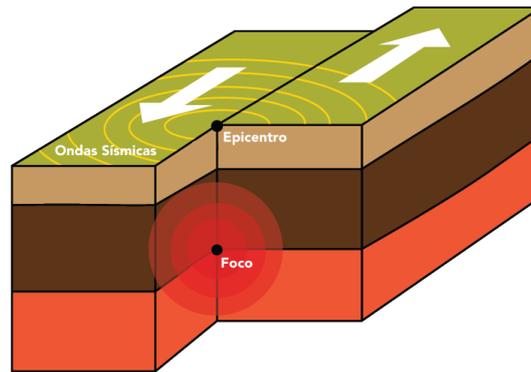
Fuente: Galápagos Conservation Trust

## Límite transformante

El límite de placas transformante se produce cuando las placas se desplazan entre sí en la misma dirección o en dirección opuesta, pero a velocidades diferentes, provocando un movimiento sísmico repentino. [11]

La falla de San Andrés en California, Estados Unidos, es un ejemplo de límite de placa transformante. [11]

Figura 6. Diagrama de un límite de placas transformante



Fuente: Galápagos Conservation Trust

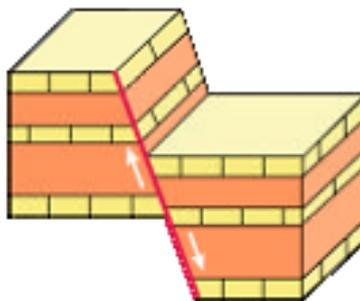
## Tipos de Fallas

Las fallas son fracturas en la corteza a lo largo de las cuales ha tenido lugar un desplazamiento. Las fallas se clasifican en tres tipos según sea la dirección del desplazamiento de las rocas que cortan:

### Falla normal

Este tipo de fallas se producen por tensión. El movimiento es vertical respecto al plano de falla. El bloque que se desliza hacia abajo se lo conoce como bloque de techo, mientras que el que se eleva se llama bloque de muro. Si se considera fijo al bloque de muro da la impresión de que el bloque de techo cae con respecto a este lo que refleja un alargamiento de la corteza. [12]

Figura 7. Esquema de una Falla Normal.

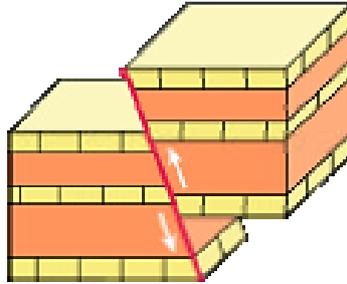


Fuente: González, M. Terremotos y Riesgo Sísmico

## Falla inversa

Este tipo de fallas se producen por compresión. Son fallas con desplazamiento vertical en las cuales el bloque de techo se mueve hacia arriba con respecto al bloque de muro por lo que reflejan un acortamiento de la corteza. [12]

Figura 8. Esquema de una Falla Inversa.

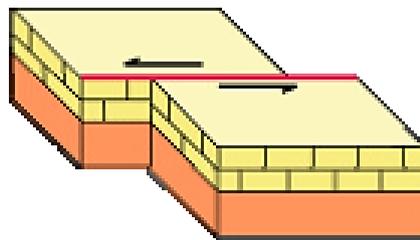


Fuente: González, M. Terremotos y Riesgo Sísmico

## Falla de desgarre

Estas fallas son verticales y el movimiento de los bloques es de manera horizontal. Son típicas de límites de placas tectónicas transformantes. Se distinguen dos tipos de fallas de desgarre: sinistral y dextral. Falla dextral son aquellas en donde el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha, mientras que en las sinistral es el opuesto. [12]

Figura 9. Esquema de una Falla de desgarre.



Fuente: González, M. Terremotos y Riesgo Sísmico

## TIPOS DE SISMOS

Los terremotos constituyen una liberación de energía producida en el interior de la tierra debido a las ondas elásticas que se propagan desde el foco hasta cualquier parte de la superficie. [13]

Figura 10. Posición del Foco o Hipocentro y su proyección sobre el terreno conocida como Epicentro



Fuente: Astronomía. Movimientos Sísmicos

Debido a su origen los sismos se clasifican como naturales y artificiales, siendo los de origen natural los que liberan la mayor cantidad de energía provocando mayores efectos en la superficie. [14]

- **Sismos naturales**

### **Sismos tectónicos**

Estos sismos son generados por la interacción de las placas tectónicas y pueden ser interplaca es decir que son producidos por fricción en las zonas de contacto entre las placas y los intraplaca que son aquellos generados en la parte interna de las placas. Los sismos intraplaca se producen por deformaciones continentales y pueden tener profundidades similares o mayores a los sismos interplaca, por ejemplo de 60 ó 70 km. Un tipo particular de sismos intraplaca son los llamados locales, que son producto de deformaciones del material terrestre, debido a concentración de fuerzas en una región limitada. [14]

## **Sismos volcánicos**

Estos sismos son generados tras una erupción volcánica. Principalmente los ocasiona la fragmentación de rocas debido al movimiento del magma. Aunque pueden generarse decenas de ellos en un día, no llegan a ser tan grandes como los anteriores. [14]

## **Sismos de colapso**

Se producen debido al derrumbamiento del techo de cavernas y minas. Generalmente ocurren cerca de la superficie y se sienten en un área reducida. [14]

- **Sismos artificiales**

Son ocasionados por el hombre debido a explosiones comunes y nucleares, con fines de exploración, investigación, y extracción de minerales. La ocurrencia de sismos de gran magnitud y la actividad volcánica no están ligadas con las explosiones nucleares. [14]

## **ONDAS SÍSMICAS**

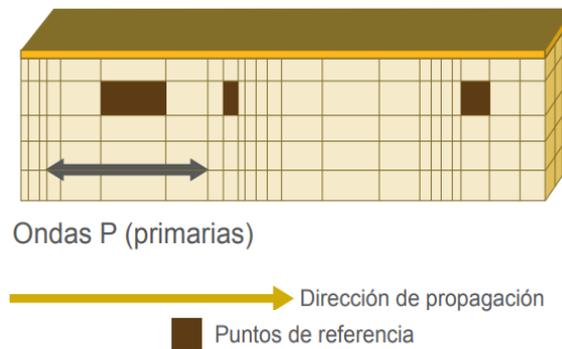
Son la propagación de las vibraciones temporales producidas por movimientos en un medio. Estas ondas se originan en el interior de la corteza terrestre por los repentinos desplazamientos producidos en fallas de la tierra y se propagan hacia la superficie terrestre generando movimientos sísmicos de baja intensidad. La energía generada por dichas perturbaciones es difundida hacia el exterior en forma de ondas sísmicas. La velocidad de las ondas depende fundamentalmente de la elasticidad y densidad de los materiales por los cuales se propagan. [37]

En el interior de la corteza terrestre se producen dos tipos de ondas sísmicas conocidas como ondas de cuerpo o internas, las cuales pueden ser de compresión (ondas P) o de corte (ondas S). [37]

- **Ondas de cuerpo**

Las ondas P, o primarias, se transmiten cuando las partículas del medio se desplazan en la dirección de propagación, generando compresiones y dilataciones en el medio. [50]

Figura 11. Ondas de cuerpo primarias que se propagan por el interior de la tierra

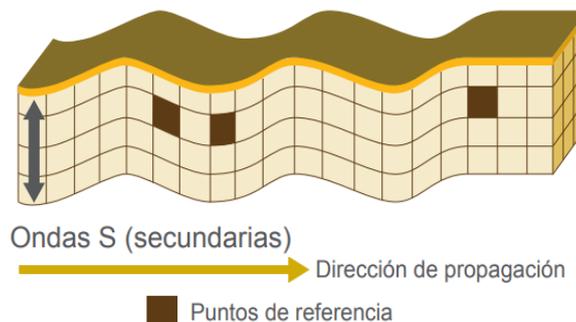


Fuente: Grases, J. La amenaza sísmica. Estrategias preventivas

Este tipo de ondas pueden alcanzar más de 11 km/s en el interior de la Tierra siendo la primera en llegar a cualquier punto en el medio que se propaga. [50]

Las ondas S, o secundarias, son ondas en las cuales las partículas del medio se desplazan de forma perpendicular a la dirección de propagación y están asociadas con deformaciones del terreno. [50]

Figura 12. Ondas de cuerpo secundarias que se propagan por el interior de la tierra



Fuente: Grases, J. La amenaza sísmica. Estrategias preventivas

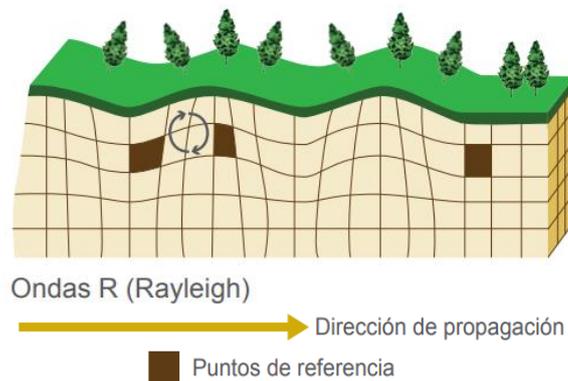
- **Ondas superficiales**

Existen ondas que viajan por la superficie terrestre. Estas ondas se dividen en dos categorías: ondas de Rayleigh y ondas de Love. [37]

### **Ondas de Rayleigh**

Son generadas por la interacción entre las ondas P y la componente vertical de las ondas S. Su velocidad va de 1 a 4 km/s. Estas ondas provocan el apareamiento de algunas zonas de la superficie terrestre y el hundimiento de otras. [37]

Figura 13. Ondas superficiales de Rayleigh generadas por movimientos sísmicos



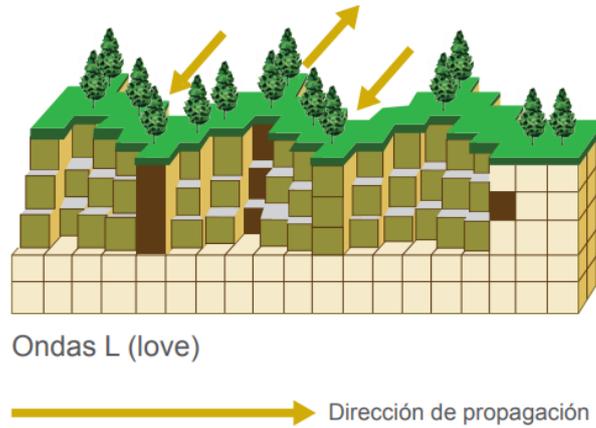
Fuente: Grases, J. La amenaza sísmica. Estrategias preventivas

### **Ondas de Love**

Su comportamiento es similar a la de las ondas de Rayleigh, pero éstas son generadas por la interacción de la componente horizontal de las ondas S. Las ondas de Love son más veloces que las de Rayleigh ya que tienen velocidades de 1 a 4,5 km/s. Estas ondas provocan cortes en la superficie terrestre. [37]

La energía asociada a las ondas sísmicas se encuentra en función de la amplitud de las ondas. El momento que las ondas avanzan, se amortiguan y su amplitud disminuye. De esta manera el movimiento sísmico es menor cuando el hipocentro se encuentra a mayor profundidad. El aparato empleado para la detección de ondas sísmicas se llama sismógrafo. [37]

Figura 14. Ondas superficiales de Love generadas por movimientos sísmicos



Fuente: Grases, J. La amenaza sísmica. Estrategias preventivas

### 2.1.2 Peligro Sísmico

Se define como 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. [5]

Los Métodos de cálculo de la peligrosidad sísmica se clasifican en dos grandes grupos:

#### Métodos Probabilistas

Los métodos probabilistas consideran las leyes de recurrencia y los efectos de todos los sismos que afectan a un lugar de emplazamiento específico, dando como resultado estimaciones de la probabilidad de excedencia para cada valor de la intensidad del movimiento esperado en el emplazamiento, durante un periodo de tiempo dado. [15]

#### Métodos Deterministas

Los métodos deterministas tienen por objetivo obtener la acción sísmica en el emplazamiento, sin proporcionar información sobre su periodo de retorno es decir, no analizan incertidumbres introducidas en el proceso de cálculo, ni contienen criterios claros que permitan asegurar que el sismo obtenido sea el máximo esperable, lo que lleva con frecuencia a introducir conservadurismos excesivos. [15]

El proceso de cálculo con estos métodos se realiza en los siguientes pasos:

- a) Identificación y caracterización de todas las fuentes sísmicas las cuales pueden producir movimientos sísmicos significativos en el área de estudio.
- b) Selección del parámetro para la estimación de la distancia de cada fuente al sitio de emplazamiento seleccionando la menor distancia entre ambos lugares. La distancia estimada puede ser epicentral o hipocentral y ésta dependerá de cada ley de atenuación a emplear.
- c) Seleccionar el sismo que produzca mayor movimiento expresado en magnitud.
- d) 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). [16]

### **Zonificación Sísmica en Ecuador**

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI. [5]

El mapa reconoce el hecho de que la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana es la principal fuente de generación de energía sísmica en el Ecuador. A este hecho se añade un complejo sistema de fallas local superficial que produce sismos importantes en gran parte del territorio ecuatoriano. [5]

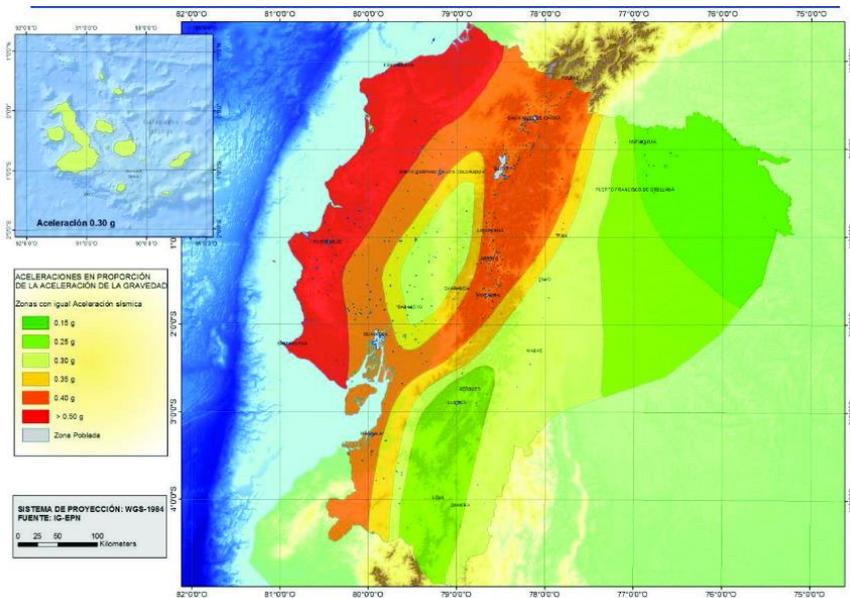
El estudio de peligro sísmico fue realizado de manera integral para todo el territorio nacional, de acuerdo con las metodologías actuales usadas a nivel mundial y a la disponibilidad de la información a nivel local, incluyendo: [5]

- La evaluación de los principales eventos históricos acompañada de un estudio moderno de reevaluación de la magnitud y localización de dichos eventos utilizando el método de Bakun & Wentworth (Beauval et. al, 2010). [5]
- El estudio de las principales fuentes sísmicas conocidas (corticales y de subducción) y sus mecanismos focales, que junto con la sismicidad y

neotectónica, permitió modelar la geometría de las fuentes sísmogenéticas y sus parámetros sísmológicos (rumbo, buzamiento, magnitud mínima de homogeneidad, tasa media de actividad sísmica, magnitud máxima probable y tasas de recurrencia). [5]

- La utilización de las ecuaciones de predicción, validadas por el Global Earthquake Model, para las fuentes intraplaca (entre ellas las de Boore y Atkinson, 2008; Akkar y Boomer, 2010; w . 88 Kanno et. al., 2006; Bindi et. al., 2009) y para las fuentes de subducción (Youngs et. el., 1997; Atkinson y Boore, 2003; Kanno et. al., 2006; McVerry et. al., 2006; Lin y Lee, 2008; Zhao et. al., 2006). [5]

Figura 15. Zonas sísmicas en el Ecuador para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z



Fuente: Peligro Sísmico NEC 2015

### Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones

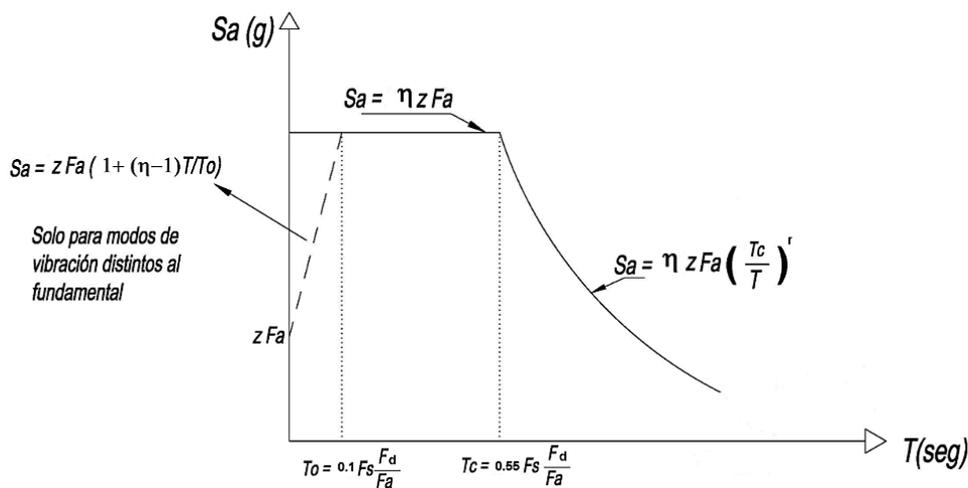
El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sísmológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura. [5]

Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño. [5]

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones  $S_a$ , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, consistente con: [5]

- el factor de zona sísmica  $Z$ ,
- el tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura,
- la consideración de los valores de los coeficientes de amplificación de suelo  $F_a$ ,  $F_d$ ,  $F_s$ .

Figura 16. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño



Fuente: Peligro Sísmico NEC 2015

### Período de vibración

Es el tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico ondulatorio, o vibratorio, para que el sistema vibratorio vuelva a su posición original considerada luego de un ciclo de oscilación. [5]

### Período de vibración fundamental

Es el mayor período de vibración de la estructura en la dirección horizontal de interés. [5]

### PGA (Peak Ground Acceleration)

Aceleración sísmica máxima en el terreno. [5]

### **2.1.3 Ecuaciones de Predicción de Movimiento de suelo (GMPE'S)**

#### **Atenuación sísmica**

Se define como la disminución de la amplitud de las ondas sísmicas debido a su transmisión a través del interior y por la superficie de la Tierra. Las leyes o curvas de atenuación describen la variación de la intensidad del movimiento del terreno y se encuentran en función de la magnitud y de la distancia epicentral o de la distancia a la fuente sísmica. [17]

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

La magnitud de un sismo es un número que busca caracterizar el tamaño de un sismo y la energía sísmica liberada. Se mide en una escala logarítmica, de tal forma que cada unidad de magnitud corresponde a un incremento de raíz cuadrada de 1000 es decir aproximadamente 32 veces la energía liberada. [18]

#### **Magnitud de momento, $M_w$**

Esta magnitud se determina a partir del momento sísmico, es decir que es una cantidad proporcional al tamaño de la ruptura de la falla geológica y su deslizamiento. Su estimación es compleja y puede llevarse a cabo empleando diversos métodos y tipos de datos. Esta magnitud es la más confiable y la más usada por las agencias dedicadas a la detección de sismos. También es la magnitud más usada por científicos para comparar los tamaños entre sismos. [18]

Para el presente estudio, la magnitud de momento se obtendrá por medio de expresiones establecidas por Wells, D. y Coppersmith, K. los cuales nos dicen: Los análisis probabilísticos como deterministas, necesitan de una evaluación del futuro potencial del terremoto en una región. Se debe estimar el tamaño de los terremotos más grandes que podrían ser generados por una falla particular o una fuente de terremoto. El futuro potencial de terremoto por lo general se evalúa a partir de estimaciones de parámetros de ruptura de falla, ya que están relacionados con la magnitud del terremoto. [34]

Los Autores Wells y Coppersmith nos proporcionan la siguiente tabla para el cálculo de la Magnitud de Momento: [34]

Tabla 1. Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento (M)

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

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

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

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

### Ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPE'S)

Una relación de atenuación es una expresión matemática que relaciona un parámetro específico del movimiento del suelo con otros parámetros sismológicos que caracterizan cuantitativamente la fuente sísmica, la trayectoria de propagación de las ondas y el efecto local de suelo. Estas Expresiones matemáticas son mejor definidas como “Ecuaciones de predicción de movimiento de suelo” (GMPEs). [17]

El proyecto GMPE establece una selección entre una serie de ecuaciones predeterminadas para diferentes regiones tectónicas del planeta. [19]

Los modelos propuestos se los obtiene a partir de las aceleraciones y/o velocidades espectrales, se formulan en función de la magnitud y distancia, para el rango de frecuencias de interés. Generalmente en los modelos interviene también el tipo de suelo en el emplazamiento, que se incluye a través de un factor S que lo identifica, según la clasificación adoptada. Una diferencia esencial entre los distintos modelos es la zona fuente de los datos, que condiciona su aplicación a zonas de características afines. Además, hay variaciones en las escalas de magnitud y distancia introducidas, así como en los rangos de validez del modelo atendiendo a estos parámetros. Por todo ello, para realizar una correcta aplicación, es importante examinar previamente las características principales de cada modelo y extraer la información necesaria para el posterior cálculo de espectros. [19]

De las más usadas se trabajara con los siguientes modelos:

#### **Ecuaciones para sismos Intraplaca (Fallamiento Cortical)**

- **Modelo de Boore y Atkinson (2008)**

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

**Donde:**

$Y$  = Aceleración Espectral en gals

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

$M$  = Magnitud de Momento

$R_{JB}$  = Distancia de Joyner-Boore, distancia perpendicular a la proyección vertical en la superficie.

$V_{s30}$  = Velocidad media de la onda de corte.

- **Modelo de Akkar y Bommer (2010)**

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

**Donde:**

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

$F_N$  = Mecanismo de Falla Normal

$F_R$  = Mecanismo de Falla Inversa

$M$  = Magnitud de Momento

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

$S_A$  = Suelo Rígido

$S_S$  = Suelo Suave

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

Si  $D \leq 30$  Km:

$$\log pre = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 10^{0,5M_w}) + c_1 \quad (3)$$

Si  $D > 30$  Km:

$$\log pre = a_2 M_w + b_2 X - \log(X) + c_2 \quad (4)$$

**Donde:**

**D** = Profundidad Focal

**a, b, c, d:** Coeficientes

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

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

## Ecuaciones para sismos de Subducción

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

$$\ln(y) = -0,6687 + 1,438M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \ln(R + 1,097e^{0,617M}) + 0,00648H + 0,3643 Z_T \quad (5)$$

### Donde:

**Y** = Aceleración Espectral en g

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

**M** = Magnitud de Momento

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

**H** = Profundidad Focal

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

- **Modelo de Zhao (2006)**

$$\log y = aMw + bx - \log(r) + e(h - hc) \delta h + FR + I + Ss + SSL \log(x) + Ck \quad (6)$$

### Dónde:

**M**: Magnitud de momento

**a, b, e, Ck**: Coeficientes

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

**h**: Profundidad focal

**hc**: Constante

**Ck**: Clase de sitio

## **2.2 HIPÓTESIS**

¿El estudio de peligro sísmico determinista influye en el comportamiento de las estructuras del cantón Ambato - sector “Miñarica I”?

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

### **2.3.1 Variable Dependiente**

Nivel de amenaza de las estructuras del cantón Ambato - sector Miñarica I.

### **2.3.2 Variable Independiente**

Peligro sísmico.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

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

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

Exploratorio porque el peligro sísmico para las estructuras del canton Ambato – Sector “Miñarica I” no se ha realizado, la metodología es evaluar los espectros de respuesta de los sistemas de fallas seleccionadas con el espectro propuesto por la NEC 15.

De laboratorio ya que se realizará ensayos que permitan determinar el tipo de perfil de suelo mediante el ensayo de penetración estándar SPT. Se utilizará el laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

#### **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **Población:**

El Estudio de Peligro Sísmico Determinista se lo realizará para el Sector “Miñarica I”. Para ello es necesario conocer las características geotectónicas del suelo y las Ecuaciones de predicción de movimiento de suelo (GMPEs) a ser empleadas.

##### **Muestra:**

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

Las Ecuaciones de predicción de movimiento de suelo (GMPEs) a ser empleadas son:

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

Para el presente proyecto se tomaron estructuras de 2, 3 y 6 pisos siendo las de mayor altura en el área de estudio.

### 3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.3.1 Variable Independiente

Peligro Sísmico

Tabla 2. Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
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.	-Magnitud de Momento	-Longitud de ruptura superficial	-¿Cuál es la Longitud de ruptura superficial?	-Experimental -Bibliográfica
	-Distancia a la fuente	-Distancia de Joyner-Boore	- ¿Cuál es la Distancia de Joyner-Boore?	-Experimental -Bibliográfica
	-Velocidad media de la onda de cortante	-Correlación empírica (Nspt)	- ¿Cuál es la Correlación empírica empleada?	-Experimental -Bibliográfica
	-Fuentes sísmicas	- Fallas Geológicas	- ¿Cuál son las Fallas geológicas cercanas al área de estudio?	-Experimental -Bibliográfica
	-Ecuaciones de Atenuación	-Aceleración	-¿Cuál es la Aceleración esperada?	-Experimental -Bibliográfica

Fuente: Nelson Sánchez

### 3.3.2 Variable Dependiente

Comportamiento de las estructuras del cantón Ambato - sector “Miñarica I”

Tabla 3. Operacionalización de la variable dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Es la probabilidad de ocurrencia de un sismo en un determinado sitio, durante un periodo de tiempo.	-Configuración estructural	-Derivas	- ¿Cuáles son las derivas máximas obtenidas?	-Experimental -Bibliográfica
		-Cortantes estáticos	- ¿Cuáles son los cortantes estáticos obtenidos?	-Experimental -Bibliográfica
		-Cortantes dinámicos	- ¿Cuáles son los cortantes dinámicos obtenidos?	-Experimental -Bibliográfica

Fuente: Nelson Sánchez

### 3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla 4. Plan de recolección de información

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

Fuente: Nelson Sánchez

### **3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

El proceso a seguir será de la siguiente manera:

- Identificación del régimen tectónico en base al área de estudio.
- Selección de las fallas más importantes que afectan al área de estudio, basado en NeoTec/Ecuador.
- Determinación de la magnitud máxima de las fallas seleccionadas, basado en la metodología de Wells – Coppersmith.
- Identificación del tipo de perfil de suelo mediante el ensayo de penetración estándar SPT, basado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Estimar la aceleración máxima de suelo de acuerdo al régimen tectónico, basado en Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPEs).
- Comparación de espectro de respuesta analizada con los de la NEC-15.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

##### 4.1.1 Régimen Tectónico

El sector de Miñarica I se encuentra ubicado en la ciudad de Ambato aproximadamente en 2580 msnm en la región interandina del Ecuador. Ambato posee una superficie de 1200 km<sup>2</sup> aproximadamente. La ciudad está ubicada en la provincia de Tungurahua siendo esta una región sísmica y volcánica. [20]

##### **Caracterización de la sismicidad en el Ecuador**

El origen de los eventos sísmicos en la ciudad de Ambato tiene dos fuentes principales que son la tectónica debida al fallamiento cortical o procesos de subducción y la volcánica. [21]

La sismicidad en nuestro país difiere en las características geológicas y tectónicas de cada región, dependiendo de las estructuras en la zona, composición del subsuelo y fallas tectónicas activas que afectan al lugar. [22]

Un análisis estadístico de la sismicidad histórica en el Ecuador muestra una alta concentración de eventos a nivel del Valle Interandino; esto puede ser debido a la mayor densidad poblacional de la zona y por ende mayor cantidad de infraestructuras. [22]

El Ecuador tiene tres tipos de regímenes tectónicos que son: Cortical, subducción interplaca y subducción intraplaca. [22]

Los sismos de Origen tectónico pueden alcanzar magnitudes de hasta 9,5 Mw. Los de origen volcánico tienen magnitudes generalmente bajas que se encuentran entre 1 y 4,5 grados con profundidades superficiales que van de 1 a 10 km. [22]

La principal acumulación de energía para la generación de sismos es la subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana. Un ejemplo de esto es el sismo del 31 de enero de

1906 ocurrido frente a las costas de Esmeraldas con una magnitud de 8,8 siendo este considerado un evento alto en la escala Mundial. [22]

A continuación se muestran los eventos más destructivos asociados al régimen de subducción: [22]

Tabla 5. Eventos más destructivos asociados al régimen de Subducción

<b>Lugar</b>	<b>Magnitud Mw</b>	<b>Año</b>	<b>Epicentro</b>
Esmeraldas	8,8	1906	Costas afuera de Mompiche
Manabí	7,8	1942	Pedernales
Manabí	7,8	1958	Pedernales
Esmeraldas	8,1	1979	Costas afuera de San Lorenzo
Manabí	7,8	2016	Pedernales

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

En nuestro territorio el número de sismos que se han registrado pueden sumar varios miles en cada año. Entre los sismos de mayor intensidad registrada a través del tiempo, detallamos los más importantes cuya intensidad afectó a la ciudad de Ambato:

Uno de los sismos históricos registrados en nuestro territorio es el de febrero de 1797 que tuvo lugar en la ciudad de Riobamba, el mismo que registro una intensidad máxima de XI (Escala MKS). Por sus efectos causados, este ha sido el evento sísmico que más daño ha causado en nuestro país hasta la actualidad. Dicho evento ocasionó cambios en la topografía de la ciudad por lo que posteriormente fue reubicada en el lugar que ocupa actualmente. Como resultado de esto se produjeron daños en provincias aledañas como Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar y Pichincha. [22]

El sismo del 5 de agosto de 1949, conocido como Terremoto de Ambato o Pelileo, tuvo un alto potencial destructivo debido a la generación de grandes deslizamientos por efectos de sitio en la localidad de Pelileo. Su epicentro se ubica en una falla al sur del Nido Sísmico de Pisayambo, aproximadamente a 20 km nororiente de Pelileo. La magnitud

calculada en función de las intensidades generadas es de 6.8 con una profundidad menor a 15 km. [23]

La destrucción de Pelileo fue tal que la ciudad debió reconstruirse en otro sitio, aunque con posterioridad se repobló el lugar afectado que en la actualidad lleva el nombre de Pelileo Viejo. Los efectos del terremoto se extendieron hasta las provincias de Tungurahua, Cotopaxi, parte de Bolívar, Pichincha y Pastaza. [23]

El sismo registrado el 16 de abril del 2016 en la Provincia de Manabí tuvo una magnitud de 7.8 Mw (magnitud momento), cuyo hipocentro se ubicó frente a Pedernales a 20 km de profundidad. Este evento sísmico fue resultado del desplazamiento entre dos placas tectónicas: la placa de Nazca y la Sudamericana. El mismo fenómeno de subducción originó los sismos del 31 enero 1906 (Mw 8.8), que es el más grande registrado en Ecuador y el sexto más grande a escala mundial; el del 14 mayo 1942 (Mw 7.8); 19 enero de 1958 (Mw 7.8) y del 12 diciembre de 1979 (Mw 8.1). [24]

La Tabla 5 muestra los eventos sísmicos que se han sentido con mayor intensidad en la ciudad de Ambato. Se encuentran ordenados cronológicamente con sus respectivas intensidades.

Tabla 6. Intensidades sentidas en la ciudad de Ambato

<b>EVENTO</b>	<b>AÑO</b>	<b>INTENSIDAD</b>	<b>ESCALA</b>
Sismo de Lima - Perú	1687	VIII	MSK
Sismo de Riobamba - Ambato	1698	IX	MSK
Sismo de Riobamba	1797	X	MSK
Sismo de Ambato - Pelileo	1949	X	MSK
Sismo de Pedernales	2016	V	MSK

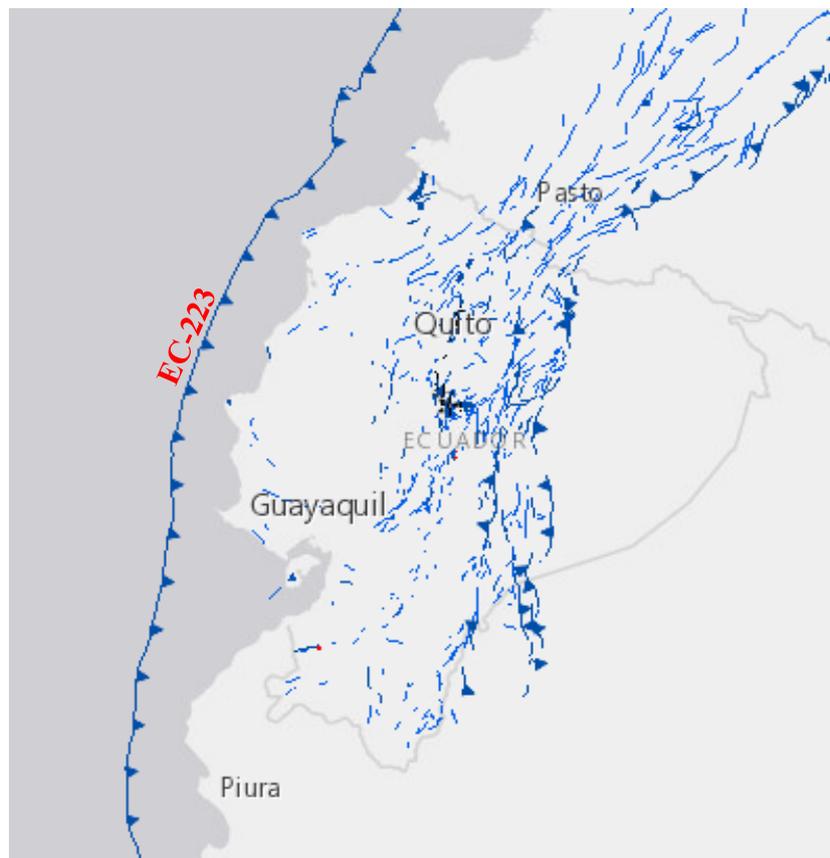
Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

#### 4.1.2 Selección de Fallas Geológicas

El criterio para la selección de fallas se lo realizó en base a su longitud y su distancia de la fuente al sitio de estudio. Como dato adicional se puede mencionar que las fallas inversas generan sismos de gran magnitud.

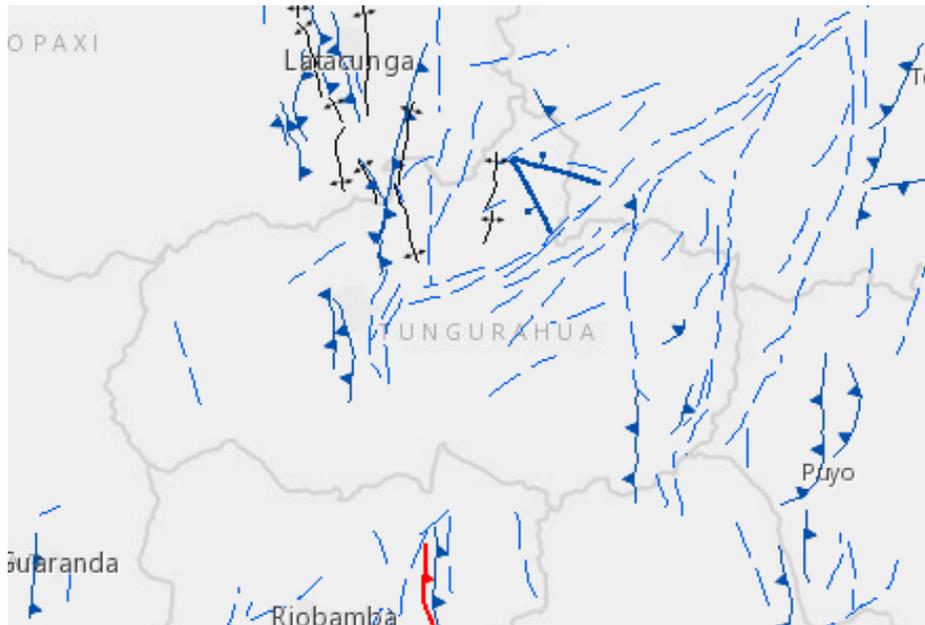
La Longitud de cada falla se la tomó en base a la medición en la plataforma virtual de la Neo-Tec en Ecuador, en la cual se puede obtener la información de las fallas activas en el país.

Figura 17. Fallas Geológicas del Ecuador



Fuente: Neo Tec – Ecuador

Figura 18. Fallas Geológicas Tungurahua



Fuente: Neo Tec - Ecuador

Figura 19. Fallas Geológicas Ambato



Fuente: Neo Tec – Ecuado

Figura 20. Fallas Geológicas en el Área de Estudio



Fuente: Neo Tec - Ecuador

Se determinó un punto medio para el área de estudio tomando una distancia mínima horizontal a la proyección de la superficie del plano de ruptura establecida por Joyner-Boore (Rjb). De esta manera se procedió a medir en el Google Earth una distancia perpendicular a dicho punto. [38]

Figura 21. Distancia perpendicular más cercana a la Falla.



Fuente: Google Earth

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

Tabla 7. Longitud y distancia de Fallas Geológicas en estudio

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	LONGITUD (Km)	DISTANCIA AL SÍTIO (Km)
EC-344b	AMBATO	Inversa Ciega	16,20	0,72
EC-344a	HUACHI	Inversa Ciega	12,00	0,46
EC-345	TOTORAS	Transcurrente Inversa Ciega	17,60	5,17
EC-54	SAMANGA	Inversa Ciega	32,80	9,46
EC-223	SUBDUCCIÓN	Inversa/Subduccion	1532,00	296,43

Fuente: NeoTec – Ecuador

### 4.1.3 Características del Suelo

Los suelos se definen como materiales que poseen partículas de tamaño menor a 3" y se los puede clasificar en base a su composición granulométrica y sus características de plasticidad, indicados en la Tabla 17 establecida por el sistema SUCS. [25]

Los suelos se clasifican como gruesos cuando más del 50 % de sus partículas son de tamaño mayor que 0,075 mm (tamiz N°200) y como finos cuando el 50% de sus partículas o más, son de menor tamaño. [25]

Tabla 8. Clasificación de los suelos con base en el SUCS

Tipo	Sub-Tipos	Identificación	Símbolo de Grupo		
Suelos (partículas menores de 7.5 cm)	<b>SUELOS GRUESOS</b> Más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 (0.075 mm)	<b>GRAVA</b> Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla N°4	<b>GRAVA LIMPIA</b> (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 ( $C_u$ ) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) entre 1 y 3 <sup>11</sup>	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GW
			<b>GRAVA CON FINOS</b> (Cantidad apreciable de partículas finas) Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GP
			<b>GRAVA CON FINOS</b> (Cantidad apreciable de partículas finas) Grava arcillosa; mezclas de grava, arena y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	GM
			<b>GRAVA CON FINOS</b> (Cantidad apreciable de partículas finas) Grava arcillosa; mezclas de grava, arena y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	GC
		<b>ARENA</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4	<b>ARENA LIMPIA</b> (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 ( $C_u$ ) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) entre 1 y 3 <sup>11</sup>	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SW
			<b>ARENA CON FINOS</b> (Cantidad apreciable de partículas finas) Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SP
			<b>ARENA CON FINOS</b> (Cantidad apreciable de partículas finas) Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	SM
			<b>ARENA CON FINOS</b> (Cantidad apreciable de partículas finas) Arena arcillosa; mezclas de arena, grava y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	SC
	<b>SUELOS FINOS</b> Más de la mitad del material pasa la malla N°200 (0,075 mm)	<b>LIMO Y ARCILLA</b> Límite líquido	Menor de 50% Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	ML	
			Menor de 50% Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CL	
		Mayor de 50%	Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OL	
			Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	MH	
			Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CH	
		Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la Carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OH		
<b>ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>		Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	P <sub>i</sub>		

Fuente: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

En las siguientes tablas se presentan los resultados del análisis granulométrico de cada muestra de suelo, donde se clasifica el tipo de suelo en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). [25]

Tabla 9. Análisis granulométrico. (Pozo 1)

<b>PRIMER METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	0	0,00%	100,00%
#10	7,30	3,88%	96,12%
#40	10,70	5,69%	94,31%
#60	9,10	4,84%	95,16%
#100	22,40	11,91%	88,09%
#200	54,60	29,03%	70,97%
RETENIDO HASTA #200	104,10	55,34%	44,66%
FUENTE	84,00	44,66%	
TOTAL	188,10	100,00%	
<b>SEGUNDO METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b>#4</b>	<b>0</b>	0,00%	100,00%
#10	17,10	11,17%	88,83%
#40	27,00	17,64%	82,36%
#60	17,40	11,37%	88,63%
#100	18,20	11,89%	88,11%
#200	27,70	18,09%	81,91%
RETENIDO HASTA #200	107,40	70,15%	29,85%
FUENTE	45,70	29,85%	
<b>TOTAL</b>	<b>153,10</b>	100,00%	

<b>TERCER METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	0	0,00%	100,00%
#10	3,90	2,08%	97,92%
#40	29,00	15,46%	84,54%
#60	19,30	10,29%	89,71%
#100	25,30	13,49%	86,51%
#200	48,40	25,80%	74,20%
RETENIDO HASTA #200	125,90	67,11%	32,89%
FUENTE	61,70	32,89%	
TOTAL	187,60	100,00%	

Elaboración: Nelson Sánchez

De la tabla de granulometría anterior se determinó que en cada metro calculado más del 50% del total de la muestra es retenido en el tamiz N°200 por lo que se determina que es un suelo grueso. Dado que más del 50% del total de la muestra pasa el tamiz N°4 y más del 12% en masa pasa el tamiz N°200, el tipo de suelo será arena limosa (SM). [25]

Tabla 10. Análisis granulométrico (Pozo 2)

<b>PRIMER METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	0	0,00%	100,00%
#10	6,80	2,35%	97,65%
#40	46,80	16,20%	83,80%
#60	30,70	10,63%	89,37%
#100	38,50	13,33%	86,67%

#200	69,40	24,02%	75,98%
RETENIDO HASTA #200	192,20	66,53%	33,47%
FUENTE	96,70	33,47%	
TOTAL	288,90	100,00%	
<b>SEGUNDO METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	0	0,00%	100,00%
#10	11,80	4,34%	95,66%
#40	46,00	16,91%	83,09%
#60	22,70	8,34%	91,66%
#100	28,60	10,51%	89,49%
#200	55,70	20,47%	79,53%
RETENIDO HASTA #200	164,80	60,57%	39,43%
FUENTE	107,30	39,43%	
<b>TOTAL</b>	<b>272,10</b>	<b>100,00%</b>	
<b>TERCER METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	0	0,00%	100,00%
#10	3,90	1,94%	98,06%
#40	55,20	27,45%	72,55%
#60	40,50	20,14%	79,86%
#100	27,20	13,53%	86,47%
#200	30,80	15,32%	84,68%
RETENIDO HASTA #200	157,60	78,37%	21,63%
FUENTE	43,50	21,63%	
TOTAL	201,10	100,00%	

Elaboración: Nelson Sánchez

De la tabla de granulometría anterior se determinó que en cada metro calculado más del 50% del total de la muestra es retenido en el tamiz N°200 por lo que se determina que es un suelo grueso. Dado que más del 50% del total de la muestra pasa el tamiz N°4 y más del 12% en masa pasa el tamiz N°200, el tipo de suelo será arena limosa. (SM). [25]

Tabla 11. Análisis granulométrico (Pozo 3)

<b>PRIMER METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	2,7	1,70%	98,30%
#10	8,90	5,62%	94,38%
#40	37,00	23,36%	76,64%
#60	16,20	10,23%	89,77%
#100	18,10	11,43%	88,57%
#200	29,10	18,37%	81,63%
RETENIDO HASTA #200	109,30	69,00%	31,00%
FUENTE	46,40	29,29%	
TOTAL	158,40	100,00%	
<b>SEGUNDO METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	0,5	0,14%	99,86%
#10	13,80	3,78%	96,22%
#40	53,70	14,71%	85,29%
#60	45,40	12,44%	87,56%
#100	49,50	13,56%	86,44%
#200	58,30	15,97%	84,03%
RETENIDO HASTA #200	220,70	60,47%	39,53%

FUENTE	143,80	39,40%	
TOTAL	365,00	100,00%	
<b>TERCER METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	3,5	1,44%	98,56%
#10	6,50	2,68%	97,32%
#40	34,80	14,33%	85,67%
#60	28,70	11,82%	88,18%
#100	27,80	11,45%	88,55%
#200	36,20	14,90%	85,10%
RETENIDO HASTA #200	134,00	55,17%	44,83%
FUENTE	105,40	43,39%	
TOTAL	242,90	100,00%	
<b>CUARTO METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	0,00	0,00%	100,00%
#10	19,20	5,78%	94,22%
#40	75,90	22,83%	77,17%
#60	43,20	13,00%	87,00%
#100	42,60	12,82%	87,18%
#200	51,20	15,40%	84,60%
RETENIDO HASTA #200	232,10	69,83%	30,17%
FUENTE	100,30	30,17%	
TOTAL	332,40	100,00%	
<b>QUINTO METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>

	<b>ACUMULADO</b>		
	<b>(gr)</b>		
#4	0,00	0,00%	100,00%
#10	7,20	1,42%	98,58%
#40	77,00	15,19%	84,81%
#60	55,10	10,87%	89,13%
#100	67,70	13,36%	86,64%
#200	127,70	25,20%	74,80%
RETENIDO HASTA #200	334,70	66,04%	33,96%
FUENTE	172,10	33,96%	
TOTAL	506,80	100,00%	

Elaboración: Nelson Sánchez

De la tabla de granulometría anterior se determinó que en cada metro calculado más del 50% del total de la muestra es retenido en el tamiz N°200 por lo que se determina que es un suelo grueso. Dado que más del 50% del total de la muestra pasa el tamiz N°4 y más del 12% en masa pasa el tamiz N°200, el tipo de suelo será arena limosa. (SM). [25]

Tabla 12. Análisis granulométrico (Pozo 4)

<b>PRIMER METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	2,00	0,52%	99,48%
#10	16,20	4,22%	95,78%
#40	54,00	14,08%	85,92%
#60	34,70	9,05%	90,95%
#100	59,50	15,51%	84,49%
#200	88,30	23,02%	76,98%
RETENIDO HASTA #200	252,70	65,88%	34,12%
FUENTE	128,90	33,60%	

TOTAL	383,60	100,00%	
<b>SEGUNDO METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	0,00	0,00%	100,00%
#10	141,90	15,39%	84,61%
#40	213,50	23,16%	76,84%
#60	78,60	8,53%	91,47%
#100	99,50	10,79%	89,21%
#200	140,40	15,23%	84,77%
RETENIDO HASTA #200	673,90	73,11%	26,89%
FUENTE	247,90	26,89%	
TOTAL	921,80	100,00%	
<b>TERCER METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	0,00	0,00%	100,00%
#10	18,80	2,42%	97,58%
#40	268,10	34,48%	65,52%
#60	151,20	19,44%	80,56%
#100	98,80	12,71%	87,29%
#200	79,80	10,26%	89,74%
RETENIDO HASTA #200	616,70	79,31%	20,69%
FUENTE	160,90	20,69%	
TOTAL	777,60	100,00%	
<b>CUARTO METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>

	<b>ACUMULADO</b> <b>(gr)</b>		
#4	0,00	0,00%	100,00%
#10	276,60	28,75%	71,25%
#40	175,50	18,24%	81,76%
#60	105,90	11,01%	88,99%
#100	101,60	10,56%	89,44%
#200	109,70	11,40%	88,60%
RETENIDO HASTA #200	769,30	79,95%	20,05%
FUENTE	192,90	20,05%	
TOTAL	962,20	100,00%	
<b>QUINTO METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO</b> <b>RETENIDO</b> <b>ACUMULADO</b> <b>(gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	0,00	0,00%	100,00%
#10	10,80	1,34%	98,66%
#40	57,80	7,16%	92,84%
#60	60,50	7,49%	92,51%
#100	107,30	13,29%	86,71%
#200	174,00	21,55%	78,45%
RETENIDO HASTA #200	410,40	50,83%	49,17%
FUENTE	397,00	49,17%	
TOTAL	807,40	100,00%	

Elaboración: Nelson Sánchez

De la tabla de granulometría anterior se determinó que en cada metro calculado más del 50% del total de la muestra es retenido en el tamiz N°200 por lo que se determina que es un suelo grueso. Dado que más del 50% del total de la muestra pasa el tamiz N°4 y más del 12% en masa pasa el tamiz N°200, el tipo de suelo será arena limosa. (SM). [25]

Tabla 13. Análisis granulométrico (Pozo 5)

<b>PRIMER METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	0	0,00%	100,00%
#10	2,40	0,77%	99,23%
#40	69,20	22,29%	77,71%
#60	45,50	14,65%	85,35%
#100	47,00	15,14%	84,86%
#200	50,40	16,23%	83,77%
RETENIDO HASTA #200	214,50	69,08%	30,92%
FUENTE	96,00	30,92%	
TOTAL	310,50	100,00%	
<b>SEGUNDO METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	0	0,00%	100,00%
#10	5,80	1,32%	98,68%
#40	106,70	24,29%	75,71%
#60	78,90	17,96%	82,04%
#100	66,50	15,14%	84,86%
#200	61,50	14,00%	86,00%
RETENIDO HASTA #200	319,40	72,71%	27,29%
FUENTE	119,90	27,29%	
TOTAL	439,30	100,00%	
<b>TERCER METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>

	<b>ACUMULADO</b> <b>(gr)</b>		
#4	0	0,00%	100,00%
#10	4,30	1,07%	98,93%
#40	81,80	20,36%	79,64%
#60	55,00	13,69%	86,31%
#100	54,80	13,64%	86,36%
#200	73,80	18,37%	81,63%
RETENIDO HASTA #200	269,70	67,14%	32,86%
FUENTE	132,00	32,86%	
TOTAL	401,70	100,00%	
<b>CUARTO METRO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO</b> <b>RETENIDO</b> <b>ACUMULADO</b> <b>(gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
#4	0	0,00%	100,00%
#10	9,20	1,79%	98,21%
#40	163,00	31,65%	68,35%
#60	66,70	12,95%	87,05%
#100	69,50	13,50%	86,50%
#200	85,30	16,56%	83,44%
RETENIDO HASTA #200	393,70	76,45%	23,55%
FUENTE	121,30	23,55%	
TOTAL	515,00	100,00%	

Elaboración: Nelson Sánchez

De la tabla de granulometría anterior se determinó que en cada metro calculado más del 50% del total de la muestra es retenido en el tamiz N°200 por lo que se determina que es un suelo grueso. Dado que más del 50% del total de la muestra pasa el tamiz N°4 y más del 12% en masa pasa el tamiz N°200, el tipo de suelo será arena limosa. (SM). [25]

#### 4.1.3.1 Ensayo de Penetración Estándar

El Ensayo de Penetración Estándar se realizará en base a los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 689. [26]

Preparación previa al ensayo

- a) Efectuada la perforación y alcanzada la profundidad a la que se va a realizar el ensayo, se limpia el pozo, cuidando que el material a muestrear no resulte alterado por dicha operación.
- b) Cuando se detecten suelos sin cohesión, poco cohesivos o muy blandos, debe asegurarse la estabilidad de las paredes de la perforación entibando la misma.
- c) En el caso de arenas o limos saturados, las herramientas de perforación deben retirarse lentamente, para impedir el derrumbamiento de las paredes del pozo.
- d) No se debe entibar una perforación más abajo del nivel en que se va a tomar la muestra. [26]

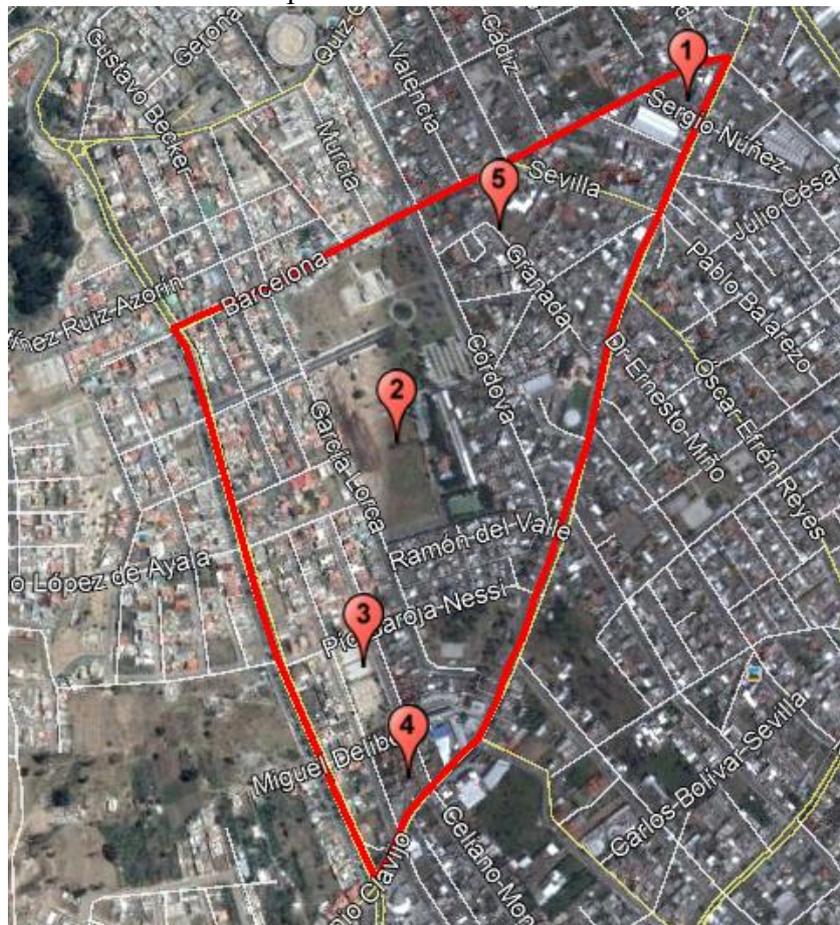
Procedimiento de ensayo

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

- f) Luego del hincado y antes de extraer el muestreador a la superficie debe girarse por lo menos dos revoluciones, luego de lo cual, se extrae el muestreador a la superficie, se lo abre y se determina la longitud de la muestra recuperada.
- g) La muestra se la debe acondicionar y cerrar herméticamente en un envase apropiado para su envío al laboratorio. Para la identificación de las muestras, los recipientes que las contengan deben etiquetarse adecuadamente. [26]

En la siguiente figura se muestra la ubicación de cada uno de los puntos en los que se realizó el ensayo SPT.

Figura 22. Ubicación de las perforaciones realizadas en el Sector “Miñarica I”



Fuente: Google Earth

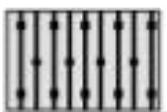
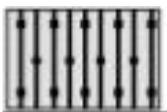
Tabla 14. Coordenadas UTM de cada perforación realizada en el Sector “Miñarica I”

	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>	<b>ZONA</b>
P1	9861024.00 m S	763311.00 m E	17 M
P2	9860550.00 m S	762908.00 m E	17 M
P3	9860244.00 m S	762865.00 m E	17 M
P4	9860095.00 m S	762927.00 m E	17 M
P5	9860842.00 m S	763049.00 m E	17 M

Elaboración: Nelson Sánchez

En las siguientes tablas se muestran los valores NSPT obtenidos en cada uno de los ensayos realizados en los cuales se procedió a sumar los dos últimos valores parciales para obtener el valor de NSPT total de cada metro perforado.

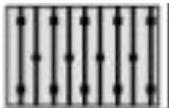
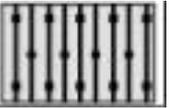
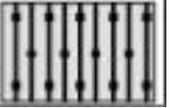
Tabla 15. Ensayo de Penetración Estándar – (Pozo 1)

<b>CLASIFICACIÓN S.U.C.S.</b>		<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>NSPT(Parcial)</b>	<b>NSPT(Total)</b>
SM 	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	0,5	Limpieza	34
		0,7	14	
		0,85	14	
		1	20	
SM 	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	1,5	23	34
		1,7	16	
		1,85	17	
		2	17	
SM 	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	2,5	27	93
		2,7	33	
		2,85	45	
		3	48	
Nivel de Rechazo: 3,00m				

Elaboración: Nelson Sánchez

En la tabla anterior podemos observar que el ensayo SPT se lo realizó hasta el nivel de rechazo debido a las características del suelo.

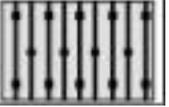
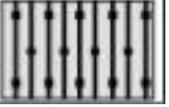
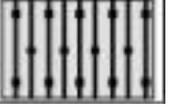
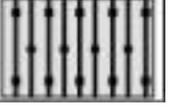
Tabla 16. Ensayo de Penetración Estándar – (Pozo 2)

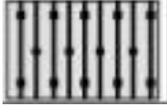
CLASIFICACIÓN S.U.C.S.		PROFUNDIDAD (m)	NSPT(Parcial)	NSPT(Total)
	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	0,5	Limpieza	37
		0,7	16	
		0,85	19	
		1	18	
	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	1,5	20	58
		1,7	20	
		1,85	27	
		2	31	
	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	2,5	35	91
		2,7	39	
		2,85	44	
		3	47	
Nivel de Rechazo: 3,00m				

Elaboración: Nelson Sánchez

En la tabla anterior podemos observar que el ensayo SPT se lo realizó hasta el nivel de rechazo debido a las características del suelo.

Tabla 17. Ensayo de Penetración Estándar – (Pozo 3)

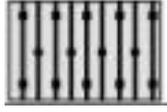
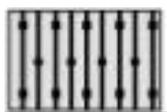
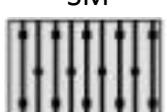
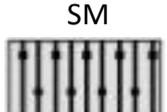
CLASIFICACIÓN S.U.C.S.		PROFUNDIDAD (m)	NSPT(Parcial)	NSPT(Total)
	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	0,50	Limpieza	55
		0,70	20	
		0,85	28	
		1,00	27	
	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	1,50	30	53
		1,70	40	
		1,85	28	
		2,00	25	
	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	2,50	25	41
		2,70	24	
		2,85	21	
		3,00	20	
	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	3,50	21	67
		3,70	25	
		3,85	30	
		4,00	37	

	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	4,50	41	100
		4,70	43	
		4,85	48	
		5,00	52	
Nivel de Rechazo: 5,00m				

Elaboración: Nelson Sánchez

En la tabla anterior podemos observar que el ensayo SPT se lo realizó hasta el nivel de rechazo debido a las características del suelo.

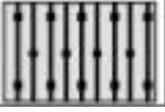
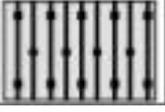
Tabla 18. Ensayo de Penetración Estándar – (Pozo 4)

CLASIFICACIÓN S.U.C.S.		PROFUNDIDAD (m)	NSPT(Parcial)	NSPT(Total)
	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	0,50	Limpieza	22
		0,70	10	
		0,85	10	
		1,00	12	
	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	1,50	15	33
		1,70	16	
		1,85	15	
		2,00	18	
	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	2,50	32	62
		2,70	38	
		2,85	34	
		3,00	28	
	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	3,50	19	62
		3,70	26	
		3,85	30	
		4,00	32	
	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	4,50	35	97
		4,70	39	
		4,85	44	
		5,00	53	
Nivel de Rechazo: 5,00m				

Elaboración: Nelson Sánchez

En la tabla anterior podemos observar que el ensayo SPT se lo realizó hasta el nivel de rechazo debido a las características del suelo.

Tabla 19. Ensayo de Penetración Estándar – (Pozo 5)

CLASIFICACIÓN S.U.C.S.		PROFUNDIDAD (m)	NSPT(Parcial)	NSPT(Total)
SM 	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	0,50	Limpieza	58
		0,70	21	
		0,85	32	
		1,00	26	
SM 	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	1,50	19	39
		1,70	20	
		1,85	21	
		2,00	18	
SM 	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	2,50	15	48
		2,70	13	
		2,85	20	
		3,00	28	
SM 	<b>Arena Limosa</b> Mezcla de arena, grava y limo.	3,50	24	82
		3,70	26	
		3,85	35	
		4,00	47	
Nivel de Rechazo: 4,00m				

Elaboración: Nelson Sánchez

En la tabla anterior podemos observar que el ensayo SPT se lo realizó hasta el nivel de rechazo debido a las características del suelo.

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

Las velocidades  $V_{s30}$  se pueden evaluar en el sitio por medio de estimaciones semiempíricas que correlacionan las velocidades de las ondas cortantes con parámetros geotécnicos, para suelos de características similares. [5]

Los parámetros que se utilizan para definir el tipo de perfil de suelo con base en los 30 m superiores del mismo son: [5]

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

La Norma ecuatoriana de la construcción establece una tabla en la que se definen seis tipos de perfil de suelo los cuales se presentan en la siguiente tabla: [5]

Tabla 20. 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	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ KPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la 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	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m 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 causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m 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 $\alpha$ ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Fuente: NEC 2015 - Peligro Sísmico

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

Para determinar la velocidad media de la onda de cortante en suelos lo ideal es recurrir a pruebas geofísicas de campo para encontrar directamente los valores mediante alguno de los métodos de geofísica sísmica. Con frecuencia, a falta de estas pruebas geofísicas se recurre a ecuaciones empíricas para estimar VS partiendo las resistencias a la penetración estándar (N). Sin embargo, es conocida la susceptibilidad de los resultados de la prueba de penetración estándar dependiendo de los equipos y metodologías con la que se realizó, por lo que los valores de VS calculados a partir de dicha prueba deben verse con mucha cautela. [27]

Para la presente investigación se procedió a utilizar las correlaciones empírica establecida por Sykora & Stokoe (1983) la cual muestra un nivel satisfactorio en el cálculo de la velocidad de onda de cortante: [27]

$$V_s = 100,5 NSPT^{0,29} \quad (7)$$

**Dónde:**

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

**Vs:** Velocidad media de la onda de cortante.

Se procedió a calcular la Velocidad media de la onda de cortante:

**POZO 1 (H=3,00m)**

$$V_s = 100,5 * 93^{0,29}$$

$$V_s = 374 \text{ m/s}$$

**POZO 2 (H=3,00m)**

$$V_s = 100,5 * 91^{0,29}$$

$$V_s = 372 \text{ m/s}$$

**POZO 3 (H=5,00m)**

$$V_s = 100,5 * 100^{0,29}$$

$$V_s = 382 \text{ m/s}$$

**POZO 4 (H=4,00m)**

$$V_s = 100,5 * 97^{0,29}$$

$$V_s = 379 \text{ m/s}$$

**POZO 5 (H=4,00m)**

$$V_s = 100,5 * 82^{0,29}$$

$$V_s = 361 \text{ m/s}$$

Al emplear esta ecuación para el número de golpes promedio de cada perforación a una altura de 4,00 m, el valor calculado se encuentra dentro del rango establecido por la NEC 2015 para un tipo de perfil de suelo C, es decir está entre  $760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$ , por lo tanto dicha ecuación satisface las necesidades de la presente investigación. [5]

**Relación de alturas para el cálculo del vs30**

Para el cálculo de la velocidad de onda de cortante total en cada perforación, se realizó la siguiente relación:

$$\frac{Vs_1}{h_1} + \frac{Vs_2}{h_2} + \frac{Vs_n}{h_n} + \dots = \frac{Vs(TOTAL)}{H} \quad (8)$$

**Dónde:**

**Vs1, Vs2, Vsn:** Velocidad media de la onda de cortante para cada estrato

**h1, h2, h3:** Altura de cada estrato

**Vs(TOTAL):** Velocidad media de la onda de cortante total

**H:** Altura total

Las siguientes tablas nos muestran los valores obtenidos de Vs30 para cada uno de los niveles establecidos:

Tabla 21. Velocidad media de la onda de cortante Vs30– (Pozo 1)

PROFUNDIDAD (m)	NSPT(Total)	Vs30 (Por estrato)	Tipo de perfil de Suelo	Vs30(Total)
0,5	34	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
0,7				
0,85				
1				
1,5	34	279	D	319,93
1,7				
1,85				
2				
2,5	93	374	C	
2,7				
2,85				
3				
Nivel de Rechazo: 3,00m				

Elaboración: Nelson Sánchez

Tabla 22. Velocidad media de la onda de cortante Vs30– (Pozo 2)

PROFUNDIDAD (m)	NSPT(Total)	Vs30 (Por estrato)	Tipo de perfil de Suelo	Vs30(Total)
0,5	37	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
0,7				
0,85				
1				
1,5	58	326	D	347,54
1,7				
1,85				
2				
2,5	91	372	C	
2,7				
2,85				
3				
Nivel de Rechazo: 3,00m				

Elaboración: Nelson Sánchez

Tabla 23. Velocidad media de la onda de cortante Vs30– (Pozo 3)

PROFUNDIDAD (m)	NSPT(Total)	Vs30 (Por estrato)	Tipo de perfil de Suelo	Vs30(Total)
0,50	55	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
0,70				
0,85				
1,00				
1,50	53	318	D	330,79
1,70				
1,85				
2,00				
2,50	41	295	D	
2,70				
2,85				
3,00				
3,50	67	340	D	
3,70				
3,85				
4,00				
4,50	100	382	C	
4,70				
4,85				
5,00				
Nivel de Rechazo: 5,00m				

Elaboración: Nelson Sánchez

Tabla 24. Velocidad media de la onda de cortante Vs30– (Pozo 4)

PROFUNDIDAD (m)	NSPT(Total)	Vs30 (Por estrato)	Tipo de perfil de Suelo	Vs30(Total)
0,50	22	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
0,70				
0,85				
1,00				
1,50	33	277	D	326,19
1,70				
1,85				
2,00				
2,50	62	333	D	
2,70				
2,85				
3,00				

3,50	62	333	D	
3,70				
3,85				
4,00				
4,50	97	379	C	
4,70				
4,85				
5,00				
Nivel de Rechazo: 5,00m				

Elaboración: Nelson Sánchez

Tabla 25. Velocidad media de la onda de cortante Vs30– (Pozo 5)

PROFUNDIDAD (m)	NSPT(Total)	Vs30 (Por estrato)	Tipo de perfil de Suelo	Vs30(Total)
0,50	58			NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN
0,70				
0,85				
1,00				
1,50	39	291	D	317,49
1,70				
1,85				
2,00				
2,50	48	309	D	
2,70				
2,85				
3,00				
3,50	82	361	C	
3,70				
3,85				
4,00				
Nivel de Rechazo: 4,00m				

Elaboración: Nelson Sánchez

Con la ecuación anteriormente mencionada, se verifica que todos los resultados se encuentran dentro del rango para el perfil de suelo tipo D. A continuación se muestran los resultados obtenidos. [5]

Tabla 26. Valores de velocidad de onda de corte (Vs30)

Sitio	Vs30	Tipo de Perfil	Vs30 (Promedio)
POZO 1	319,93	D	328,39
POZO 2	347,54	D	
POZO 3	330,79	D	
POZO 4	326,19	D	
POZO 5	317,49	D	

Elaboración: Nelson Sánchez

La Tabla 9 indica los valores obtenidos del Vs30 mediante una ecuación empírica. En la Tabla 4 de clasificación de suelos podemos corroborar los valores de Vs30 para cada perfil de suelo, donde nos indica que para el perfil D, se comprueba que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de  $360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$ , como lo especifica la NEC-15. [5]

#### 4.1.5 Ecuaciones de atenuación para Falla Cortical Intraplaca

Los sismos de origen cortical-intraplaca ocurren dentro de la placa continental, en la corteza a profundidades menores a 30 km, debido a la deformación generada por la convergencia entre las placas y por esfuerzos locales. [28]

A continuación se muestra cada uno de los modelos de atenuación para los sismos de origen cortical-intraplaca.

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

Este documento establece una serie de ecuaciones de predicción de movimiento en tierra para una componente horizontal promedio y se encuentran en función de la magnitud del terremoto, la distancia de la fuente al sitio de estudio, la velocidad de onda de cortante promedio local y el tipo de falla. Estas ecuaciones son empleadas para la aceleración pico

de la tierra (PGA), la velocidad máxima del terreno (PGV) y el 5% de pseudo-aceleración absoluta de los espectros (PSA) para períodos entre 0,01 y 10 segundos. Su derivación la hicieron de la regresión empírica de una extensa base de datos de movimientos fuertes compilada por el proyecto PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center). Los autores del presente documento establecen que para períodos inferiores a 1 segundo, se utilizó 1.574 registros con un rango de distancia de 0 km a 400 km. Estas ecuaciones representan una actualización de las GMPE publicadas por Boore y sus colegas en 1997. Boore 1997 se basó en un conjunto limitado de datos en comparación con el de Boore y Atkinson 2008. [29]

Las variables primarias son la magnitud de momento ( $M$ ), la distancia horizontal más cercana a la proyección de la superficie de falla ( $R_{JB}$ ) y la velocidad media de onda de corte desde la superficie hasta los 30m ( $V_{s30}$ ). [29]

De acuerdo a lo mencionado, 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 ( $Y$ ) en gals:

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

La función de la distancia está dada por la siguiente ecuación:

$$F_D(R_{JB}, M) = [c_1 + c_2(M - M_{ref})] \ln(R/R_{ref}) + c_3(R - R_{ref}) \quad (9)$$

Dónde:

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2} \quad (10)$$

$c_1, c_2, c_3, M_{ref}, R_{ref}$  y  $h$  son los coeficientes a ser determinados en el análisis.

Donde

$$M_{ref} = 4,5$$

$$R_{ref} = 1,00 \text{ Km (Ver Anexo B-2)}$$

La escala de magnitud viene dada por:

a)  $M \leq M_h$

$$F_M(\mathbf{M}) = \mathbf{e}_1 U + \mathbf{e}_2 SS + \mathbf{e}_3 NS + \mathbf{e}_4 RS + \mathbf{e}_5 (\mathbf{M} - \mathbf{M}_h) + \mathbf{e}_6 (\mathbf{M} - \mathbf{M}_h)^2 \quad (11)$$

b)  $M > M_h$

$$F_M(\mathbf{M}) = \mathbf{e}_1 U + \mathbf{e}_2 SS + \mathbf{e}_3 NS + \mathbf{e}_4 RS + \mathbf{e}_7 (\mathbf{M} - \mathbf{M}_h) \quad (12)$$

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 16. La “magnitud de giro”  $M_h$ , la cual representa la forma de la escala de magnitud, es un coeficiente que se debe establecer durante el análisis. [29]

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

Tipo de Falla	U	SS	NS	RS
No Especificada	1	0	0	0
Transcurrente	0	1	0	0
Normal	0	0	1	0
Inversa	0	0	0	1

Fuente: Boore y Atkinson (2008)

**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:

$$F_S = F_{LIN} + F_{NL} \quad (13)$$

Donde

$F_{LIN}$  y  $F_{NL}$  = son los términos lineales y no lineales de la ecuación, respectivamente.

El término lineal está dado por la siguiente expresión:

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln(V_{S30}/V_{ref}) \quad (14)$$

donde  $b_{lin}$  es un coeficiente que depende del período y  $V_{ref}$  es la velocidad de referencia especificada (= 760 m/s). Estos coeficientes fueron prescritos de manera empírica según el trabajo de Choi y Stewart 2005. [29]

El término no lineal está dado por:

a)  $pga_{4nl} \leq a_1$ :

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{low}/0.1) \quad (15)$$

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

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{low}/0.1) + c[\ln(pga_{4nl}/a_1)]^2 + d[\ln(pga_{4nl}/a_1)]^3 \quad (16)$$

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

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{4nl}/0.1) \quad (17)$$

donde ( $a_1=0.03g$ ) y ( $a_2=0.09g$ ), ya que se les asignan niveles para la amplificación lineal y no lineal, respectivamente. [29]

$pga_{low}$  toma el valor de 0.06 y es una variable asignada a la transición entre comportamientos lineales y no lineales. [29]

$pga_{4nl}$  representa la predicción de PGA en g para  $V_{ref}= 760m/s$ , dada por la ecuación principal con  $F_s= 0$  y  $\xi=0$ . [29]

Los coeficientes  $c$  y  $d$  en la Ecuación b están dados por:

$$c = (3\Delta y - b_{nl}\Delta x/\Delta x^2) \quad (18)$$

y

$$d = -(2\Delta y - b_{nl}\Delta x/\Delta x^3) \quad (19)$$

donde

$$\Delta x = \ln(a_2/a_1) \quad (20)$$

y

$$\Delta y = b_{nl} \ln(a_2/pga\_low) \quad (21)$$

La pendiente no lineal  $b_{nl}$  es una función dada por:

a)  $V_{S30} \leq V_1$

$$b_{nl} = b_1 \quad (22)$$

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

$$b_{nl} = (b_1 - b_2) \ln(V_{S30}/V_2) / \ln(V_1/V_2) + b_2 \quad (23)$$

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

$$b_{nl} = b_2 \ln(V_{S30}/V_{ref}) / \ln(V_2/V_{ref}) \quad (24)$$

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

$$b_{nl} = 0.0 \quad (25)$$

donde  $V_1 = 180m/s$ ,  $V_2 = 300m/s$  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 propuestas por los autores no deben ser aplicadas para sitios de roca muy dura. Las ecuaciones son aplicables para:

- $M_w = 5-8$
- $V_{s30} = 180-1300$  m/s
- $RJB < 200$  km

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

Akkar y Bommer (2007a) presentaron un nuevo modelo de Ecuación de Predicción, basado en la misma base de datos que Ambraseys y otros en el 2005. La principal motivación fue ampliar el rango de períodos de respuesta cubiertos por las ecuaciones, ya que Ambraseys solo cubrieron el rango hasta 2.5 segundos. [30]

Las ecuaciones de Akkar y Bommer (2007a) fueron derivadas para predecir los desplazamientos espectrales (SD) y obtener una ecuación para la aceleración máxima del terreno (PGA). [30]

Para el presente modelo, los autores usaron un conjunto de datos que consta de 532 acelerogramas registrados a distancias de hasta 100 km y 131 terremotos con magnitudes de Mw 5 a Mw 7.6. La forma funcional para la predicción de la aceleración pseudoespectral del 5% se encuentra en unidades de cm/s<sup>2</sup>: [30]

$$\log y = \mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2 \mathbf{M} + \mathbf{b}_3 \mathbf{M}^2 + (\mathbf{b}_4 + \mathbf{b}_5 \mathbf{M}) \log \sqrt{\mathbf{R}_{JB}^2 + \mathbf{b}_6^2} + \mathbf{b}_7 \mathbf{S}_S + \mathbf{b}_8 \mathbf{S}_A + \mathbf{b}_9 \mathbf{F}_N + \mathbf{b}_{10} \mathbf{F}_R + \boldsymbol{\varepsilon} \boldsymbol{\sigma}$$

donde  $\mathbf{S}_S$  y  $\mathbf{S}_A$  toman el valor de 1 para suelos blandos y rígidos ( $\mathbf{V} < 360 \text{ m/s}$ ); de lo contrario para los sitios de roca ( $\mathbf{V}_{S30} > 750 \text{ m/s}$ ) es cero. [30]

De manera similar,  $\mathbf{F}_N$  y  $\mathbf{F}_R$  toman el valor de la unidad para terremotos de fallas normales e inversas respectivamente, de lo contrario, es cero. [30]

Uno de los aspectos a explorar para estas ecuaciones paneuropeas es la exclusión de la profundidad focal, ya que el modelo utilizado emplea la distancia de Joyner-Boore la cual se mide horizontalmente en la superficie y no se incluya una profundidad a la cima de término de interrupción. [30]

**Categorías:**

- Suelo blando: SS= 1; SA= 1; Vs30 < 360m/s.
- Suelo rígido: SS= 1; SA= 1;
- Roca: SS= 0; SA= 0; Vs30 > 750m/s.

**Categorías mecanismo de falla:**

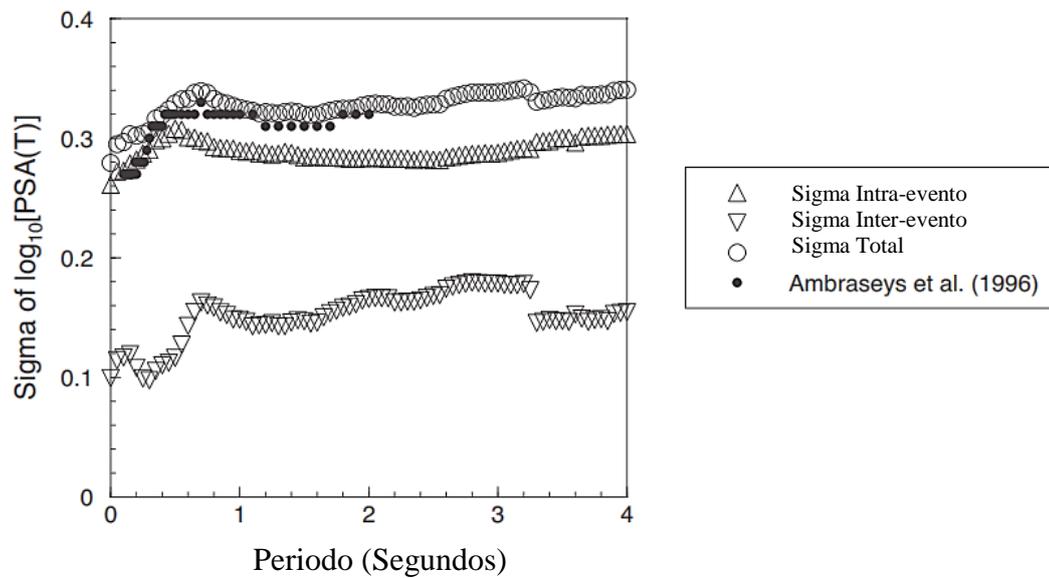
- Falla normal: FN= 1; FR= 1
- Falla inversa: FN= 1; FR= 1
- Falla transcurrente: FN= 0; FR= 0

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:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (26)$$

Los valores sigma para estas ecuaciones son del orden esperado y no muestran grandes fluctuaciones en el rango de período. Sin embargo, hay un salto muy pronunciado en los valores de sigma, más notablemente en la variabilidad entre eventos, en aproximadamente 3,2 segundos. Esto corresponde a un período en el cual hay una reducción repentina y dramática en el número de registros utilizados en el análisis de regresión como resultado del período máximo utilizable definido. [30]

Figura 23. Valores entre eventos, dentro del evento y sigma total de ecuaciones nuevas en diferentes períodos de respuesta. Las sigmas totales de las ecuaciones de Ambraseys y otros (1996) se muestran para la comparación.



Fuente: Akkar y Bommer (2010)

### Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones tienen las siguientes limitaciones:

- Se usan para períodos de hasta 3 segundos
- El rango de aplicabilidad de estas nuevas ecuaciones es para distancias de hasta 100 km y para terremotos de magnitudes entre 5.0 y 7.6.

#### 4.1.5.3 Modelo 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. [31]

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). [31]

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. [31]

#### Eventos Superficiales

Si  $D \leq 30$  Km:

$$\log \text{pre} = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 10^{0.5 M_w}) + c_1 + \epsilon_1$$

#### Eventos Profundos

Si  $D > 30$  Km:

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

#### Donde:

$\text{pre}$  = PGA previsto en ( $\text{cm}/\text{seg}^2$ )

$D$  = profundidad focal (km)

$a_1, b_1, C_1, d_1, a_2, b_2$  y  $C_2$  = coeficientes de regresión.

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

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)

### **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.

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

En las zonas de subducción se pueden distinguir dos tipos de eventos: los sismos intraplaca y los interplaca. [32]

Los 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. [32]

Los 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. [32]

La profundidad para estos modelos de subducción será de 125 km, ya que en eventos registrados las profundidades han sido mayores a los 100 km. [32]

A continuación se presentan los modelos de atenuación para subducción de zonas sísmicas.

##### **4.1.6.1 Modelo 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. [32]

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. [32]

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. [32]

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):

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

**Donde:**

Y = aceleración espectral en g.

Z<sub>T</sub>= Tipo de origen, 0 para interplaca, 1 para intraplaca.

**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<sub>w</sub>= 5
- Profundidades focales entre 10 y 229 km

#### 4.1.6.2 Modelo 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. [33]

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. [33]

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. [33]

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. [33]

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

$$r = x + c \exp(d Mw) \quad (27)$$

**Donde:**

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

$Mw$  = magnitud del momento

$x$  = distancia fuente en kilómetros

$h$  = profundidad focal en kilómetros.

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

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

- Cuando  $h > h_c$  el término de la profundidad  $e^{-(h-h_c)}$  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  $< 25$  km).

### **Profundidades focales**

Evento Cortical:  $h = 0 - 25$  km

Eventos interplaca:  $h = 10 - 50$  km

Eventos intraplaca:  $h = 15 - 162$  km

## 4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 4.2.1 Magnitud de las fallas

La magnitud de momento  $M_w$  se obtendrá por medio de la siguiente ecuación establecida por Wells y Coppersmith en el documento de “Nuevas relaciones empíricas entre magnitud, longitud de ruptura, Ancho de ruptura, área de ruptura y desplazamiento de superficie”. [34]

$$M = a + b * \log(SRL) \quad (28)$$

Dónde:

a, b: Coeficientes que dependen del tipo de falla

SRL: Longitud de rotura superficial de la falla (km)

Las longitudes de ruptura para esta ecuación se tomarán de la Tabla 5.

#### **Cálculo de la Magnitud de Momento para la Falla Ambato (EC-344b)**

$$\begin{aligned} M &= a + b * \log(SRL) \\ M &= 5,00 + 1,22 * \log(16,20) \\ M &= 6,5 \end{aligned}$$

#### **Cálculo de la Magnitud de Momento para la Falla Huachi (EC-344a)**

$$\begin{aligned} M &= a + b * \log(SRL) \\ M &= 5,00 + 1,22 * \log(12,00) \\ M &= 6,3 \end{aligned}$$

#### **Cálculo de la Magnitud de Momento para la Falla Totoras (EC-345)**

$$\begin{aligned} M &= a + b * \log(SRL) \\ M &= 5,16 + 1,12 * \log(17,60) \\ M &= 6,6 \end{aligned}$$

### **Cálculo de la Magnitud de Momento para la Falla Samanga (EC-54)**

$$M = a + b * \log(SRL)$$
$$M = 5,00 + 1,22 * \log(32,80)$$
$$M = 6,9$$

### **Cálculo de la Magnitud de Momento para la Falla Subducción (EC-223)**

$$M = a + b * \log(SRL)$$
$$M = 5,00 + 1,22 * \log(1532,00)$$
$$M = 8,9$$

Tabla 28. Magnitud de Momento Mw para cada una de las fallas en estudio.

<b>CODIGO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>Magnitud de Momento(Mw)</b>
EC-344b	AMBATO	6,5
EC-344a	HUACHI	6,3
EC-345	TOTORAS	6,6
EC-54	SAMANGA	6,9
EC-223	SUBDUCCION	8,9

Elaboración: Nelson Sánchez

#### **4.2.2 Cálculo de Espectros**

La presente investigación tiene como objetivo realizar la evaluación del peligro sísmico para el área en estudio mediante la obtención y el análisis de espectros de respuesta en aceleración asociados con el sistema de fallas previamente seleccionado.

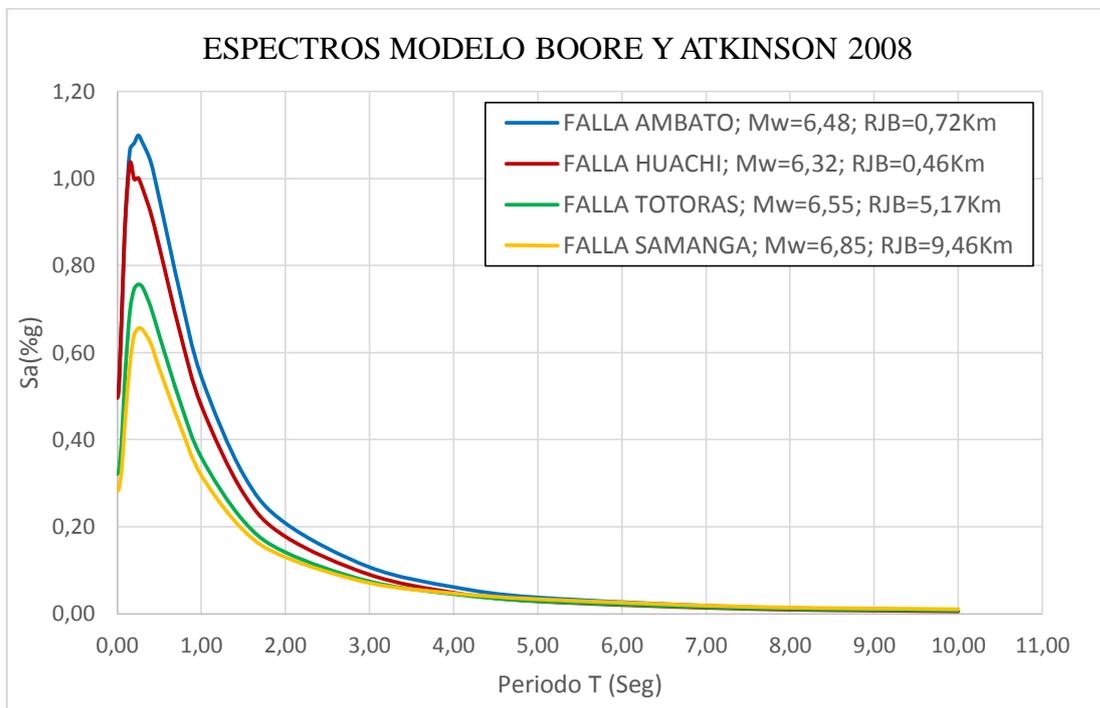
En un inicio los espectros de respuesta fueron propuestos por Biot en el año 1932 llegando a ser estos una herramienta importante en la dinámica estructural y de gran utilidad para el diseño sismorresistente. Posteriormente el procedimiento de Newmark y Hall establecía la obtención de los espectros sísmicos de diseño a partir de las máximas aceleraciones (PGA), velocidades (PGV) y desplazamientos (PGD) del suelo. Es por esto que podemos definir a un espectro como un gráfico de la respuesta máxima (expresada en términos de desplazamiento, velocidad o aceleración) que produce una acción dinámica determinada en una estructura u oscilador de un grado de libertad. [35]

En el presente proyecto de investigación se procederá a comparar los espectros de aceleración obtenidos con cada una de los modelos de ecuaciones de atenuación con el espectro calculado según la NEC-15.

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

El siguiente gráfico representa el espectro obtenido mediante el modelo de Boore y Atkinson (2008) para las fallas cortical-intraplaca seleccionadas. Se realizó la obtención de un espectro por cada falla cortical seleccionada y se tomó un valor de  $V_{s30} = 328,39$  m/s para todos los casos (valor tomado de Tabla 24).

Figura 24. Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008)



Elaboración: Nelson Sánchez

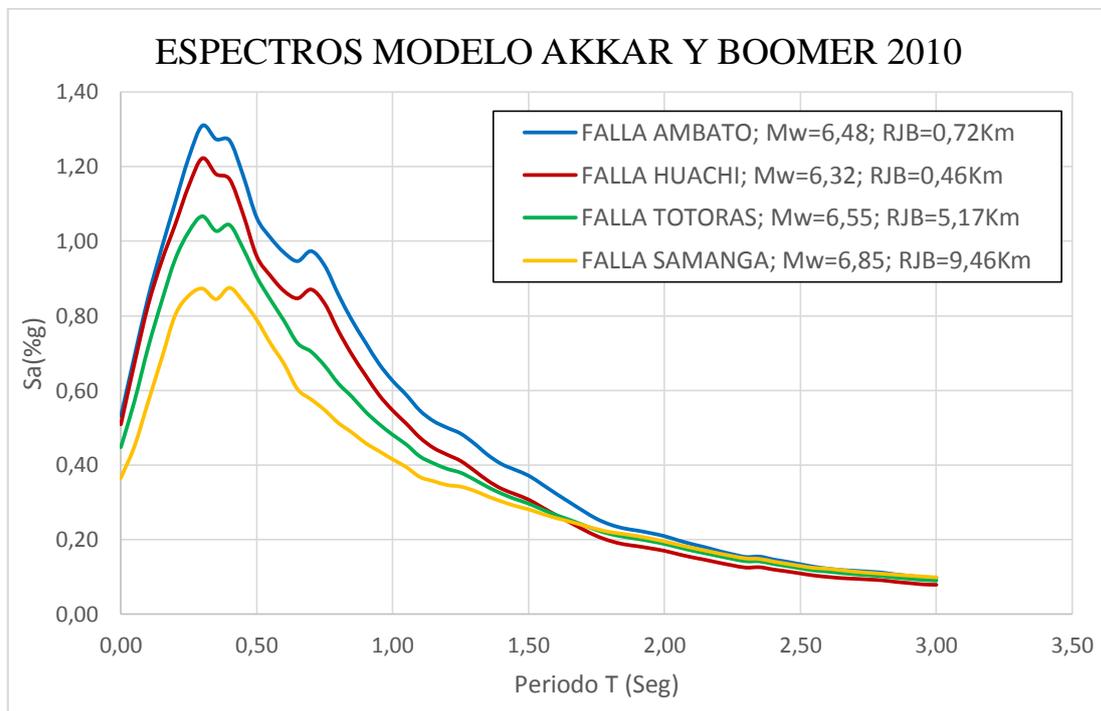
Del gráfico anterior se puede concluir que, ante un mismo perfil de suelo en el área de estudio, el espectro que presenta una mayor respuesta en aceleración en el eje de la ordenada corresponde a la Falla de Ambato ya que mientras mayor sea la distancia al sitio de falla la aceleración ira disminuyendo como sucede con la falla de Samanga.

Posteriormente se podrá observar en las siguientes figuras cómo las aceleraciones van variando considerablemente ya que dependen de la longitud, magnitud de momento y distancia para cada una de las fallas seleccionadas.

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

A continuación se representa el espectro obtenido mediante el modelo de Akkar y Bommer (2010) para las fallas cortical-intraplaca seleccionadas. De la misma manera se realizó la obtención de un espectro por cada falla.

Figura 25. Espectros de aceleración modelo Akkar y Bommer (2010)



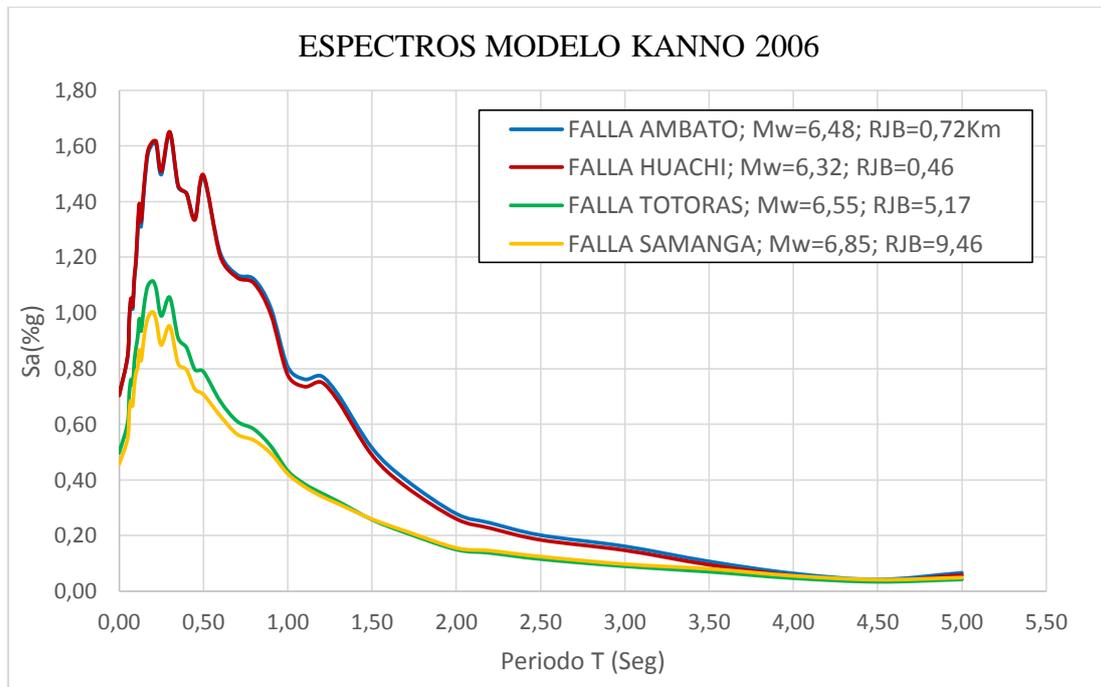
Elaboración: Nelson Sánchez

La figura anterior muestra el espectro calculado con cada una de las fallas seleccionadas, siendo el espectro de la falla Ambato el que presenta una mayor respuesta en aceleración en el eje de la ordenada.

#### 4.2.2.3 Espectros calculados con el Modelo Kanno (2006)

El siguiente gráfico representa el espectro obtenido mediante el modelo de Kanno (2006) para las fallas cortical-intraplaca seleccionadas. Se realizó la obtención de un espectro por cada falla cortical seleccionada y se tomó un valor de  $V_{s30} = 328,39$  m/s para todos los casos.

Figura 26. Espectros de aceleración modelo Kanno (2006)

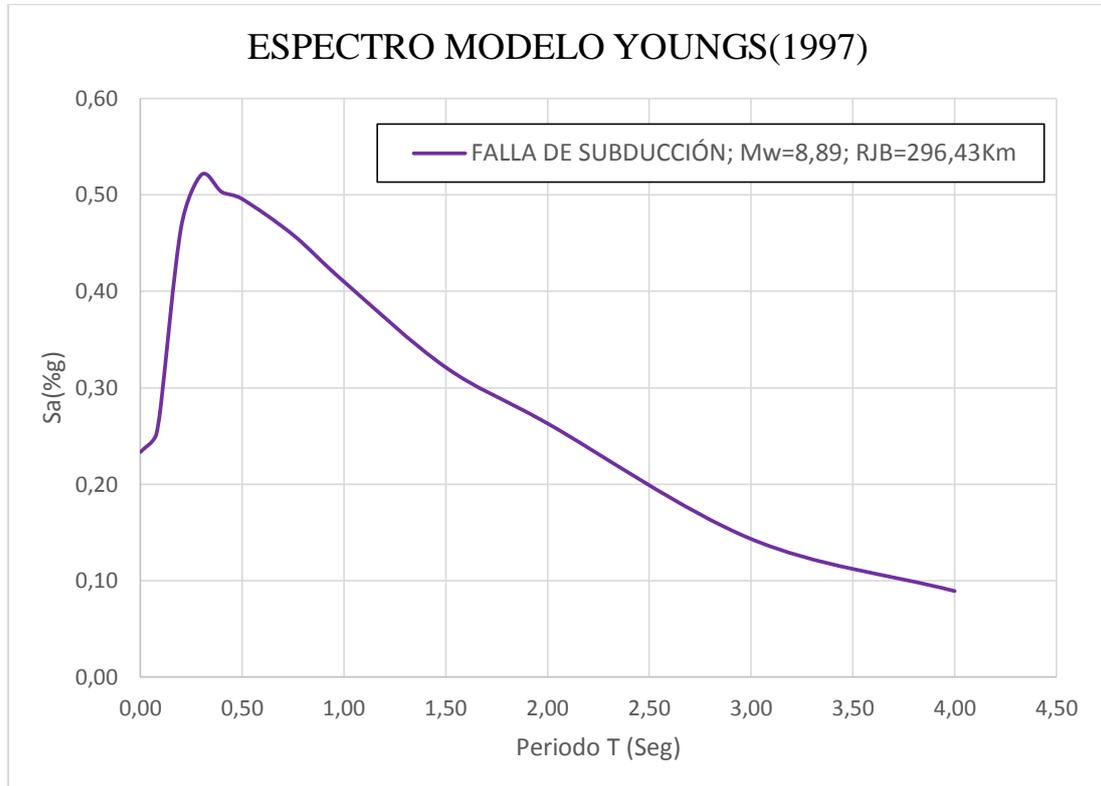


Elaboración: Nelson Sánchez

De la figura anterior se puede concluir que los espectros de respuesta de las fallas Huachi y Ambato tienen la similar aceleración.

#### 4.2.2.4 Espectros calculados con el Modelo de Youngs (1997) para la Falla de subducción

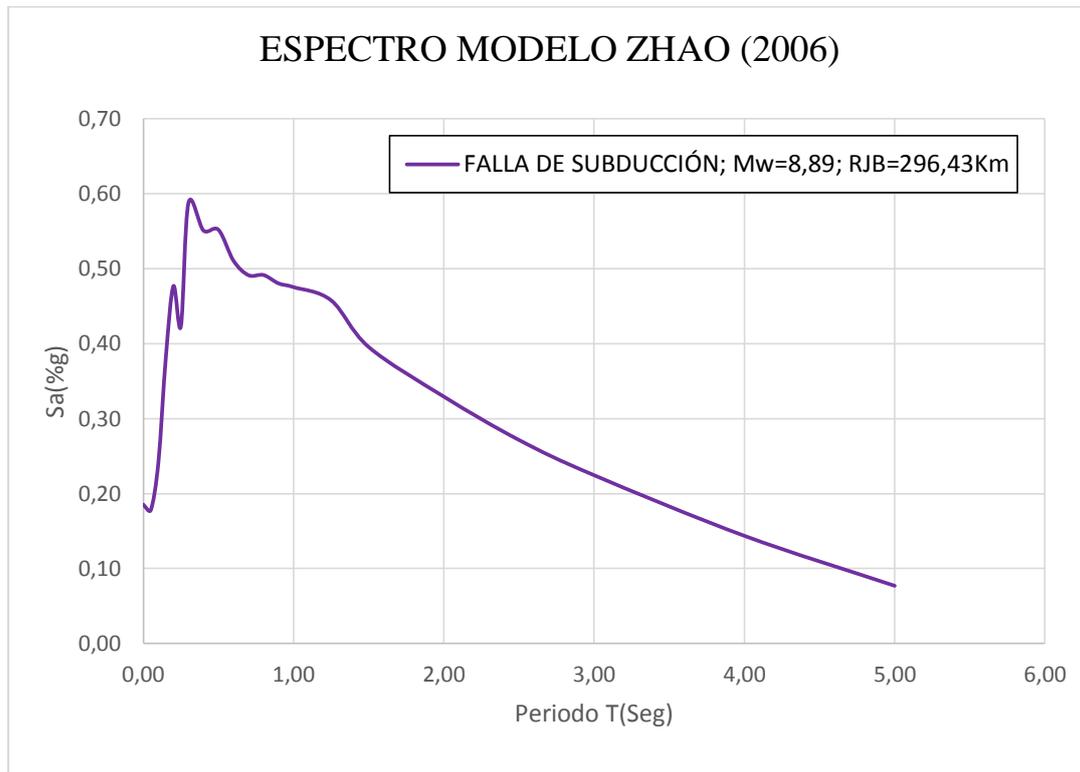
Figura 27. Espectros de aceleración modelo Youngs (1997)



Elaboración: Nelson Sánchez

#### 4.2.2.5 Espectros calculados con el Modelo de Zhao (2006) para la Falla de subducción

Figura 28. Espectros de aceleración modelo Zhao (2006)

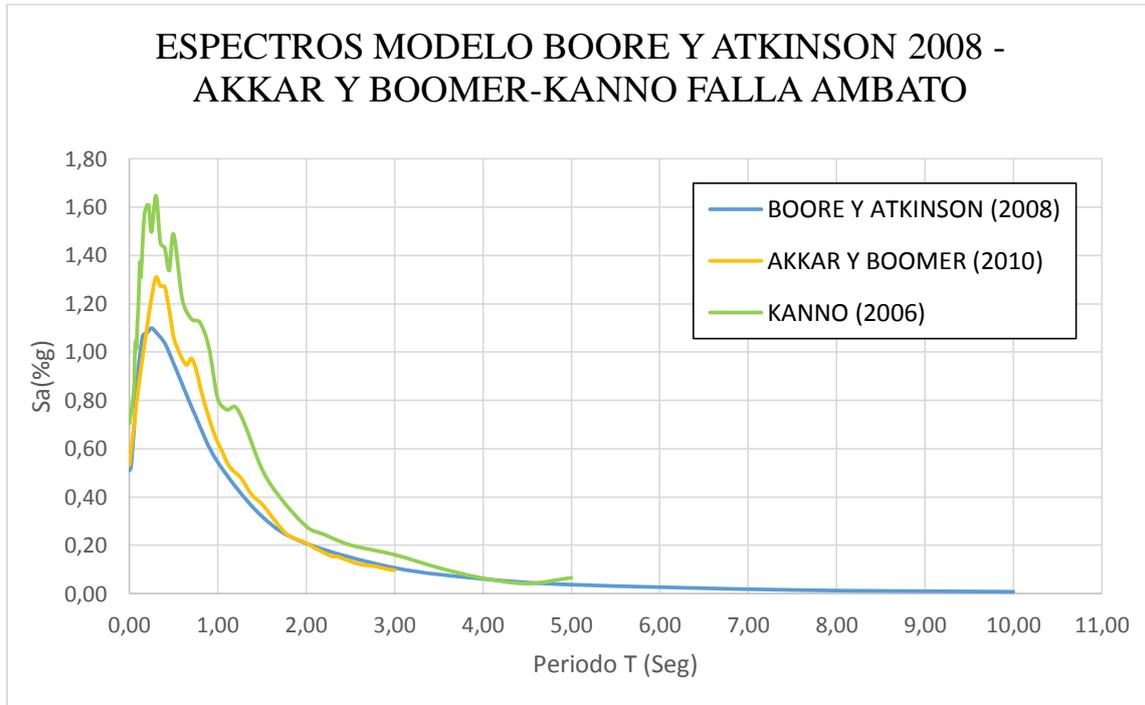


Elaboración: Nelson Sánchez

### 4.2.3 Comparación de los espectros obtenidos con el de la NEC-15

Mediante las ecuaciones de atenuación de cada modelo se calcula los espectros de aceleración para los diferentes tipos de fallas seleccionadas para esta investigación.

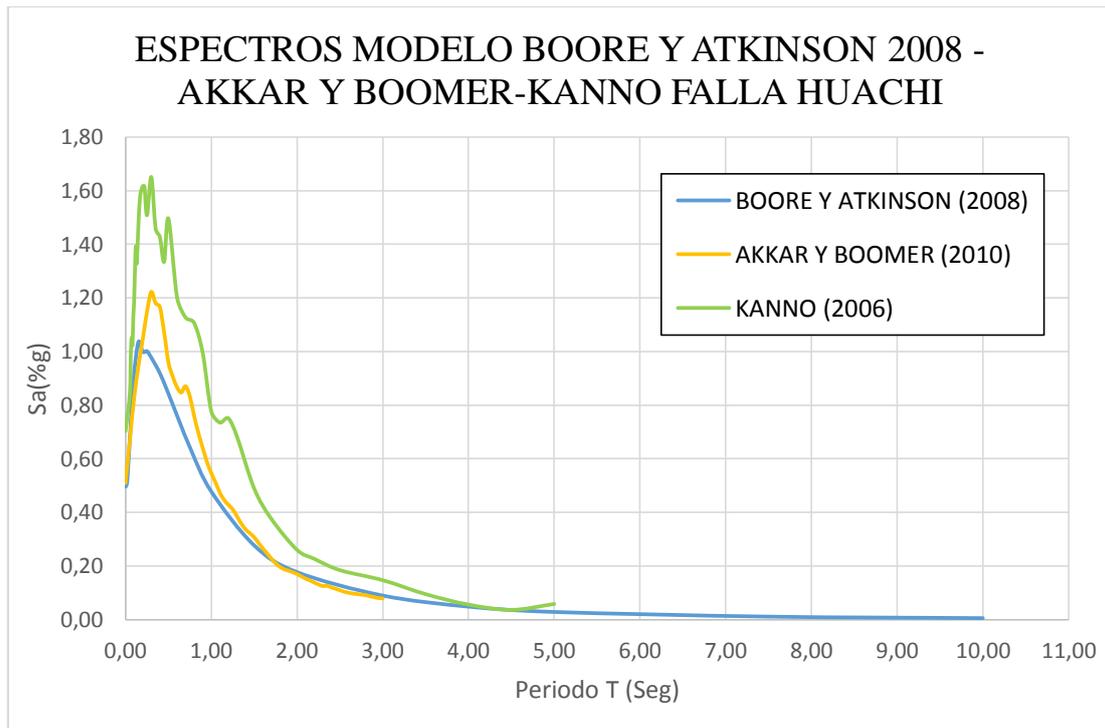
Figura 29. Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la falla Ambato



Elaboración: Nelson Sánchez

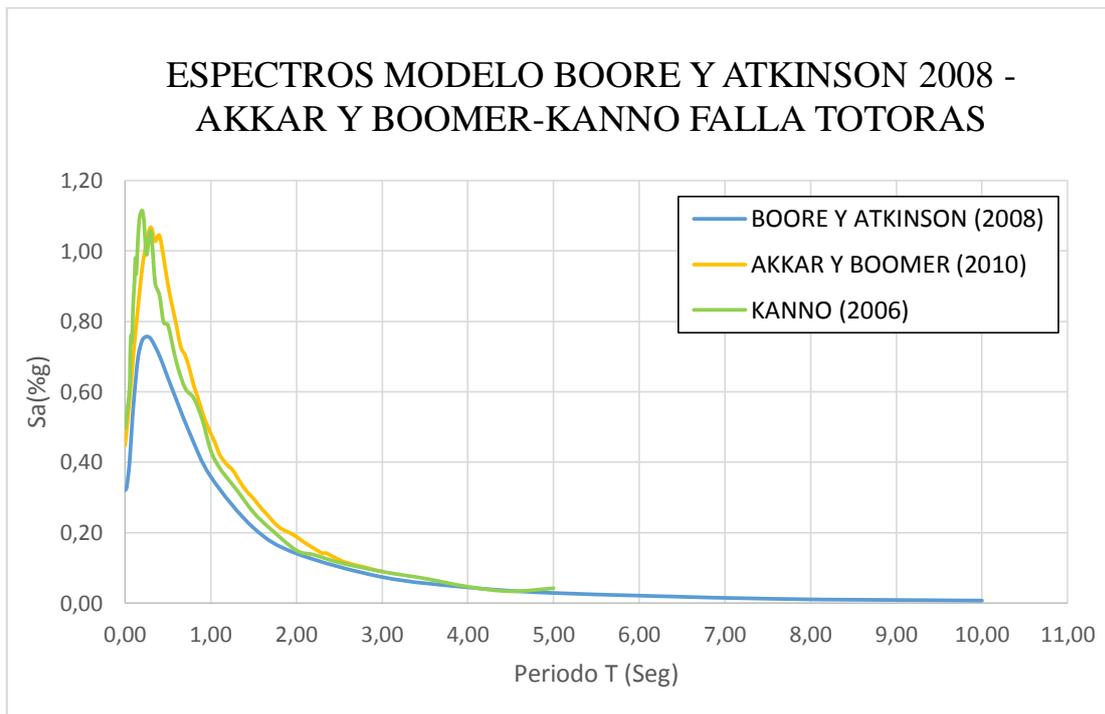
De la figura se puede concluir que el modelo de Kanno presenta la mayor respuesta en el eje de la ordenada para la falla de Ambato.

Figura 30. Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la falla Huachi



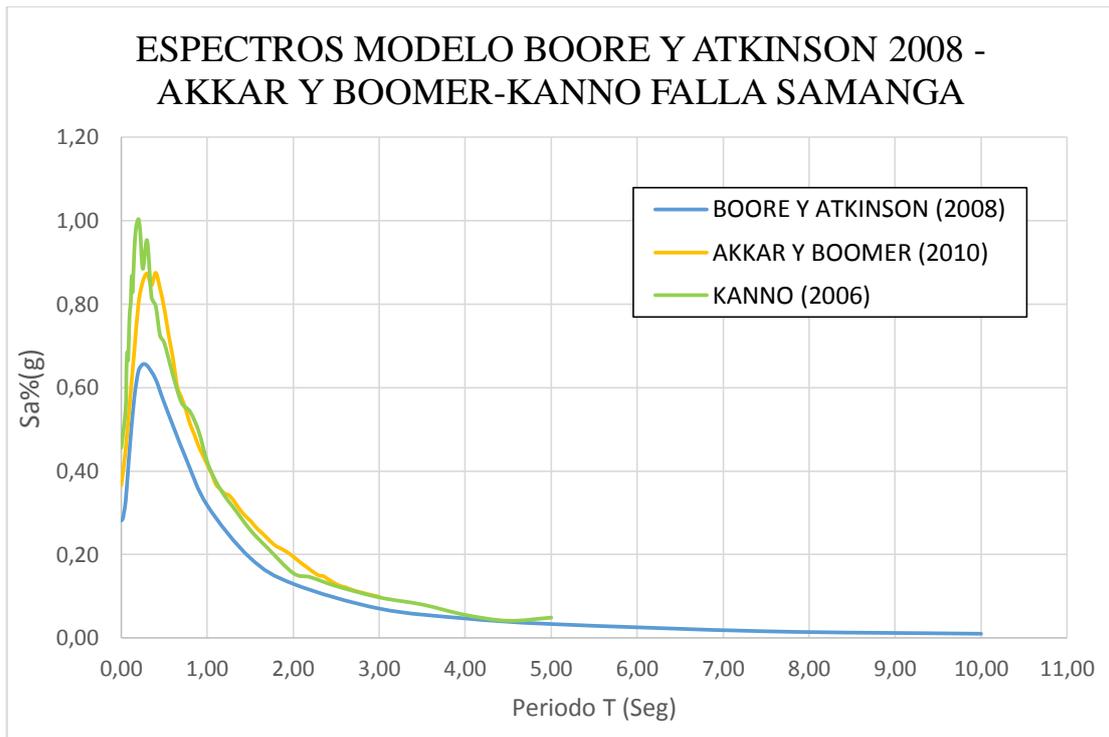
Elaboración: Nelson Sánchez

Figura 31. Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la Falla Totoras



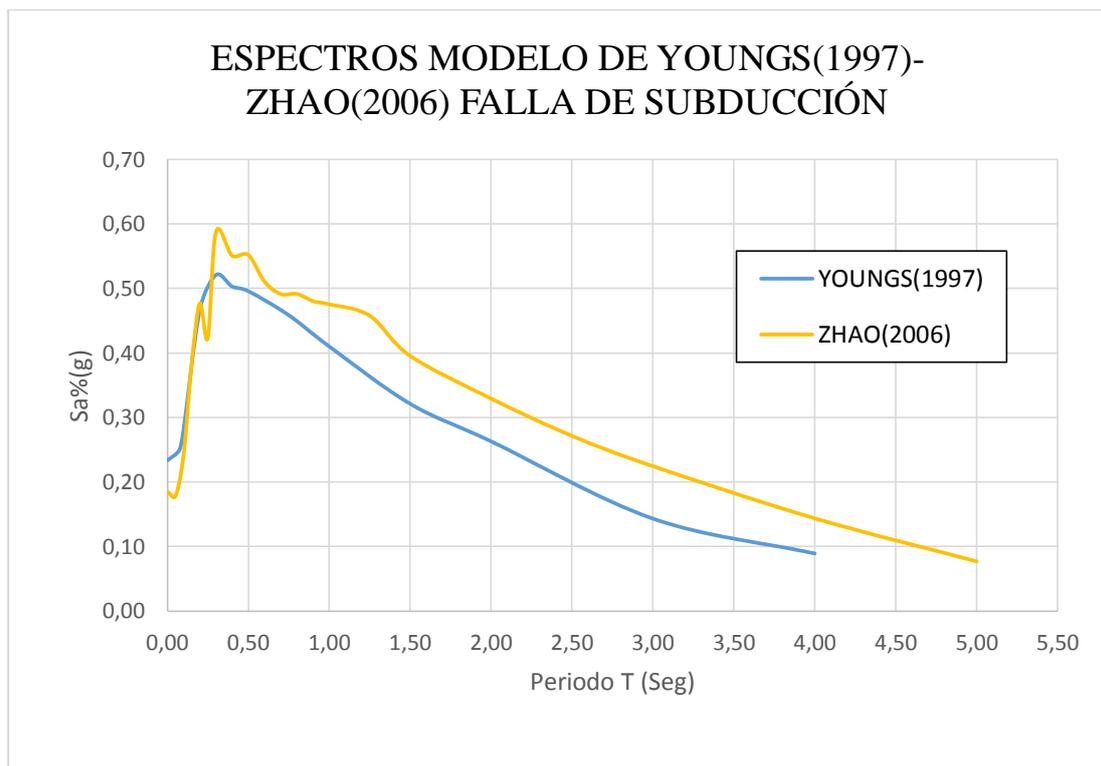
Elaboración: Nelson Sánchez

Figura 32. Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la Falla Samanga



Elaboración: Nelson Sánchez

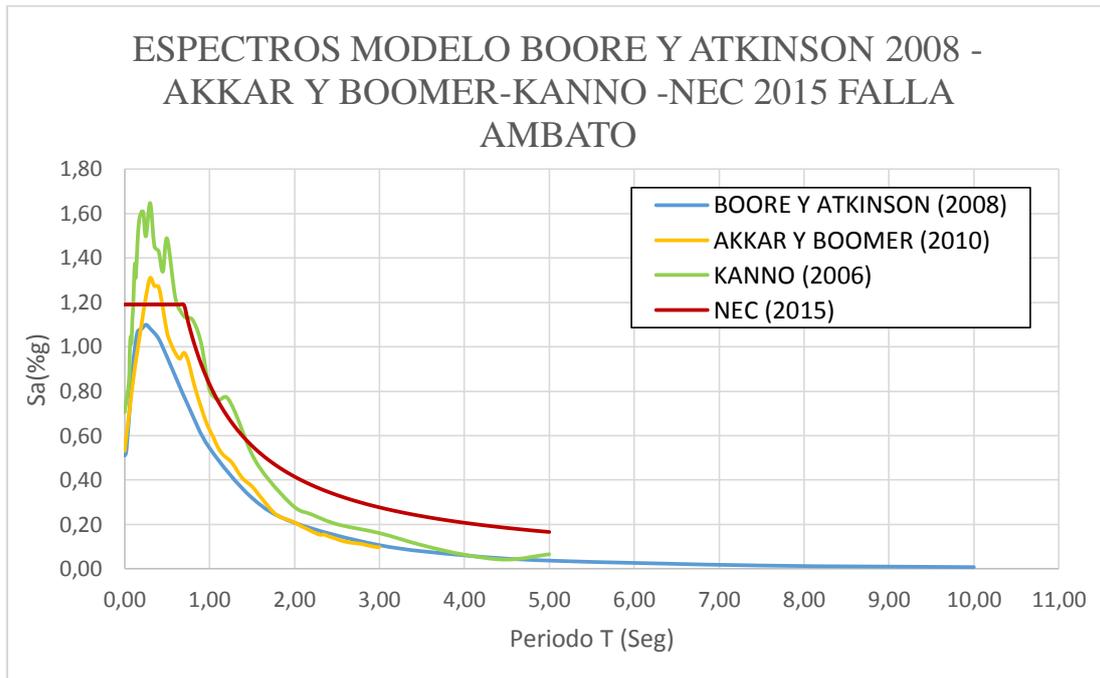
Figura 33. Espectros de aceleración modelo Youngs(1997) - Zhao(2006) Falla de Subducción



Elaboración: Nelson Sánchez

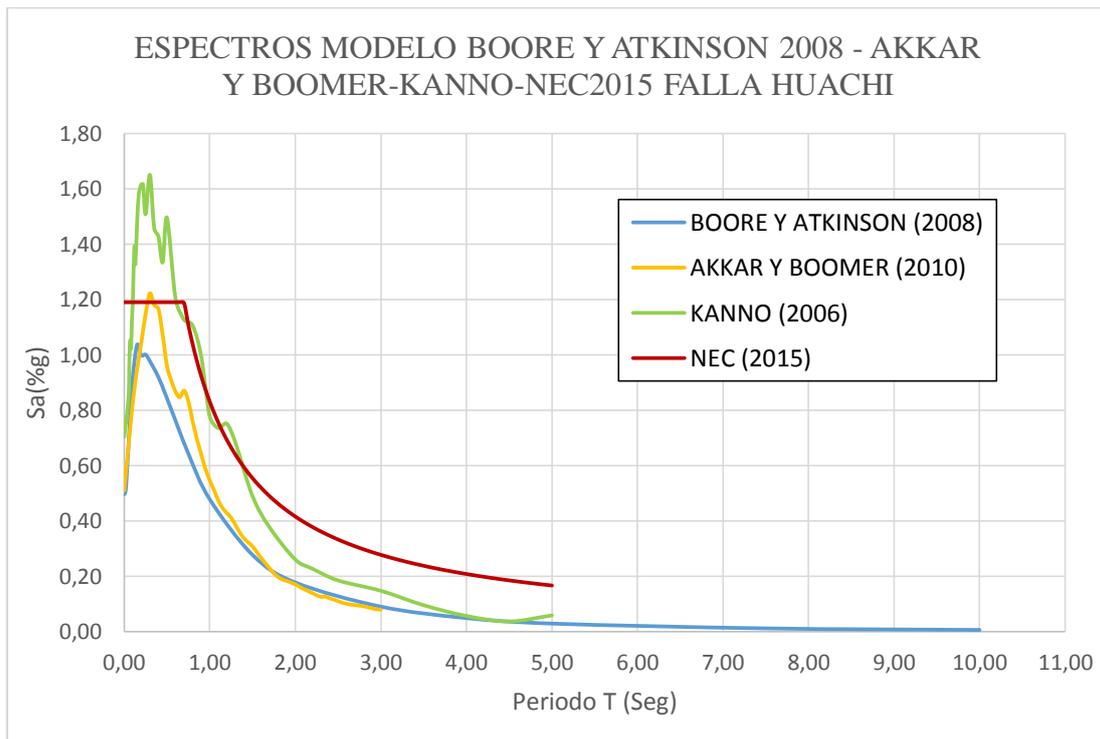
#### 4.2.4 Espectros con la NEC-15

Figura 34. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer, NEC-15 para la falla de Ambato



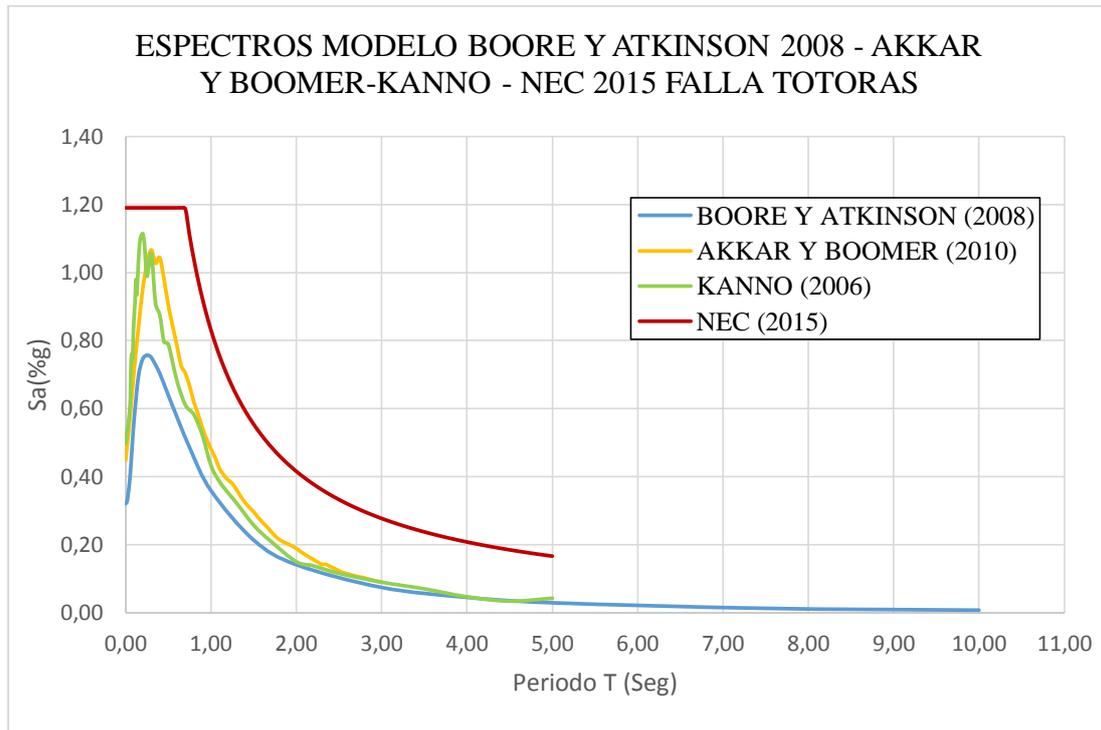
Elaboración: Nelson Sánchez

Figura 35. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer, NEC15 para la Falla de Huachi



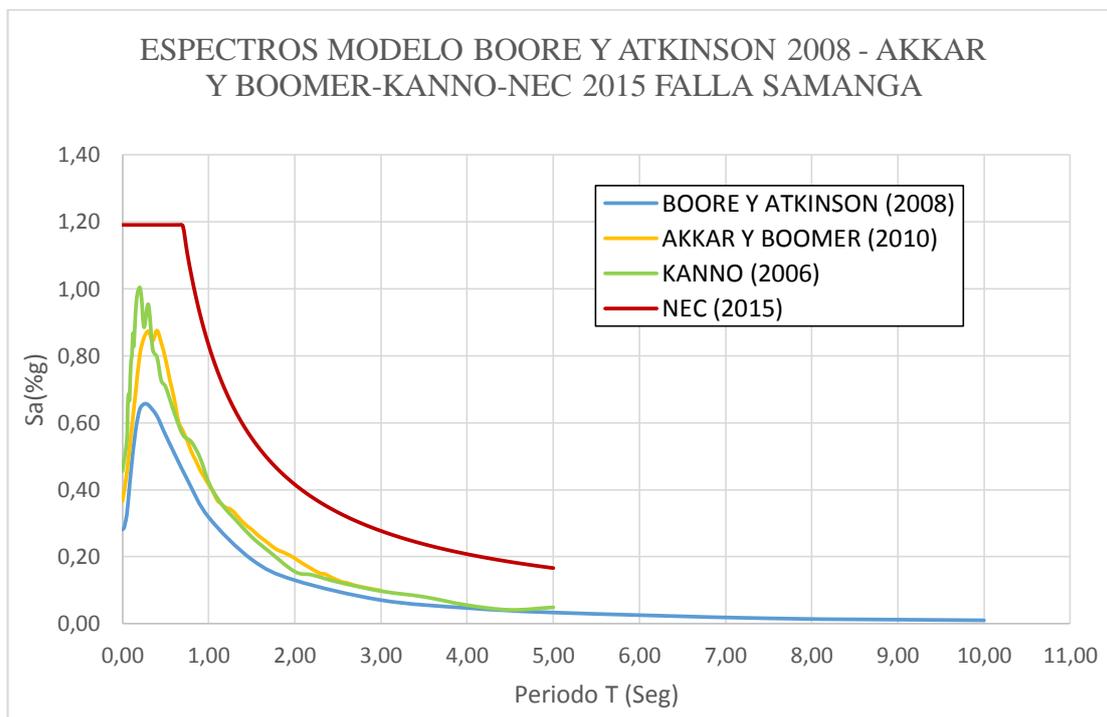
Elaboración: Nelson Sánchez

Figura 36. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer, NEC-15 para la Falla de Totoras



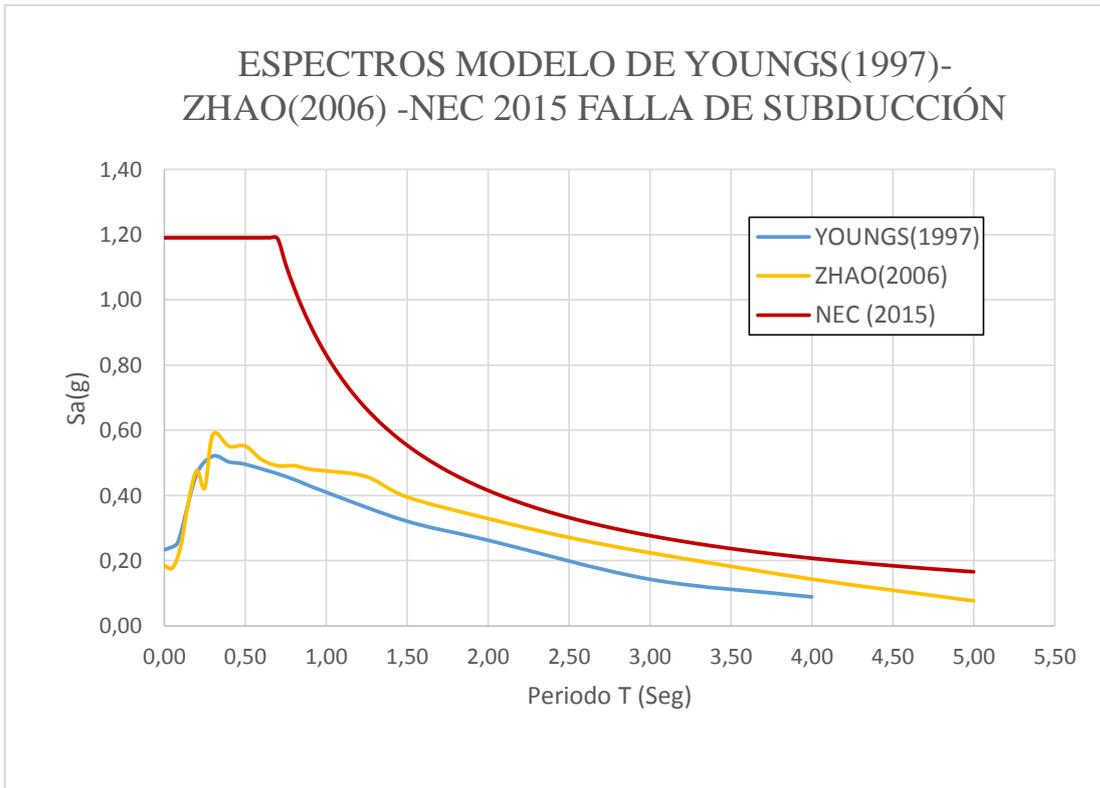
Elaboración: Nelson Sánchez

Figura 37. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer, NEC- 15 para la Falla de Samanga



Elaboración: Nelson Sánchez

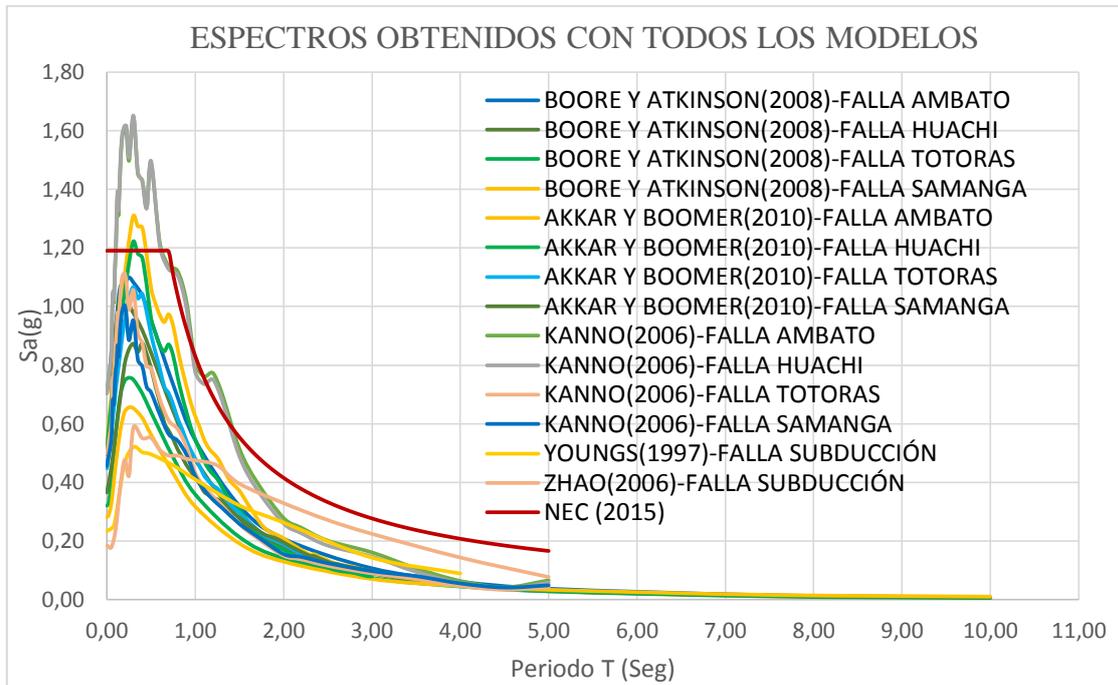
Figura 38. Espectros de aceleración modelo Youngs(1997) - Zhao(2006) – NEC 2015  
Falla de Subducción



Elaboración: Nelson Sánchez

#### 4.2.5 Espectros de todos los modelos Vs. el de la NEC-15

Figura 39. Todos los espectros comparados con la NEC-15



Elaboración: Nelson Sánchez

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

En la siguiente tabla se refleja los valores para la envolvente de los espectros de aceleración obtenidos.

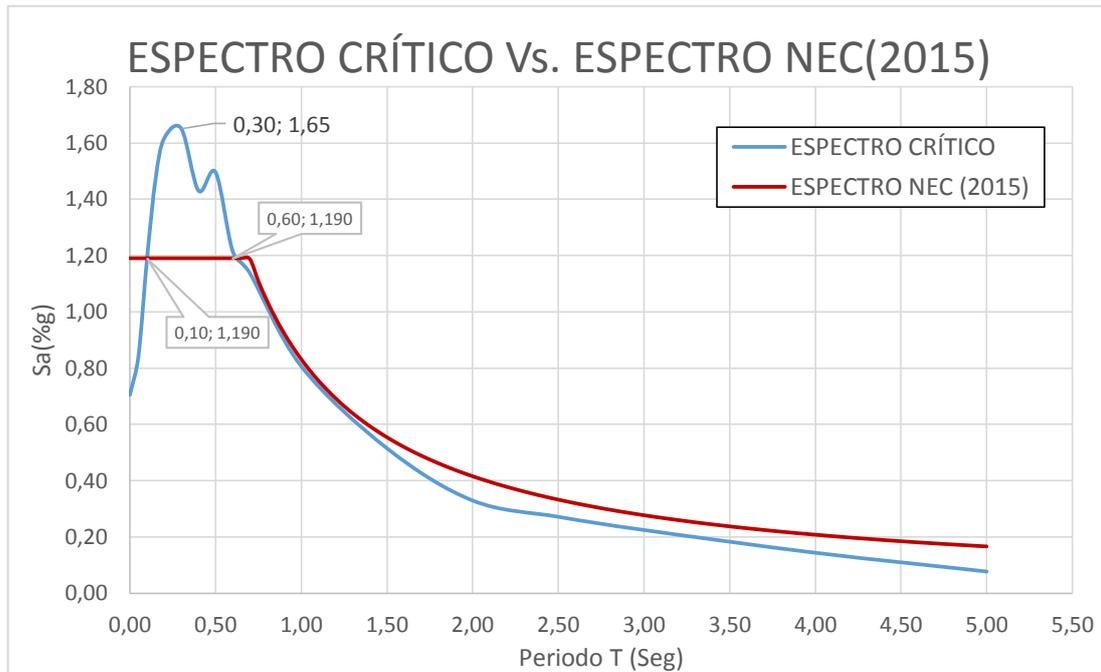
Tabla 29. Valores para espectro de aceleración específico

<b>T(seg)</b>	<b>Sa(g)</b>	<b>T(seg)</b>	<b>Sa(g)</b>	<b>T(seg)</b>	<b>Sa(g)</b>
0	0,71	0,65	0,95	1,95	0,22
0,01	0,52	0,7	1,14	2	0,33
0,02	0,53	0,75	0,93	2,05	0,2
0,03	0,58	0,8	1,12	2,1	0,19
0,05	0,84	0,85	0,79	2,15	0,18
0,06	0,98	0,9	1,02	2,2	0,25
0,07	1,05	0,95	0,67	2,25	0,16
0,08	0,81	1	0,81	2,3	0,15
0,08	1,02	1,05	0,59	2,35	0,15
0,09	1,13	1,1	0,76	2,4	0,15
0,1	1,19	1,15	0,52	2,45	0,14
0,11	1,31	1,2	0,77	2,5	0,27
0,12	1,39	1,25	0,48	2,55	0,13
0,13	1,33	1,3	0,71	2,6	0,12
0,15	1,47	1,35	0,43	2,65	0,12
0,17	1,58	1,4	0,4	2,7	0,12
0,2	1,62	1,45	0,39	2,75	0,11
0,22	1,62	1,5	0,52	2,8	0,11
0,25	1,51	1,55	0,35	2,85	0,11
0,3	1,65	1,6	0,32	2,9	0,1
0,35	1,46	1,65	0,3	3	0,22
0,4	1,43	1,7	0,4	3,5	0,11
0,45	1,34	1,75	0,26	4	0,14
0,5	1,5	1,8	0,24	4,5	0,04
0,55	1,01	1,85	0,23	5	0,08
0,6	1,21	1,9	0,22		

Elaboración: Nelson Sánchez

Para realizar el gráfico del espectro específico se realizó una envolvente en base a los valores máximos de aceleración de cada espectro obtenido con cada falla seleccionada. (Ver Tabla.29)

Figura 40. Espectro específico comparado con la NEC-15



Elaboración: Nelson Sánchez

A primera vista se puede observar que para periodos comprendidos entre 0,10 y 0,6 segundos el espectro específico resulta más crítico ya se podrán tener aceleraciones de hasta 1.65 g siendo valores mayores en comparación a los obtenidos con el espectro de la NEC 2015, mientras que para periodos mayores a 0,6 segundos el espectro de la NEC 2015 resulta ser más crítico.

#### 4.2.7 Comportamiento Estructural de Estructuras tipo en el sitio de estudio

##### Características estructurales de las edificaciones seleccionadas en el sitio

A continuación se muestran las dimensiones de los elementos estructurales de cada una de las estructuras.

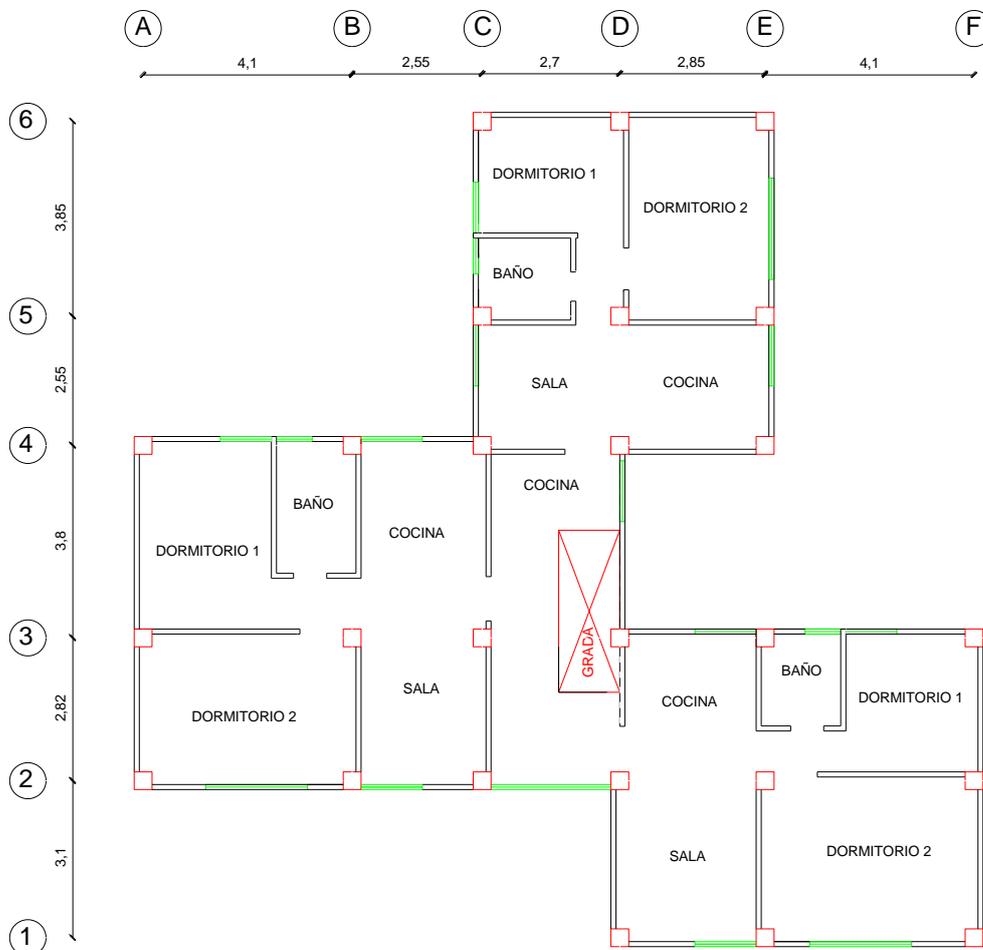
Tabla 30. Secciones de los elementos estructurales de cada una de las edificaciones en sitio

	<b>Estructura 6 Pisos</b>	<b>Estructura 3 Pisos</b>	<b>Estructura 2 Pisos</b>
<b># De Pisos</b>	6	3	2
<b>Columnas</b>	35x35	30x30	25x25
<b>Vigas</b>	25x25	25x30	25x25
<b>Losa ( e )</b>	20 cm	20 cm	20 cm
<b>H Máx. (m)</b>	15,10	12,00	8,22

Elaboración: Nelson Sánchez

A continuación se muestra una vista en planta de las estructuras en sitio:

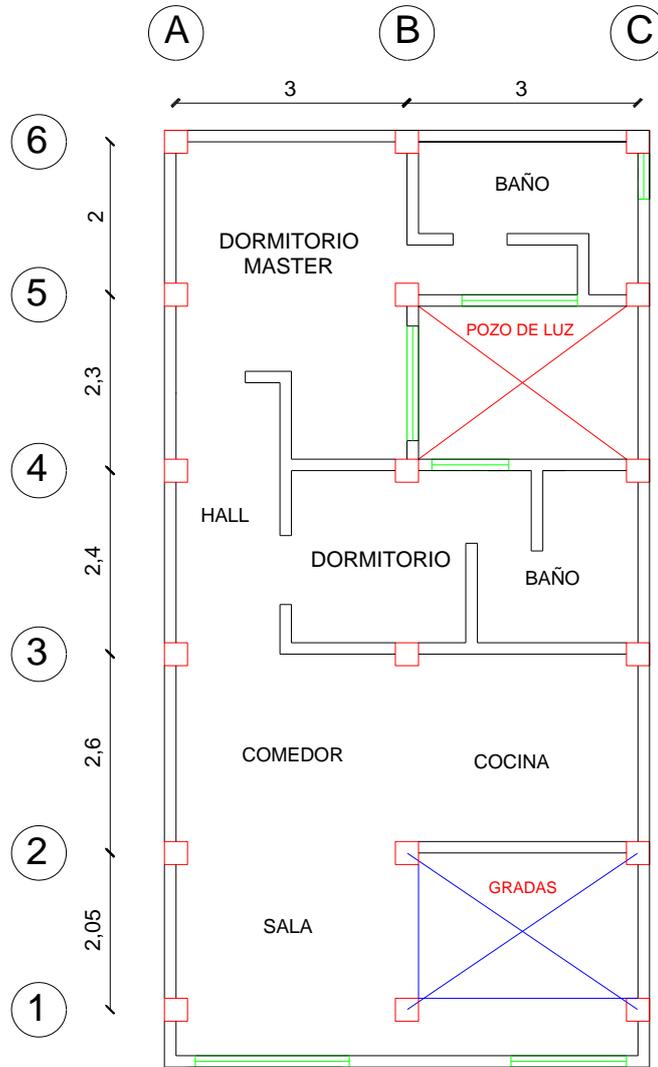
Figura 41. Vista en planta de la Estructura de 6 pisos



PLANTA ALTA TIPO N +2.52 +5.04 +7.56 +10.08

Elaboración: Nelson Sánchez

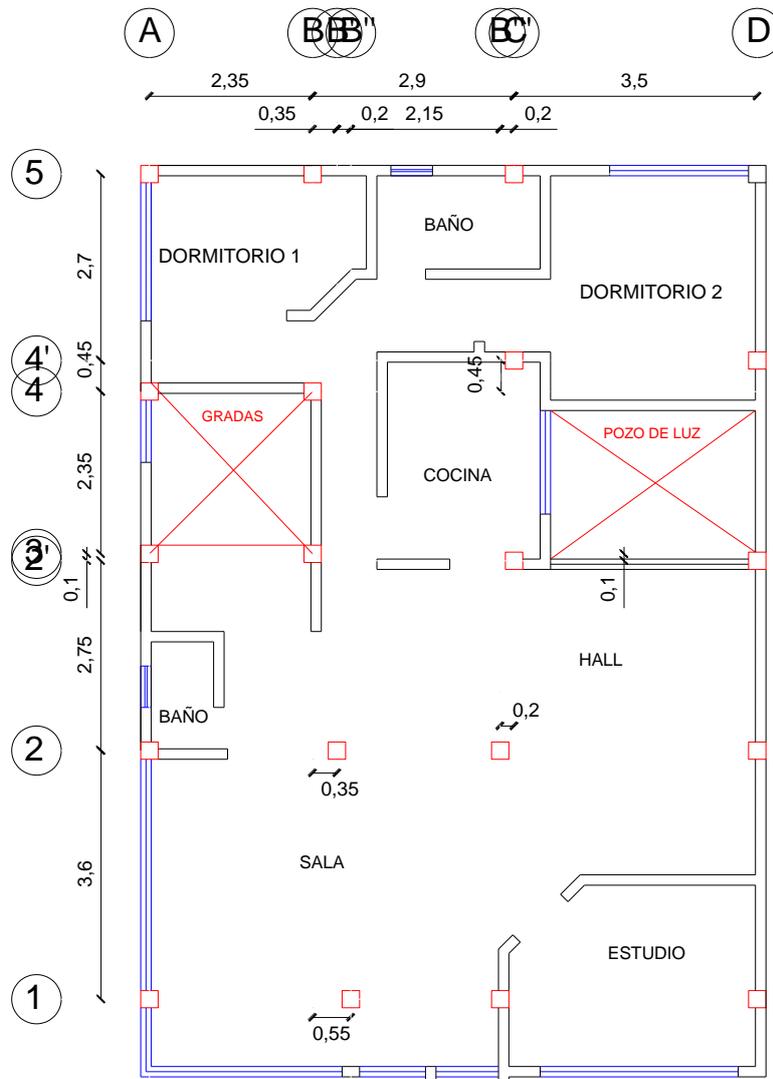
Figura 42. Vista en planta de la Estructura de 3 pisos



**PLANTA ALTA TIPO N +2.52 +5.04**

Elaboración: Nelson Sánchez

Figura 43. Vista en planta de la Estructura de 2 pisos



PLANTA ALTA N +3.20

Elaboración: Nelson Sánchez

## Reducción de los espectros elásticos

Una vez obtenido el espectro específico para nuestra área de estudio procedemos a verificar el comportamiento estructural de tres estructuras tipo ubicadas en la zona.

El proceso consistió en reducir el espectro específico y de la NEC 2015 para ingresarlo en el programa “ETABS 2016 V16” y posteriormente comparar su comportamiento estructural con cada espectro ingresado.

La reducción de los espectros se lo realizo mediante los factores de reducción establecidos por la NEC 2015:

$$C = \frac{Sa * I}{R * \phi_P * \phi_E} \quad (28)$$

Donde:

**C** = Coeficiente sísmico

**Sa** = Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g)

$\phi_P, \phi_E$  = Coeficientes de regularidad en planta y elevación.

**R** = Factor de reducción de resistencia sísmica

**I** = Coeficiente de importancia

Tabla 31. Factores para la reducción de los espectros elásticos

<b>ESTRUCTURA</b>	<b>6 Pisos</b>	<b>3 Pisos</b>	<b>2 Pisos</b>
$\phi_p$	0,90	1,00	1,00
$\phi_e$	1,00	1,00	1,00
<b>R</b>	8	8	8
<b>I</b>	1	1	1

Elaboración: Nelson Sánchez

## Cálculo de periodos de vibración

### Periodo fundamental de vibración

Para el cálculo del periodo fundamental de vibración de cada una de las estructuras se utilizó la siguiente expresión establecida en el Método 1 de la NEC 2015: [5]

$$T = Ct * hn^{\alpha} \quad (29)$$

#### Dónde

**T:** Período fundamental de vibración de la estructura

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

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

**$\alpha$**  : Impedancia del semiespacio

Tabla 32. Valores Ct y  $\alpha$  para el cálculo del Período de Vibración Fundamental de cada estructura

Tipo de estructura	Ct	$\alpha$
<b>Pórticos especiales de hormigón armado</b>		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico

#### Periodo fundamental (T) para Estructura de 6 pisos

$$T = 0,055 * 15,10^{0,9}$$

$$T = 0,63 \text{ Seg.}$$

#### Periodo fundamental (T) para Estructura de 3 pisos

$$T = 0,055 * 10,06^{0,9}$$

$$T = 0,44 \text{ Seg.}$$

### Periodo fundamental (T) para Estructura de 2 pisos

$$T = 0,055 * 8,22^{0,9}$$

$$T = 0,37 \text{ Seg.}$$

### Periodos límite de vibración

El cálculo de los períodos límite de vibración se lo hizo mediante las siguientes expresiones: [5]

$$T_0 = 0,1 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad (30)$$

$$T_c = 0,55 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad (31)$$

Donde:

$T_0, T_c$  = Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

$F_a, F_d, F_s$  = Coeficiente de amplificación de suelo

La siguiente tabla muestra los valores de los coeficientes de amplificación de suelo con su respectiva zona sísmica para un perfil de suelo tipo D en la provincia de Tungurahua establecido anteriormente. [5]

Tabla 33. Valores  $F_a, F_d, F_s$  para el perfil de suelo tipo D empleados en el cálculo de los Períodos Límites de Vibración para las estructuras.

Zona Sísmica	V
Z	0,40
Fa	1,20
Fd	1,19
Fs	1,28

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico

### **Período límite de vibración $T_0$**

$$T_0 = 0,1 * 1,28 \frac{1,19}{1,20}$$

$$T_0 = 0,13 \text{ seg.}$$

### **Período límite de vibración $T_c$**

$$T_c = 0,55 * 1,28 \frac{1,19}{1,20}$$

$$T_c = 0,70 \text{ seg.}$$

Con los datos indicados se obtuvieron los espectros de respuesta para cada estructura, según las especificaciones de la NEC-15 (Ver Figura.16)

### **Verificación del comportamiento estructural**

Se procedió a verificar el comportamiento de cada estructura seleccionada bajo el espectro específico del sitio así como el de la NEC-15, de acuerdo a las especificaciones de la citada Norma. [5]

## **ANÁLISIS ESTÁTICO**

### **a) Periodos de vibración**

El valor del periodo fundamental  $T_2$  será calculado en base a las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes por medio de un análisis modal: [5]

### **Dónde**

$T_1$  = Periodo fundamental de vibración calculado con el método 1

$T_2$  = Periodo fundamental de vibración calculado con el método 2 (Etabs 2016)

Tabla 34. Valores obtenidos de T, To, Tc con cada uno de los espectros analizados

<b>Estructura</b>	<b>6 PISOS</b>	<b>3 PISOS</b>	<b>2 PISOS</b>
<b>To</b>	0,13 seg		
<b>Tc</b>	0,70 seg		
<b>T1 (calculado-Nec15)</b>	0,63 seg	0,44 seg	0,37 seg
<b>T2(Etabs 2016)</b>	0,81 seg	0,42 seg	0,53 seg

Elaboración: Nelson Sánchez

De la tabla anterior podemos concluir que los valores de los periodos calculados para las estructuras de 6 y 2 pisos con la NEC 2015 son menores en comparación a los valores obtenidos en el programa. Mientras que para la estructura de 3 pisos el menor periodo el menor periodo es el calculado por el programa.

El valor de  $T_2$  calculado según el método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de  $T_1$  calculado con el Método 1. [5]

#### **Estructura 6 pisos**

$$T_1 \leq T_2 \leq 1,3 T_1$$

$$0,63 < 0,81 < 0,82$$

El periodo fundamental de vibración  $T_2$  se encuentra en el rango establecido.

#### **Estructura 3 pisos**

$$T_1 \leq T_2 \leq 1,3 T_1$$

$$0,44 > 0,42 < 0,57$$

El periodo fundamental de vibración  $T_2$  no se encuentra en el rango establecido ya que es ligeramente menor, es decir es una estructura algo más rígida de lo recomendado por la NEC-15.

#### **Estructura 2 pisos**

$$T_1 \leq T_2 \leq 1,3 T_1$$

$$0,37 < 0,53 > 0,48$$

El periodo fundamental de vibración  $T_2$  no se encuentra en el rango establecido ya que es mayor es decir es una estructura más flexible de lo que recomienda la NEC-15.

#### **b) Modos de vibración de la Estructura**

Esta es una recomendación propuesta en base a una investigación publicada en la revista de la EPN por los Ingenieros Christian Medina y Santiago Medina (Coeficiente Irregularidad en Planta a partir del Análisis de Torsión en Estructuras Irregulares). [36]

En dicha investigación, los autores analizaron los porcentajes de participación modal de la masa de varias configuraciones geométricas con el fin de demostrar que para estructuras que presentan un mismo tipo de irregularidad, su comportamiento puede ser diferente, es así que estructuras aparentemente irregulares, pueden tender a mostrar un comportamiento traslacional antes que torsional. [36]

El método de análisis propuesto en la investigación relaciona el porcentaje de participación modal de la masa en rotación  $Rz$  y el porcentaje de masa predominante en traslación  $Ux$ ,  $Uy$  evaluado en los dos primeros modos de vibración.

De acuerdo a estudios realizados por los autores, los efectos de torsión accidental son de gran incidencia, cuando la relación antes mencionada es mayor al 30%. [36]

En la siguiente tabla se procedió a verificar que los dos primeros modos tengan un comportamiento traslacional y a partir del tercer modo sea rotacional. [36]

Tabla 35. Modos de vibración en cada una de las estructuras

<b>ESTRUCTURA: 6 Pisos</b>				
<b>MODO</b>	<b>Ux, Uy</b>	<b>Rz</b>	<b>(Rz/Ux,Uy)%</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
1	0,6832	0,0862	12,62	Traslacional
2	0,7583	0,0012	0,16	Traslacional
3	0,0757	0,7263	959,45	Rotacional
<b>ESTRUCTURA: 3 Pisos</b>				
<b>MODO</b>	<b>Ux, Uy</b>	<b>Rz</b>	<b>(Rz/Ux,Uy)%</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
1	0,6964	0,1561	22,42	Traslacional
2	0,842	0,0225	2,67	Traslacional
3	0,8718	0,6825	78,29	Rotacional
<b>ESTRUCTURA: 2 Pisos</b>				
<b>MODO</b>	<b>Ux, Uy</b>	<b>Rz</b>	<b>(Rz/Ux,Uy)%</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
1	0,7918	0,1642	20,74	Traslacional
2	0,9506	0,0003	0,03	Traslacional
3	0,1576	0,8007	508,06	Rotacional

Elaboración: Nelson Sánchez

De la tabla anterior se puede observar que en todas las estructuras los dos primeros modos son del tipo traslacional ya que su porcentaje de torsión es menor al 30%, sin embargo el tercer modo es de tipo Rotacional debido a su alto porcentaje.

### c) Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa

Se procedió a verificar los modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa en las direcciones principales para cada una de las estructuras analizadas en sitio. [5]

El número de modos que se deben considerar para el análisis dinámico deben ser todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas. [5]

Tabla 36. Modos de vibración

<b>ESTRUCTURA: 6 PISOS</b>		
<b>MODO</b>	<b>Sum UX</b>	<b>Sum UY</b>
5	0,9155	0,9096
<b>ESTRUCTURA: 3 PISOS</b>		
<b>MODO</b>	<b>Sum UX</b>	<b>Sum UY</b>
5	0,9089	0,9459
<b>ESTRUCTURA: 2 PISOS</b>		
<b>MODO</b>	<b>Sum UX</b>	<b>Sum UY</b>
3	0,9617	0,9488

Elaboración: Nelson Sánchez

#### **d) Control de la deriva de piso**

Se hará un control de deformaciones, a través del cálculo de las derivas inelásticas máximas de piso.

Para la revisión de las derivas de piso se utilizará el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamientos  $\Delta_M$  de la estructura, causada por el sismo de diseño. [5]

La deriva máxima inelástica  $\Delta_M$  de cada piso se calculará en base a la siguiente expresión establecida por la NEC 2015: [5]

$$\Delta_M = 0,75 * R * \Delta_E \quad (32)$$

Donde:

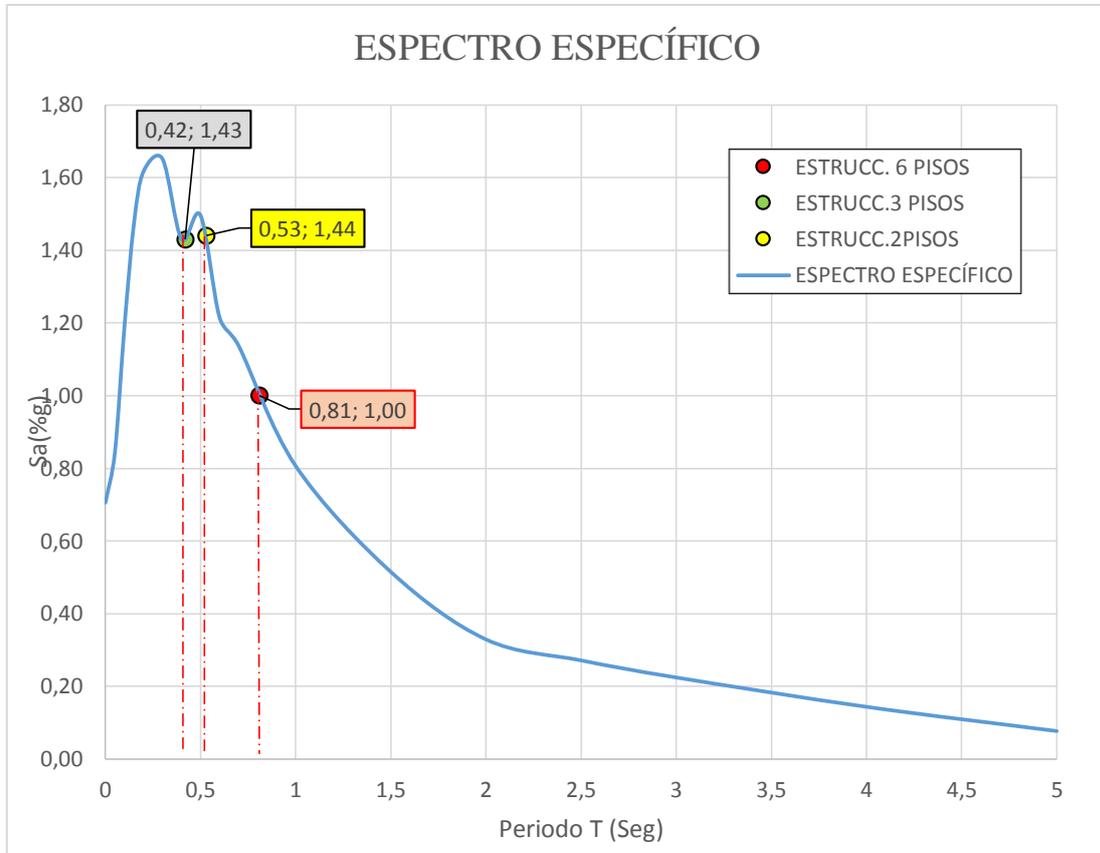
$\Delta_M$  = Deriva máxima inelástica

$\Delta_E$  = Deriva elástica obtenida en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

**R** = Factor de reducción de resistencia sísmica

Partiendo del análisis en Etabs 2016 procedemos a encontrar un nuevo valor de aceleración para cada uno de los periodos calculados para cada una de las estructuras. Esto se hará en base a la gráfica del espectro específico.

Figura 44. Espectro específico y los valores de aceleración obtenidos con los periodos calculados en Etabs.



Elaboración: Nelson Sánchez

Calculamos nuevamente el coeficiente sísmico en base en base las aceleraciones obtenidas para cada estructura. Se lo hará mediante la expresión establecida en la NEC-15:

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

Donde:

**C** = Coeficiente sísmico

**S<sub>a</sub>** = Aceleración Pseudo espectral esperada con los valores de periodo obtenidos

$\phi_P, \phi_E$  = Coeficientes de regularidad en planta y elevación.

**R** = Factor de reducción de resistencia sísmica

**I** = Coeficiente de importancia

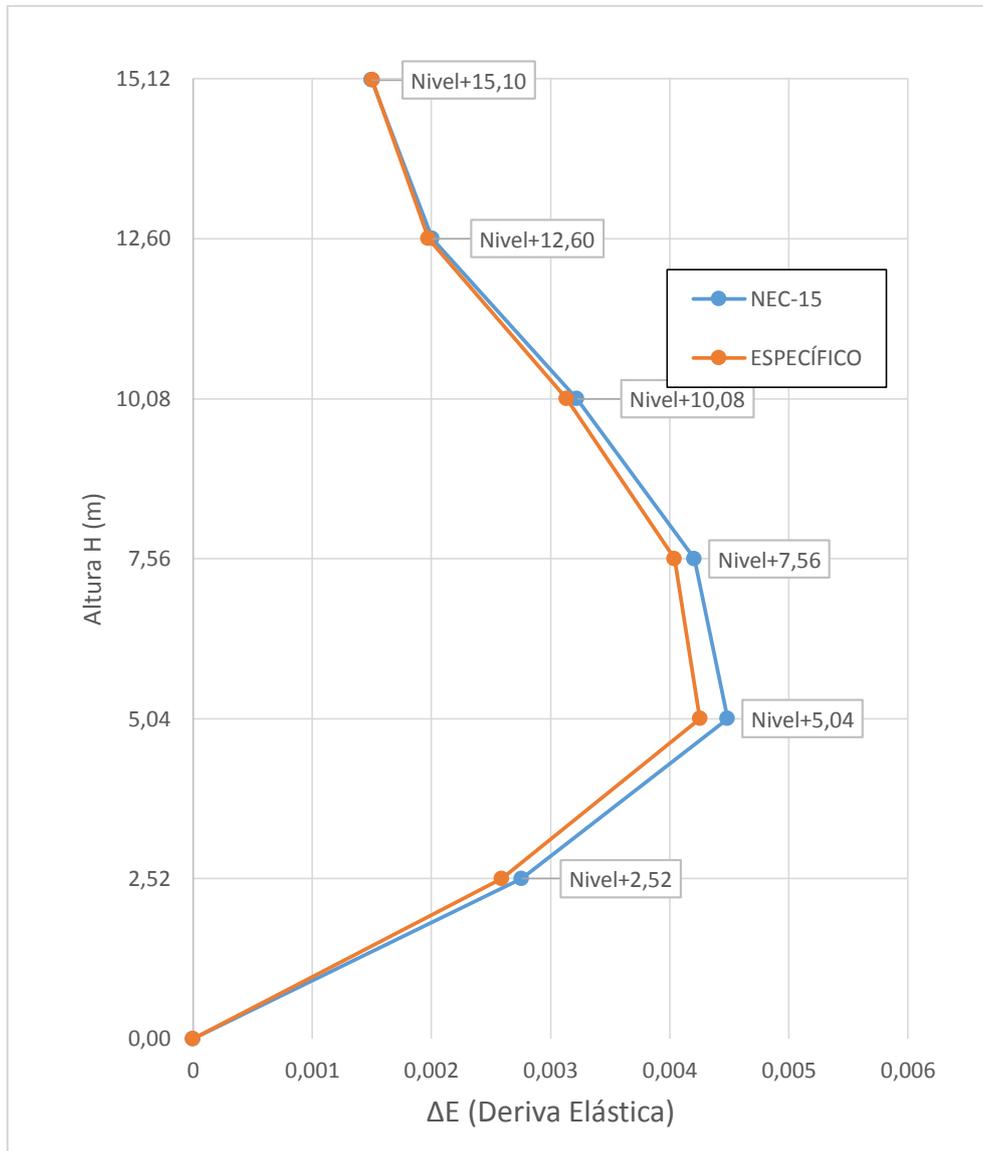
Tabla 37. Valores de aceleración y coeficientes sísmicos obtenidos con los periodos calculados en Etabs

<b>Estructura</b>	<b>T Etabs (Seg)</b>	<b>Sa(%g)</b>	<b>C</b>	<b>k</b>
6 Pisos	0,81	1,00	0,139	1,16
3 Pisos	0,42	1,43	0,179	1,00
2 Pisos	0,53	1,44	0,180	1,02

Elaboración: Nelson Sánchez

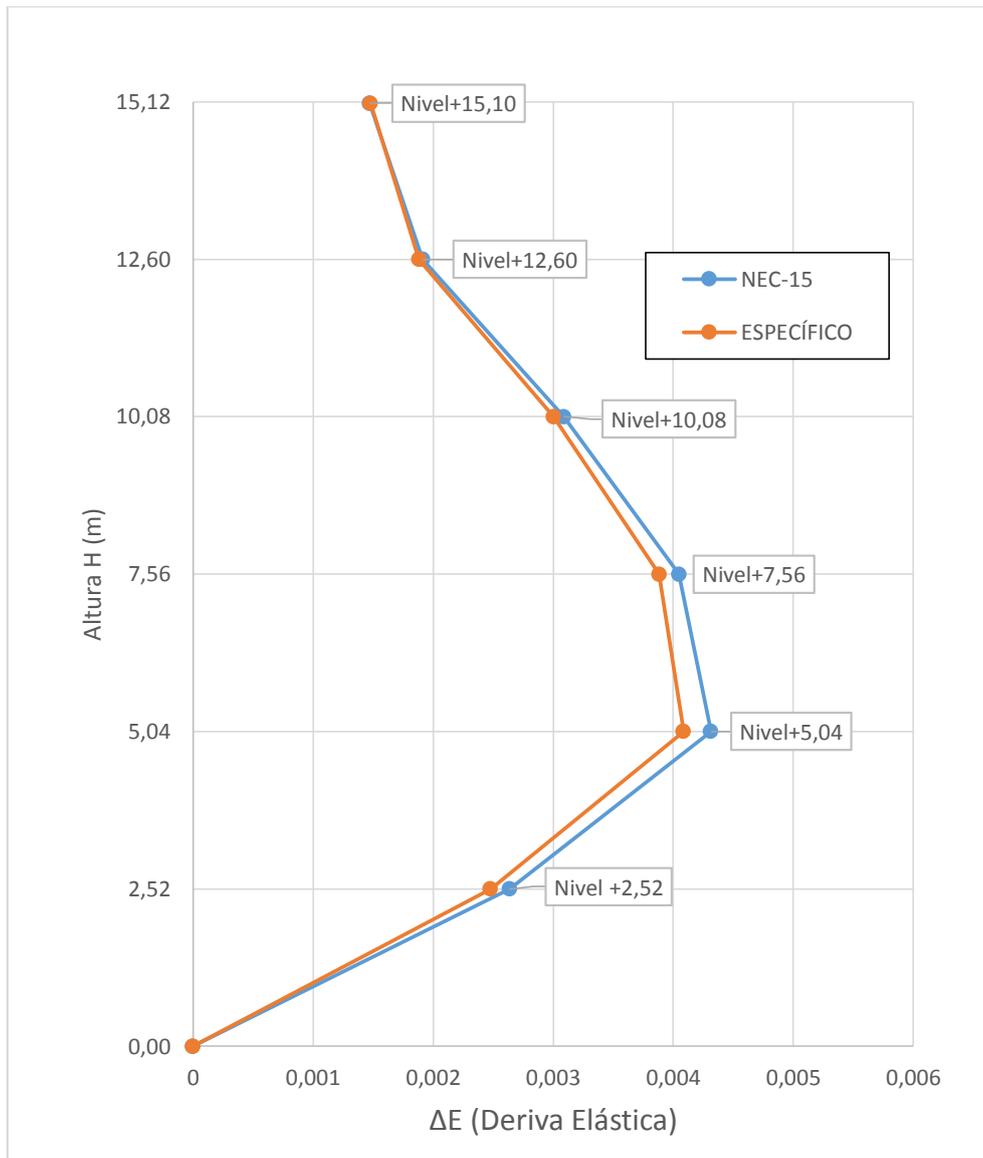
Las siguientes graficas nos muestran la comparación de las derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y el específico.

Figura 45. Derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y el Específico en sentido X para la estructura de 6 pisos



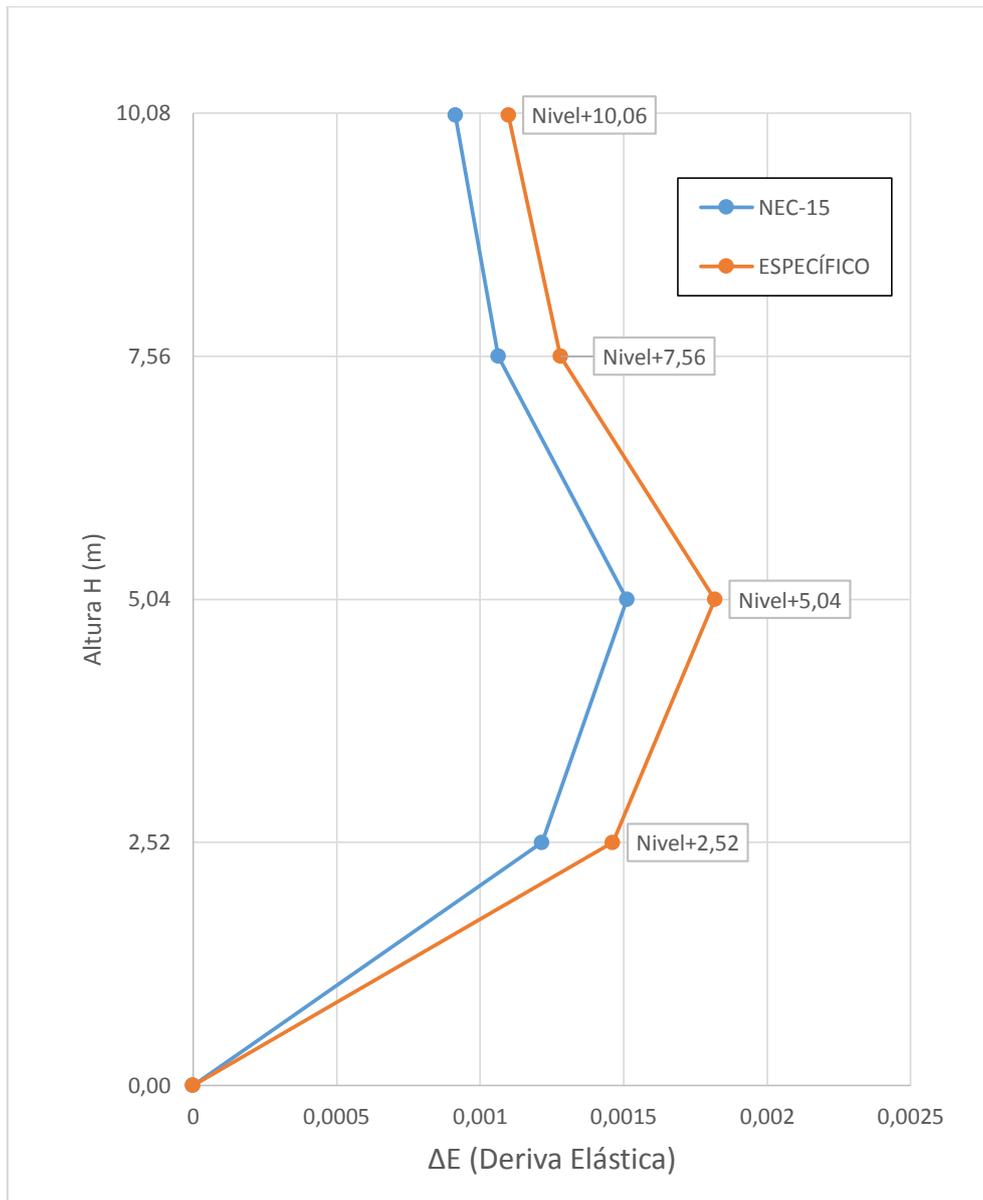
Fuente: Etabs 2016 v16

Figura 46. Derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y el Específico en sentido Y para la estructura de 6 pisos



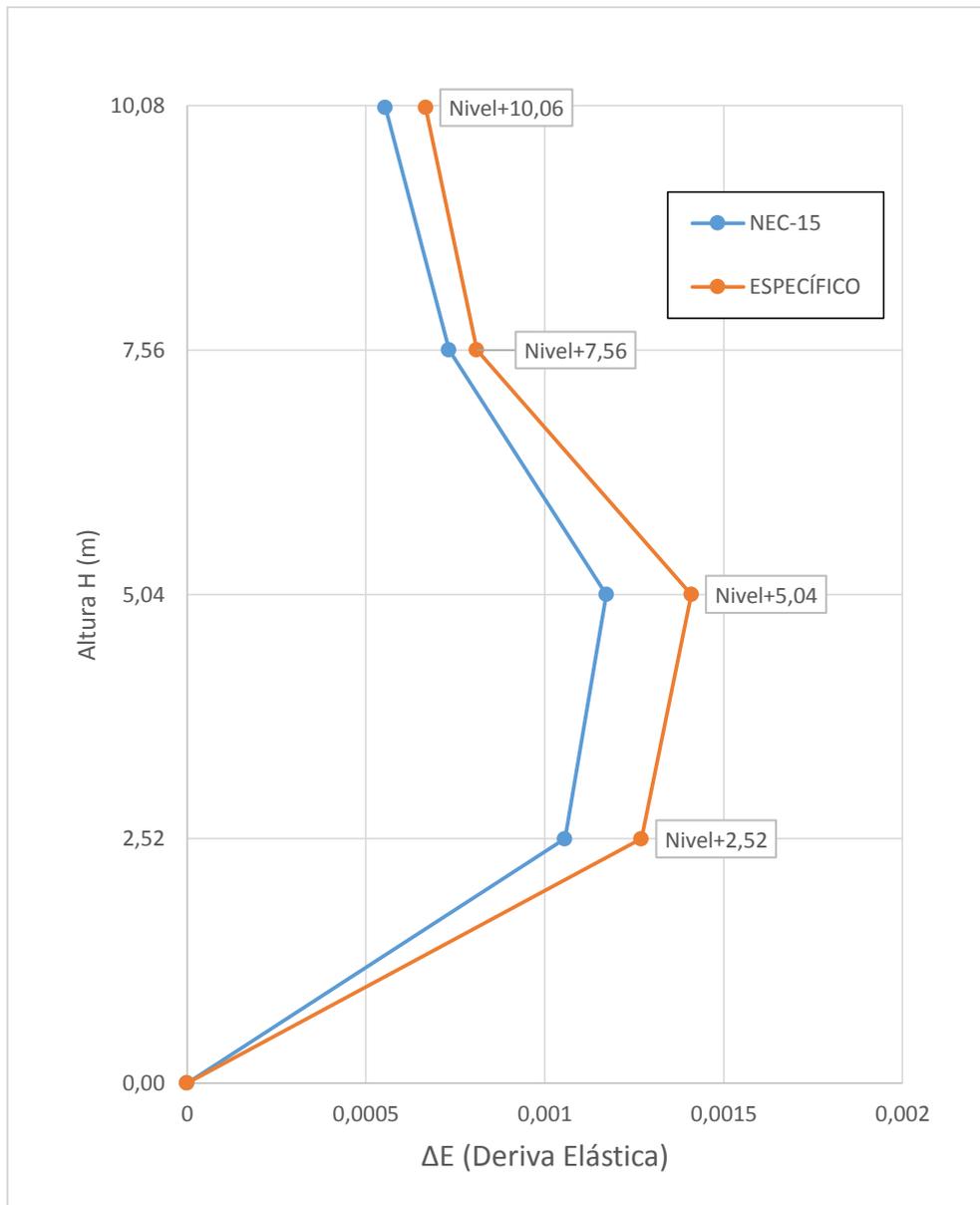
Fuente: Etabs 2016 v16

Figura 47. Derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y el Específico en sentido X para la estructura de 3 pisos



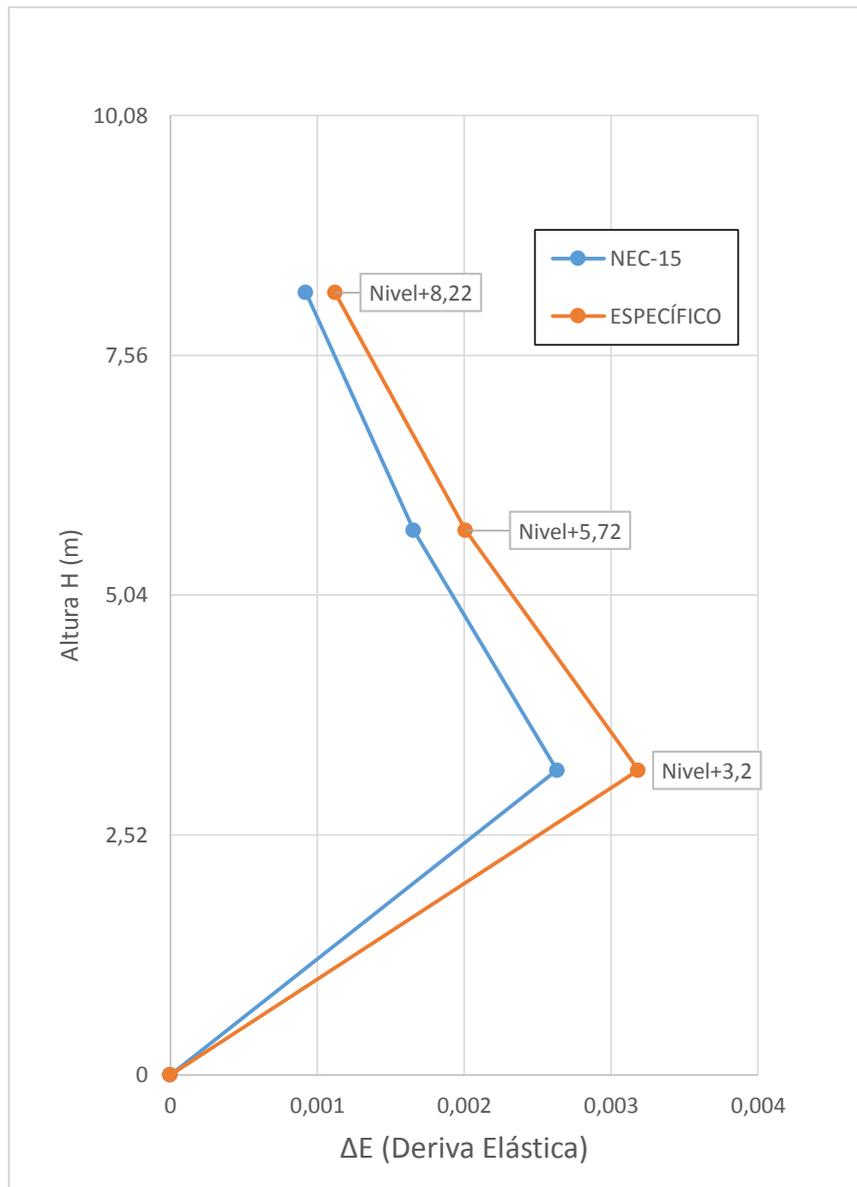
Fuente: Etabs 2016 v16

Figura 48. Derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y el Específico en sentido Y para la estructura de 3 pisos



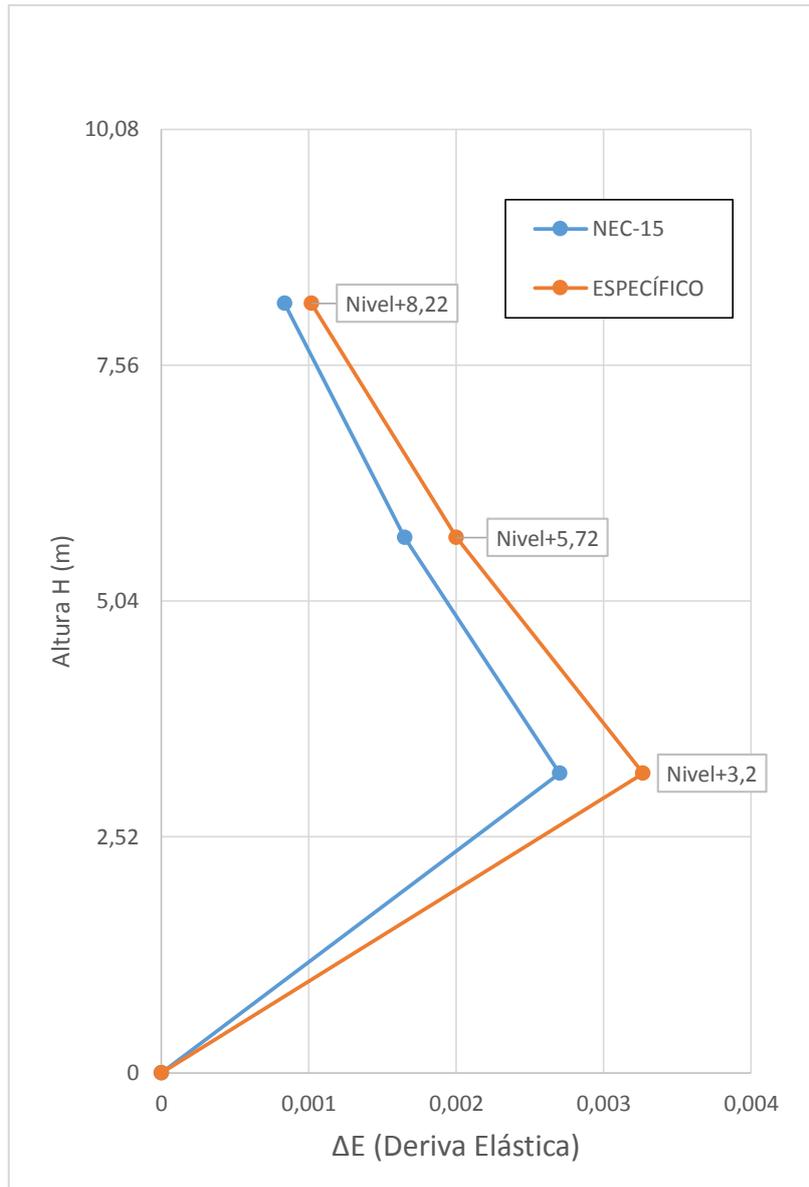
Fuente: Etabs 2016 v16

Figura 49. Derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y el Específico en sentido X para la estructura de 2 pisos



Fuente: Etabs 2016 v16

Figura 50. Derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y el Específico en sentido Y para la estructura de 2 pisos



Fuente: Etabs 2016 v16

En las siguientes tablas podemos ver los resultados de las derivas elásticas e inelásticas con cada uno de los espectros analizados.

Tabla 38. Derivas máximas elásticas e inelásticas para cada una de las estructuras analizadas en sitio

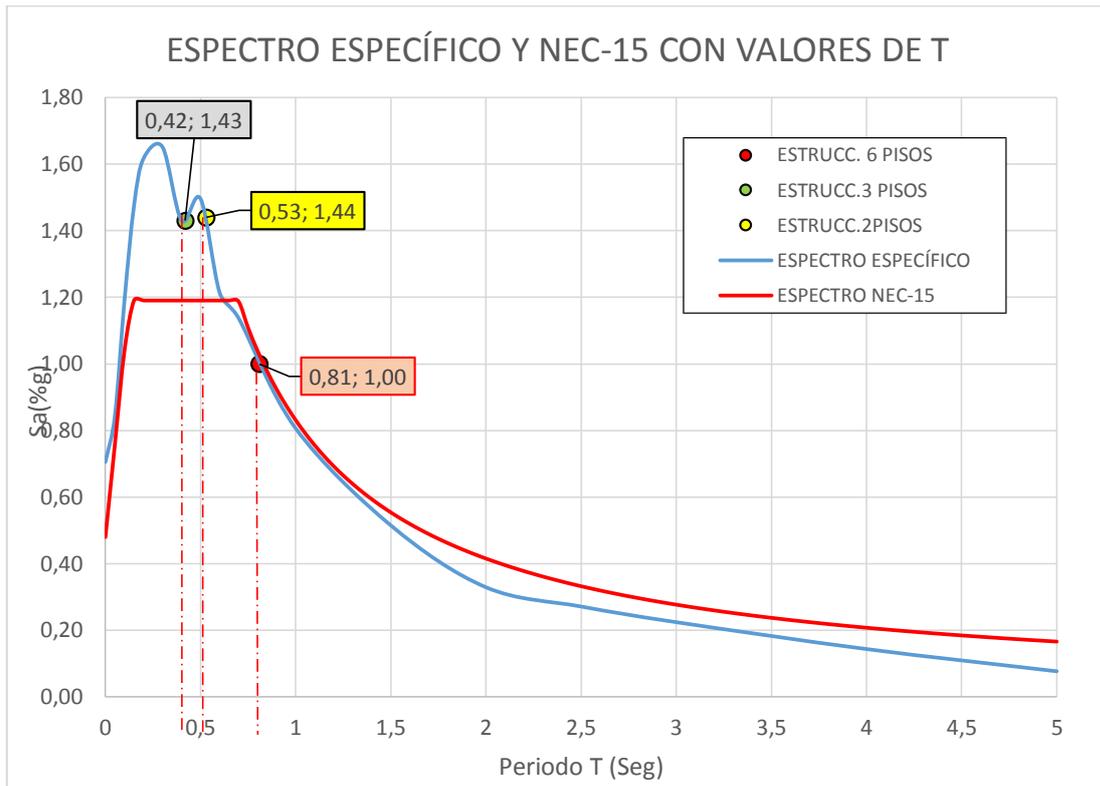
<b>ESTRUCTURA 6 PISOS (N<sub>v</sub> 5,04)</b>			
<b>Espectro NEC-15</b>			
<b>Sentido X</b>		<b>Sentido Y</b>	
$\Delta E$	$\Delta M \%$	$\Delta E$	$\Delta M \%$
0,00449	2,69	0,0043	2,59
<b>Espectro Específico</b>			
<b>Sentido X</b>		<b>Sentido Y</b>	
$\Delta E$	$\Delta M \%$	$\Delta E$	$\Delta M \%$
0,00425	2,55	0,004087	2,45
<b>ESTRUCTURA 3 PISOS (N<sub>v</sub> 5,04)</b>			
<b>Espectro NEC-15</b>			
<b>Sentido X</b>		<b>Sentido Y</b>	
$\Delta E$	$\Delta M \%$	$\Delta E$	$\Delta M \%$
0,00151	0,91	0,00117	0,70
<b>Espectro Específico</b>			
<b>Sentido X</b>		<b>Sentido Y</b>	
$\Delta E$	$\Delta M \%$	$\Delta E$	$\Delta M \%$
0,001818	1,09	0,00141	0,85
<b>ESTRUCTURA 2 PISOS (N<sub>v</sub> 3,20)</b>			
<b>Espectro NEC-15</b>			
<b>Sentido X</b>		<b>Sentido Y</b>	
$\Delta E$	$\Delta M \%$	$\Delta E$	$\Delta M \%$
0,00263	1,58	0,002701	1,62
<b>Espectro Específico</b>			
<b>Sentido X</b>		<b>Sentido Y</b>	
$\Delta E$	$\Delta M \%$	$\Delta E$	$\Delta M \%$
0,003184	1,91	0,003268	1,96

Elaboración: Nelson Sánchez

De la tabla anterior se observa que el porcentaje de derivas de piso para la estructura de 6 pisos es mayor al 2% en ambos sentidos por lo que dicha estructura no cumple la estabilidad especificada en la NEC-15, por lo que se espera un daño considerable, o posible colapso de la estructura bajo el sismo de diseño.

Podemos observar una comparación entre los dos espectros analizados con los respectivos periodos calculados de cada estructura.

Figura 51. Espectro específico y Nec-15 con los valores de T para cada estructura



De la gráfica anterior podemos determinar que para los periodos de las estructuras de 2 y 3 pisos se registran aceleraciones de 1,44 g y 1,43 g respectivamente en el espectro específico, siendo mayores a las obtenidas con el espectro de la NEC 15. Sin embargo para el periodo de la estructura de 6 pisos las aceleraciones son las mismas para ambos espectros.

## ANÁLISIS DINÁMICO

### a) Validación del análisis dinámico

El valor del cortante dinámico total en la base de la estructura obtenido por cualquier método de análisis dinámico debe cumplir que: [5]

- **V dinámico**  $\geq$  80% V estático (estructuras regulares)
- **V dinámico**  $\geq$  85% V estático (estructuras irregulares)

En la siguiente tabla se muestra la validación del análisis dinámico por medio de la relación entre el cortante dinámico y el estático.

Tabla 39. Validación del análisis dinámico

<b>ESTRUCTURA: 6 PISOS</b>						
<b>Espectro NEC 2015</b>	<b>Sentido X</b>			<b>Sentido Y</b>		
	<b>Vestát.</b>	<b>Vdinám.</b>	<b>Vdin/Vest(%)</b>	<b>Vestát.</b>	<b>Vdinám.</b>	<b>Vdin/Vest(%)</b>
	93635	74320	79,37	93635	70905	75,72
<b>Espectro Específico</b>	<b>Vestát.</b>	<b>Vdinám.</b>	<b>Vdin/Vest(%)</b>	<b>Vestát.</b>	<b>Vdinám.</b>	<b>Vdin/Vest(%)</b>
	87468	79450	90,83	87468	72806	83,24
<b>ESTRUCTURA: 3 PISOS</b>						
<b>Espectro NEC 2015</b>	<b>Sentido X</b>			<b>Sentido Y</b>		
	<b>Vestát.</b>	<b>Vdinám.</b>	<b>Vdin/Vest(%)</b>	<b>Vestát.</b>	<b>Vdinám.</b>	<b>Vdin/Vest(%)</b>
	28229	22267	78,88	28229	25644	90,84
<b>Espectro Específico</b>	<b>Vestát.</b>	<b>Vdinám.</b>	<b>Vdin/Vest(%)</b>	<b>Vestát.</b>	<b>Vdinám.</b>	<b>Vdin/Vest(%)</b>
	35161	26041	74,06	35161	31164	88,63
<b>ESTRUCTURA: 2 PISOS</b>						
<b>Espectro NEC 2015</b>	<b>Sentido X</b>			<b>Sentido Y</b>		
	<b>Vestát.</b>	<b>Vdinám.</b>	<b>Vdin/Vest(%)</b>	<b>Vestát.</b>	<b>Vdinám.</b>	<b>Vdin/Vest(%)</b>
	25648	22756	88,72	25648	24702	96,31
<b>Espectro Específico</b>	<b>Vestát.</b>	<b>Vdinám.</b>	<b>Vdin/Vest(%)</b>	<b>Vestát.</b>	<b>Vdinám.</b>	<b>Vdin/Vest(%)</b>
	31026	24208	78,02	31026	28567	92,07

Elaboración: Nelson Sánchez

Como se puede observar en la tabla anterior, el espectro específico de sitio genera una mayor sollicitación en comparación con el espectro de la NEC-15 en el caso de la estructura de 6 pisos.

## Derivas de piso

Se procederá al control de las derivas de piso obtenidas con cada espectro ingresado y en sentido X-Y

Tabla 40. Derivas de piso elásticas con cada espectro ingresado

<b>ESTRUCTURA: 6 PISOS</b>		
<b>Espectro NEC 2015</b>	<b>Sentido X</b>	<b>Sentido Y</b>
	$\Delta E$	$\Delta E$
	0,00377	0,00424
<b>Espectro Específico</b>	$\Delta E$	$\Delta E$
	0,00404	0,00440
<b>ESTRUCTURA: 3 PISOS</b>		
<b>Espectro NEC 2015</b>	<b>Sentido X</b>	<b>Sentido Y</b>
	$\Delta E$	$\Delta E$
	0,00182	0,00100
<b>Espectro Específico</b>	$\Delta E$	$\Delta E$
	0,00212	0,00122
<b>ESTRUCTURA: 2 PISOS</b>		
<b>Espectro NEC 2015</b>	<b>Sentido X</b>	<b>Sentido Y</b>
	$\Delta E$	$\Delta E$
	0,00329	0,00266
<b>Espectro Específico</b>	$\Delta E$	$\Delta E$
	0,00343	0,00307

Elaboración: Nelson Sánchez

De igual manera, las derivas solicitantes por el sismo del espectro específico de sitio son mayores a las generadas por el espectro de la NEC-15.

### **4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS**

De acuerdo a la hipótesis planteada anteriormente en esta investigación, “El estudio de peligro sísmico determinista influye en el comportamiento de las estructuras del cantón Ambato - sector Miñarica I”, se determinó que la envolvente de los espectros de aceleración calculados mediante ecuaciones de atenuación en un intervalo de período de vibración de 0.10 a 0.60 segundos genera aceleraciones mayores con respecto al espectro de la norma por lo que el comportamiento estructural de las estructuras analizadas en sitio se ve afectado.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- La falla geológica cortical de mayor magnitud de momento calculada es la de Samanga con una Mw de 6,9 mientras que la falla de subducción en la placa de nazca podría generar una Mw de 8,9 debido a que estas fallas poseen mayor longitud de ruptura superficial.
- Las respuestas de aceleración espectral dependerán de la distancia al epicentro y para fallas de subducción dependerán de la profundidad a la que se libere la energía para producir un sismo.
- El espectro que generó la mayor respuesta fue el de la falla Huachi ya que dicha falla presenta una distancia perpendicular a la zona de estudio de 0,46 Km siendo esta la de menor valor entre las fallas seleccionadas.
- Del espectro específico se podrán tener aceleraciones de hasta 1.65 g en un intervalo de 0.10 a 0.60 segundos siendo éstos valores mayores en comparación a los obtenidos con el espectro de la NEC 2015, por lo que las estructuras en el sitio de análisis deberán ser calculadas para aceleraciones mayores a las obtenidas con el espectro de la NEC 2015 en los rangos de periodo T especificados (0.10 a 0.60 seg.).
- Para las estructuras de 2 y 3 pisos el espectro específico genera mayores aceleraciones ya que los periodos de estas estructuras están en el rango de 0,1 a 0,6 seg mientras que para la estructura de 6 pisos, el espectro de la NEC-15 resulta ser más crítico ya que su periodo es mayor a 0,6 seg.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para estructuras nuevas en la zona de estudio se recomienda realizar un diseño sísmico resistente en base a la NEC-15 pero verificando su desempeño con un Espectro Específico. Para estructuras existentes se debe realizar una evaluación del desempeño estructural en base al Espectro específico calculado.
- Es importante que la ciudad de Ambato cuente con un mapa de microzonificación de suelos en base a los parámetros establecidos en la NEC 2015.
- Se recomienda tener en cuenta las actualizaciones en las ecuaciones de atenuación ya que con los modelos mejorados se pueden obtener resultados más reales en posteriores investigaciones.
- Se recomienda realizar estudios de este tipo ya que la ciudad de Ambato no cuenta con estudios enfocados en este tema, y sería de gran ayuda para futuros acontecimientos.

## **C. MATERIALES DE REFERENCIA**

### **1. BIBLIOGRAFÍA**

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

<https://drive.google.com/open?id=0B4jY8DWfYmV9c3A3ODZ2Q1ZMaVU>

[2] Quizanga, D. (2015). Espectros específicos para la ciudad de Quito en función de fallas ciegas inversas. Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. En línea. Disponible:

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11856>

[3] Aguiar, R. Microzonificación Sísmica del centro norte de Quito. Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. En línea. Disponible:

<http://ia.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2013/03/Microzonificaci%C3%B3n.pdf>

[4] Cobos, P. (2017). Estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi. Universidad Técnica de Ambato. En línea. Disponible:

<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25147/1/Tesis%201100%20%20Cobos%20Torres%20Fabricio%20Pa%C3%BAI.pdf>

[5] Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (Peligro Sísmico). En Línea. Disponible: <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>

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

[7] Yépez, F. (2011). Últimos avances en la evaluación del riesgo sísmico de Quito y futuros proyectos de mitigación. En Línea. Disponible:

<http://www.flacsoandes.edu.ec/biblio/catalog/resGet.php?resId=24693>

[8] La Hora. (2002). Ambato necesita identificar zonas de alto riesgo.

En línea. Disponible:

[http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1000077460/1/Ambato\\_necesita\\_identificar\\_zonas\\_de\\_alto\\_riesgo.html#.V1Ctn-SB62k](http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1000077460/1/Ambato_necesita_identificar_zonas_de_alto_riesgo.html#.V1Ctn-SB62k)

[9] El Universo. (2004). Sismóloga Alvarado dice que origen está en fallas geológicas.

En línea. Disponible:

<http://www.eluniverso.com/2004/05/05/0001/12/B3C8E37455F34F41B8A74D3B12346D30.html>

[10] Gutiérrez, C. Guevara, E. (2001) Sismos: Serie Fascículos. En línea. Disponible:

<http://cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/163-FASCCULOSISMOS.PDF>

[11] Galapagos Conservation Trust. En línea. Disponible:

<http://descubriendogalapagos.ec/descubre/procesos-geograficos/ubicacion-formacion/placas-tectonicas/>

[12] González, M. (2010). Terremotos y Riesgo Sísmico. En Línea. Disponible:

[https://drive.google.com/open?id=1M9KEMtkNnpSwDM\\_Z83YW0svSRMc57FaT](https://drive.google.com/open?id=1M9KEMtkNnpSwDM_Z83YW0svSRMc57FaT)

[13] González, M. (2010). Terremotos y Riesgo Sísmico.

En Línea. Disponible:

[https://drive.google.com/open?id=1M9KEMtkNnpSwDM\\_Z83YW0svSRMc57FaT](https://drive.google.com/open?id=1M9KEMtkNnpSwDM_Z83YW0svSRMc57FaT)

[14] Gutiérrez, C. Quaas, R. Sismos. En Línea. Disponible:

<http://cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/163-FASCCULOSISMOS.PDF>

[15] Benito, B. Jiménez, E. (1999) Peligrosidad Sísmica. En Línea. Disponible:

<https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/viewFile/FITE9999110013A/12067>

[16] Aguilar, Z. (2016). Analisis de Peligro Sísmico y estimado del Movimiento Sísmico de Diseño. En línea. Disponible:

[https://www.researchgate.net/profile/Zenon\\_Aguilar/publication/237684107\\_ANALISIS\\_DE\\_PELIGRO\\_SISMICO\\_Y\\_ESTIMADO\\_DEL\\_MOVIMIENTO\\_SISMICO\\_DE\\_](https://www.researchgate.net/profile/Zenon_Aguilar/publication/237684107_ANALISIS_DE_PELIGRO_SISMICO_Y_ESTIMADO_DEL_MOVIMIENTO_SISMICO_DE_)

DISENO/links/569c50a108aea14769547660/ANALISIS-DE-PELIGRO-SISMICO-Y-ESTIMADO-DEL-MOVIMIENTO-SISMICO-DE-DISENO.pdf

[17] Taipe, L. (2013). Análisis de las ecuaciones de predicción de movimientos de suelo para el Ecuador utilizando datos registrados durante el periodo 2000-20011 en estaciones sísmicas de banda ancha y acelerógrafos. En línea. Disponible:  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6447/1/CD-4961.pdf>

[18] Universidad Nacional Autónoma de México. En línea. Disponible:  
<http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Magnitud-de-un-sismo.pdf>

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

[20] En línea. Disponible:  
[http://www.cicad.oas.org/fortalecimiento\\_institucional/savia/PDF/Cant%C3%B3n%20Ambato.pdf](http://www.cicad.oas.org/fortalecimiento_institucional/savia/PDF/Cant%C3%B3n%20Ambato.pdf)

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

[22] Yopez, H. Rivadeneira, F. Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador. (2007). En línea. Disponible:  
<http://www.igeptn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file>

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

[24] Instituto Geofísico-Escuela Politécnica Nacional. (2016). Informe sísmico especial N. 13 – 2016. En línea. Disponible:

<http://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1317-informe-sismico-especial-n-13-2016>

[25] Secretaría de comunicaciones y transportes. (2003). Metodos de muestreo y prueba de materiales. En línea. Disponible:

<http://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-02-03.pdf>

[26] Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 689. En línea. Disponible: <https://ia601903.us.archive.org/5/items/ec.nte.0689.1982/ec.nte.0689.1982.pdf>

[27] Lazcano, S. (2012). Perfiles de velocidad de onda de corte y análisis del comportamiento sísmico del suelo en el poniente de Guadalajara. En línea. Disponible:

[http://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1\\_Reunion\\_Cancun/2\\_XXVI\\_Reunion\\_Nacional/6\\_Geotecnia\\_sismica/I5LADS\\_1.pdf](http://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_XXVI_Reunion_Nacional/6_Geotecnia_sismica/I5LADS_1.pdf)

[28] Centro Sismológico Nacional Universidad de Chile. Sismicidad y terremotos en Chile. En línea. Disponible:

[http://www.csn.uchile.cl/wp-content/uploads/2014/06/001\\_terremotos\\_y\\_sismicidad\\_chile.pdf](http://www.csn.uchile.cl/wp-content/uploads/2014/06/001_terremotos_y_sismicidad_chile.pdf)

[29] 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>

[30] 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>

[31] 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)

[32] 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>

[33] 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>

[34] Wells, D. Coppersmith, K. Nuevas relaciones empíricas entre magnitud, longitud de ruptura, Ancho de ruptura, área de ruptura y desplazamiento de superficie. En línea. Disponible: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.527.9732&rep=rep1&type=pdf>

[35] Universidad Nacional de Cuyo. (2002). Espectros de respuesta y diseño. En línea. Disponible: <http://blog.uca.edu.ni/estructuras/files/2011/02/espectros-de-respuesta-y-dise%C3%B1o.pdf>

[36] Medina, C. Medina, S. (2017). Coeficiente Irregularidad en Planta a partir del Análisis de Torsión en Estructuras Irregulares. En línea. Disponible: <http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen39/tomo2/763.pdf>

[37] Institución Educativa Técnica San Bartolomé. Procesos Físicos. En línea. Disponible: <http://fisicasanbartolome.wikispaces.com/file/view/Actividad+Ondas+Sismicas.pdf>

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

## 2. ANEXOS

### ANEXO A



Fotografía 1. Martinete



Fotografía 2. Equipos para el ensayo SPT



Fotografía 3. Trípode y colocación del martinete



Fotografía 4. Motor



Fotografía 5. Realizando el ensayo SPT



Fotografía 6. Medir la longitud de la muestra



Fotografía 7. Muestras de pozo 1



Fotografía 8. Separación de la muestra en recipientes metálicos



Fotografía 9. Tamizado de la muestra de suelo para análisis granulométrico



Fotografía 10. Pesando muestra de suelo



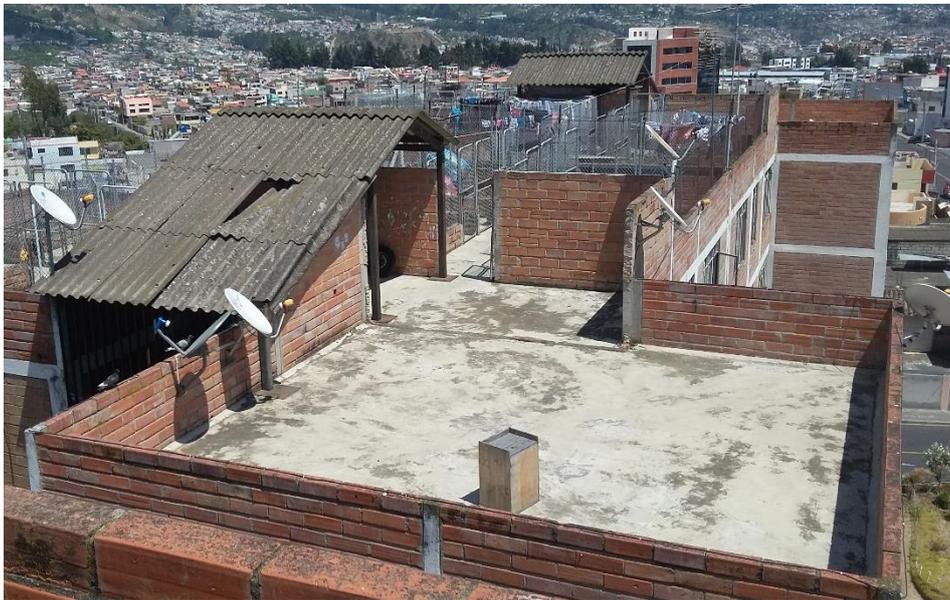
Fotografía 11. Estructura de 6 pisos



Fotografía 12. Estructura de 3 pisos



Fotografía 13. Estructura de 2 pisos

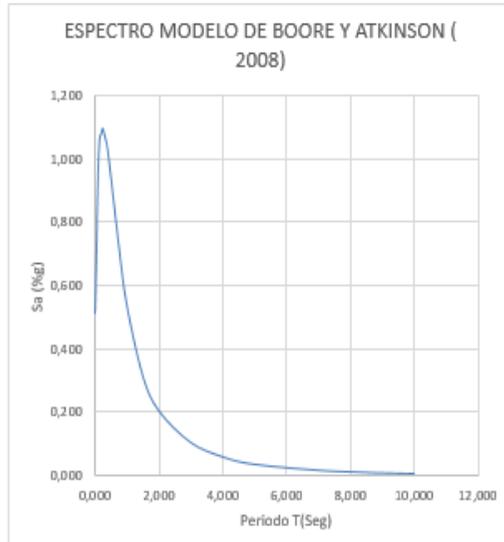


Fotografía 14. Levantamiento de Estructura de 6 pisos

MODELO DE BOORE Y ATKINSON ( 2008)

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

M	GMP	T (s)	Sa(g)	b <sub>1</sub>	σ	τ <sub>U</sub>	σ <sub>TU</sub>	τ <sub>R</sub>	σ <sub>TR</sub>
6,48	PSA (g)	0,010	0,515	-0,1264	0,5020	0,2670	0,5690	0,2620	0,5660
		0,020	0,532	-0,1083	0,5020	0,2670	0,5690	0,2620	0,5660
R <sub>JB</sub>		0,030	0,579	-0,0993	0,5070	0,2760	0,5780	0,2740	0,5760
0,72		0,050	0,672	-0,0993	0,5160	0,2860	0,5890	0,2860	0,5890
		0,075	0,810	-0,0993	0,5130	0,3220	0,6060	0,3200	0,6060
U		0,10	0,928	-0,1174	0,5200	0,3130	0,6080	0,3180	0,6080
0		0,15	1,066	-0,1625	0,5180	0,2880	0,5920	0,2900	0,5940
		0,20	1,081	-0,1715	0,5230	0,2830	0,5960	0,2880	0,5960
SS		0,25	1,099	-0,1444	0,5270	0,2670	0,5920	0,2670	0,5920
0		0,30	1,082	-0,1264	0,5460	0,2720	0,6080	0,2690	0,6080
		0,40	1,037	-0,0903	0,5410	0,2670	0,6030	0,2670	0,6030
NS		0,50	0,953	-0,0542	0,5550	0,2650	0,6150	0,2650	0,6150
0		0,75	0,734	0,0000	0,5710	0,3110	0,6490	0,2990	0,6450
		1,0	0,544	0,0000	0,5730	0,3180	0,6540	0,3020	0,6470
RS		1,5	0,320	0,0000	0,5660	0,3820	0,6840	0,3730	0,6790
1		2,0	0,208	0,0000	0,5800	0,3980	0,7020	0,3890	0,7000
		3,0	0,107	0,0000	0,5660	0,4100	0,7000	0,4010	0,6950
V <sub>s30</sub>		4,0	0,061	0,0000	0,5830	0,3940	0,7020	0,3850	0,6980
328,386		5,0	0,037	0,0000	0,6010	0,4140	0,7300	0,4370	0,7440
		7,5	0,015	0,0000	0,6260	0,4650	0,7810	0,4770	0,7870
Variables Calculadas		10,0	0,008	0,0000	0,6450	0,3550	0,7350	0,4770	0,8010
pga4nl	PGA (g)	0	0,510	-0,1264	0,5020	0,2650	0,5660	0,2600	0,5640
4,571E-01	PGV (c/s)	-1	51,919	-0,0542	0,5000	0,2860	0,5760	0,2560	0,5600



**DEFINICIÓN DE PARAMETROS:**

PSA= Pseudo-absolute acceleration response spectrum (g; 5% damping)  
 PGA= Peak ground acceleration (g)  
 FM, FD y FS = representan la escala de magnitud, la función de distancia y la amplificación del sitio, respectivamente.  
 M = Magnitud de momento,  
 R<sub>JB</sub> = Distancia más cercana a la proyección de superficie de la falla.  
 Vs30: Velocidad media de la onda de corte en los primeros 30 m del perfil del sitio

U= Factor de mecanismo no especificado: 1 para no especificado; caso contrario 0  
 SS= Factor de mecanismo Transcurrente: 1 para Transcurrente; caso contrario 0  
 NS= Factor de mecanismo Normal: 1 para Normal; caso contrario 0  
 RS= Factor de mecanismo Inverso: 1 para Inversa; caso contrario 0

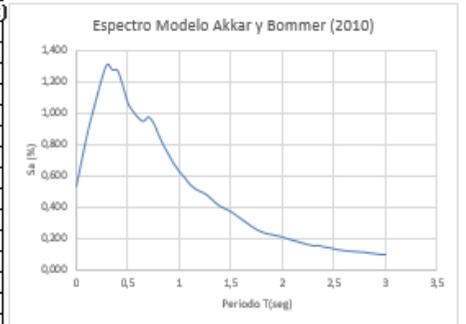
σ =incertidumbre aleatoria intra-evento  
 τ =incertidumbre aleatoria entre eventos  
 ε = número fraccionario de desviaciones estándar de un único valor predicho de ln Y lejos del valor medio de ln Y  
 c1, c2, c3, y h son los coeficientes a determinar en el análisis.  
 Mh = esta magnitud es para la forma de la escala de magnitud.

Gráfico 1. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Boore y Atkinson (2008)

Modelo Akkar y Bommer (2010)

$$\log y = b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M) \log \sqrt{R_{pb}^2 + b_6^2} + b_7S_s + b_8S_A + b_9F_N + b_{10}F_R$$

(M) = 6,476																
RJB = 0,720																
		T(seg)	SA(g)	SA(gals)	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10	1 (intra-event)	2 (inter-event)
		0	0,532	521,453	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	0,692	678,752	2,11528	0,72571	-0,07351	-3,33201	0,33534	7,74734	0,04707	-0,02426	-0,0426	0,08649	0,272	0,1142
<b>SUELO BLANDO (Vs30 &lt; 360m/s)</b>		0,1	0,849	832,770	2,11994	0,75179	-0,07448	-3,10538	0,30253	8,21405	0,02667	-0,00062	-0,04906	0,0791	0,2728	0,1167
SS	1	0,15	0,982	962,856	1,64489	0,83683	-0,07544	-2,75848	0,2549	8,31786	0,02578	0,01703	-0,04184	0,0784	0,2788	0,1192
SA	0	0,2	1,104	1083,127	0,92065	0,96815	-0,07903	-2,49264	0,2179	8,21914	0,06557	0,02105	-0,02098	0,08438	0,2821	0,1081
<b>SUELO RIGIDO</b>		0,25	1,225	1201,354	0,13978	1,13068	-0,08761	-2,33824	0,20089	7,20688	0,0981	0,03919	-0,04853	0,08577	0,2871	0,099
SS	1	0,3	1,310	1285,115	-0,84006	1,37439	-0,10349	-2,19123	0,18139	6,54299	0,12847	0,0434	-0,05554	0,09221	0,2902	0,0976
SA	0	0,35	1,273	1249,265	-1,32207	1,47055	-0,10873	-2,12993	0,17485	6,24751	0,16213	0,06695	-0,04722	0,09003	0,2983	0,1054
<b>ROCA (Vs30 &gt; 750m/s)</b>		0,4	1,270	1245,920	-1,7032	1,5593	-0,11388	-2,12718	0,17137	6,57173	0,21222	0,09201	-0,05145	0,09903	0,2998	0,1101
SS	0	0,45	1,176	1153,182	-1,97201	1,61645	-0,11742	-2,16619	0,177	6,78082	0,24121	0,11675	-0,05202	0,09943	0,3037	0,1123
SA	0	0,5	1,063	1042,585	-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	1,010	990,576	-3,51672	2,02523	-0,14495	-2,04211	0,15617	6,7617	0,26498	0,14446	-0,04259	0,06945	0,307	0,1274
<b>Categorías mecanismo de falla</b>		0,6	0,970	951,315	-3,92759	2,08471	-0,14648	-1,88144	0,13621	6,10103	0,27718	0,15156	-0,03853	0,05932	0,3007	0,143
<b>FALLA NORMAL</b>		0,65	0,947	928,606	-4,4949	2,21154	-0,15522	-1,79031	0,12916	5,19135	0,28574	0,15239	-0,03423	0,05111	0,3004	0,1546
FN	1	0,7	0,973	954,953	-4,62925	2,21764	-0,15491	-1,798	0,13495	4,46323	0,30348	0,15652	-0,04146	0,04661	0,2978	0,1626
FR	0	0,75	0,934	916,298	-4,95053	2,29142	-0,15983	-1,81321	0,1392	4,27945	0,31516	0,16333	-0,0405	0,04253	0,2973	0,1602
<b>FALLA INVERSA</b>		0,8	0,857	840,899	-5,32863	2,38389	-0,16571	-1,77273	0,13273	4,37011	0,32153	0,17366	-0,03946	0,03373	0,2927	0,1584
FN	0	0,85	0,788	773,165	-5,75799	2,50635	-0,17479	-1,77068	0,13096	4,62192	0,3352	0,1848	-0,03786	0,02867	0,2917	0,1543
FR	1	0,9	0,728	714,598	-5,82689	2,50287	-0,17367	-1,76295	0,13059	4,65393	0,34849	0,19061	-0,02884	0,02475	0,2915	0,1521
<b>FALLA TRANSURRENTE</b>		0,95	0,671	658,328	-5,90592	2,51405	-0,17417	-1,79854	0,13535	4,8454	0,35919	0,19411	-0,02209	0,02502	0,2912	0,1484
FN	0	1	0,626	613,833	-6,17066	2,58558	-0,17938	-1,80717	0,13599	4,97596	0,36619	0,19519	-0,02269	0,02121	0,2895	0,1483
FR	0	1,05	0,588	576,971	-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	0,546	535,733	-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	0,518	508,165	-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	0,500	490,709	-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	0,484	475,237	-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	0,458	449,275	-6,51719	2,51869	-0,1633	-1,46527	0,08005	5,14423	0,38862	0,19273	-0,01902	-0,00369	0,2869	0,1427
		1,35	0,427	418,984	-6,55821	2,52238	-0,16307	-1,48223	0,08173	5,29006	0,38677	0,19082	-0,01842	-0,00897	0,2885	0,1428
		1,4	0,403	395,234	-6,61945	2,52611	-0,16274	-1,48257	0,08213	5,3349	0,38625	0,19285	-0,01607	-0,00876	0,2875	0,1458
		1,45	0,387	380,032	-6,62737	2,49858	-0,1591	-1,4331	0,07577	5,19412	0,38285	0,19161	-0,01288	-0,00564	0,2857	0,1477
		1,5	0,372	364,633	-6,71787	2,49486	-0,15689	-1,35301	0,06379	5,1575	0,37867	0,18812	-0,01208	-0,00215	0,2839	0,1468



- Use three site categories:  
 Soft soil  $S_s = 1, S_A = 0$ .  
 Stiff soil  $S_s = 1, S_A = 0$ .  
 Rock  $S_s = 0, S_A = 0$ .
- Use three faulting mechanism categories:  
 Normal  $F_N = 1, F_R = 0$ .  
 Strike-slip  $F_N = 0, F_R = 0$ .  
 Reverse  $F_N = 1, F_R = 0$ .

Gráfico 2. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Akkar y Bommer (2010)

### Modelo Kanno (2006)

$V_{s30}$	
328,386	
Magnitud de Momento (Mw)	
6,476	
$e1 =$	0,5
Distancia de la fuente (X)	
0,72	

• Ground-motion model is for  $D \leq 30$  km:

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

and for  $D > 30$  km:

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

Use  $V_{s,30}$  to characterise site effects using correction formula:  $G = \log(\text{obs}/\text{pre}) = p \log V_{s,30} + q$ . Derive  $p$  and  $q$  by regression analysis on residuals averaged at intervals of every 100 m/s in  $V_{s,30}$ .  $p = -0.55$  and  $q = 1.35$  for PGA. Note that the equation without site correction predicts ground motions at sites with  $V_{s,30} \approx 300$  m/s.

	PONDE.
(X = 25km)	6
(25 < X = 50km)	3
(50 < X = 75km)	1,5
(X > 75km)	1
a, b, c, d: Coeficientes	

Coeficientes de regresión para el modelo de eventos poco profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de pga 5%												
T(s)	SA(g)	SA(gals)	Log (pre)	a1	b1	c1	d1	$\epsilon 1$	p	q	G	
0,00	0,71	692,20	2,87	0,56	-0,0031	0,26	0,0055	0,37	-0,55	1,35	-0,034	
0,05	0,84	826,52	2,92	0,54	-0,0035	0,48	0,0061	0,37	-0,32	0,8	-0,005	
0,06	0,98	959,88	2,99	0,54	-0,0037	0,57	0,0065	0,38	-0,26	0,65	-0,004	
0,07	1,05	1026,63	3,02	0,53	-0,0039	0,67	0,0066	0,38	-0,24	0,6	-0,004	
0,08	1,01	995,57	3,01	0,52	-0,004	0,75	0,0069	0,39	-0,26	0,64	-0,014	
0,09	1,12	1098,49	3,05	0,52	-0,0041	0,8	0,0071	0,4	-0,29	0,72	-0,010	
0,10	1,18	1158,51	3,09	0,52	-0,0041	0,85	0,0073	0,4	-0,32	0,78	-0,025	

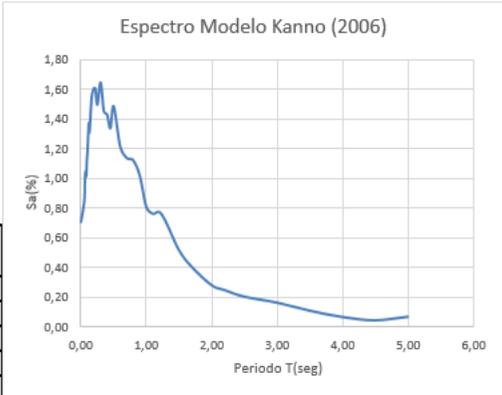


Gráfico 3. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Kanno (2006)

### MODELO DE YOUNGS (1997)

<b>Magnitud de Momento (Mw)</b>	
8,886	
H (Km) =	125
R(Km) =	296,43
<b>CATEGORIAS</b>	
Suelo Profundo=profundidad hasta lecho rocoso es mayor de 20m,	
Zds =	1
Zr =	0
Zss =	0
Suelo poco Profundo=profundidad hasta la roca madre es menor de 20m,	
Zds =	0
Zr =	0
Zss =	1
Interplaca Zt =	
Intraplaca Zt =	

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

PERIODO	SA (G)	C1	C2	C3	C*4	C*5
0,000	0,233	0	0	-2,329	1,45	-0,1
0,075	0,250	2,4	-0,0019	-2,697	1,45	-0,1
0,100	0,281	2,516	-0,0019	-2,697	1,45	-0,1
0,200	0,466	1,549	-0,0019	-2,464	1,45	-0,1
0,300	0,521	0,793	-0,002	-2,327	1,45	-0,1
0,400	0,503	0,144	-0,002	-2,23	1,45	-0,1
0,500	0,496	-0,438	-0,0035	-2,14	1,45	-0,1
0,750	0,458	-1,704	-0,0048	-1,952	1,45	-0,1
1,000	0,410	-2,87	-0,0066	-1,785	1,45	-0,1
1,500	0,321	-5,101	-0,0114	-1,47	1,5	-0,1
2,000	0,263	-6,433	-0,0164	-1,29	1,55	-0,1
3,000	0,143	-6,672	-0,0221	-1,347	1,65	-0,1
4,000	0,089	-7,618	-0,0235	-1,272	1,65	-0,1

#### Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para: [19]

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

Donde:

Y = Aceleración Espectral en g

C = Coeficientes de relación de atenuación.

M = Magnitud de Momento

R = Distancia más cercana a la ruptura (km)

H = Profundidad Focal

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

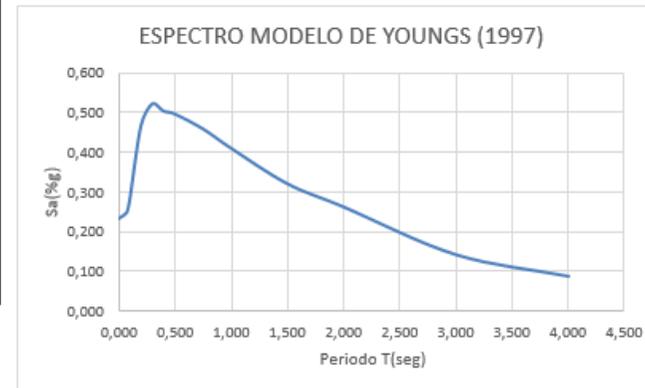
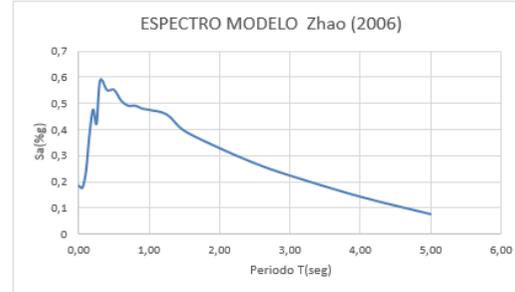


Gráfico 4. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Youngs (1997)

**MODELO Zhao (2006)**

Evento	Interfase	$\log_e(y) = aM_w + bx - \log_e(r) + e(h - h_c)\delta_h + F_R + S_I + S_S + S_{SL} \log_e(x) + C_k$																							
Falla	Inversa	where $r = x + c \exp(dM_w)$																							
Mw	x (km)	h (km)	50	hc (km)	0	Suelo	C2	δh	1																
8.886	296.43																								
Periodo T(s)	a	b	c	d	e	SR	SI	Ss	SsL	CH	C1	C2	C3	C4	Ck	σ	τ	σT	r	ln(Psa)	ln(Psa+σ)	ln(Psa-σ)	Psa (gals)	Psa+σ (gals)	Psa-σ (gals)
0.00	1.101	-0.00564	0.0055	1.080	0.01412	0.251	0.000	2.607	-0.528	0.239	1.111	1.344	1.355	1.420	1.344	0.604	0.398	0.723	#####	4.479	5.203	3.756	88.18	181.76	42.78
0.05	1.076	-0.00671	0.0075	1.060	0.01463	0.251	0.000	2.764	-0.551	0.939	1.684	1.793	1.747	1.814	1.793	0.640	0.444	0.779	#####	4.385	5.164	3.606	80.21	174.78	36.81
0.10	1.118	-0.00787	0.0090	1.083	0.01423	0.240	0.000	2.156	-0.420	1.499	2.061	2.135	2.031	2.082	2.135	0.694	0.490	0.849	#####	4.619	5.468	3.770	101.35	236.90	43.36
0.15	1.134	-0.00722	0.0100	1.053	0.01509	0.251	0.000	2.161	-0.431	1.462	1.916	2.168	2.052	2.113	2.168	0.702	0.460	0.839	412.223	5.088	5.928	4.249	162.14	375.31	70.05
0.20	1.147	-0.00859	0.0120	1.014	0.01462	0.260	0.000	1.901	-0.372	1.280	1.669	2.085	2.001	2.030	2.085	0.692	0.423	0.811	#####	5.337	6.148	4.526	207.83	467.66	92.36
0.25	1.149	-0.00590	0.0140	0.966	0.01459	0.027	0.000	1.814	-0.360	1.121	1.468	1.942	1.941	1.937	1.942	0.682	0.391	0.786	371.258	5.243	6.029	4.456	189.16	415.19	86.18
0.30	1.163	-0.00520	0.0150	0.934	0.01458	0.259	0.000	2.181	-0.450	0.952	1.172	1.693	1.809	1.770	1.683	0.670	0.379	0.770	#####	5.587	6.357	4.817	266.92	576.34	123.61
0.40	1.2	-0.00422	0.0100	0.959	0.01257	0.248	-0.041	2.432	-0.506	0.365	0.655	1.127	1.482	1.397	1.127	0.659	0.390	0.766	#####	5.526	6.292	4.761	251.25	540.35	116.83
0.50	1.25	-0.00338	0.0060	1.008	0.01114	0.247	-0.053	2.629	-0.554	-0.207	0.071	0.515	0.934	0.955	0.515	0.653	0.389	0.760	#####	5.534	6.294	4.774	253.11	541.27	118.36
0.60	1.293	-0.00282	0.0030	1.088	0.01019	0.233	-0.103	2.702	-0.575	-0.705	-0.429	-0.003	0.394	0.559	-0.003	0.653	0.401	0.766	#####	5.450	6.216	4.684	232.76	500.85	108.17
0.70	1.336	-0.00258	0.0025	1.084	0.00979	0.220	-0.146	2.654	-0.572	-1.144	-0.866	-0.449	-0.111	0.188	-0.449	0.652	0.408	0.769	#####	5.409	6.178	4.639	223.32	481.91	103.49
0.80	1.386	-0.00242	0.0022	1.088	0.00944	0.232	-0.164	2.480	-0.540	-1.609	-1.325	-0.928	-0.620	-0.246	-0.928	0.647	0.418	0.770	331.198	5.408	6.178	4.638	223.17	482.13	103.30
0.90	1.433	-0.00232	0.0020	1.109	0.00972	0.220	-0.206	2.332	-0.522	-2.023	-1.732	-1.349	-1.066	-0.643	-1.349	0.653	0.411	0.771	334.521	5.384	6.155	4.613	217.94	471.16	100.81
1.00	1.479	-0.00220	0.0020	1.115	0.01005	0.211	-0.239	2.233	-0.509	-2.451	-2.152	-1.776	-1.523	-1.084	-1.776	0.657	0.410	0.775	#####	5.370	6.145	4.595	214.83	466.31	98.97
1.25	1.551	-0.00207	0.0020	1.083	0.01003	0.251	-0.256	2.029	-0.469	-3.243	-2.923	-2.542	-2.327	-1.936	-2.542	0.660	0.402	0.773	#####	5.334	6.107	4.561	207.30	448.97	95.72
1.50	1.621	-0.00224	0.0020	1.091	0.00928	0.248	-0.306	1.589	-0.379	-3.888	-3.548	-3.169	-2.979	-2.661	-3.169	0.664	0.408	0.779	328.891	5.182	5.961	4.402	177.95	387.93	81.63
2.00	1.694	-0.00201	0.0025	1.055	0.00833	0.263	-0.320	0.966	-0.248	-4.783	-4.410	-4.039	-3.871	-3.640	-4.039	0.669	0.414	0.787	#####	4.991	5.778	4.204	147.08	323.03	66.97
2.50	1.748	-0.00187	0.0028	1.052	0.00776	0.262	-0.337	0.789	-0.221	-5.444	-5.049	-4.698	-4.496	-4.341	-4.698	0.671	0.411	0.786	#####	4.799	5.585	4.013	121.35	266.32	55.30
3.00	1.759	-0.00147	0.0032	1.025	0.00644	0.307	-0.331	1.037	-0.263	-5.839	-5.431	-5.089	-4.893	-4.758	-5.089	0.667	0.396	0.776	#####	4.619	5.395	3.843	101.39	220.22	46.68
4.00	1.826	-0.00195	0.0040	1.044	0.00590	0.353	-0.390	0.561	-0.169	-6.598	-6.181	-5.882	-5.698	-5.588	-5.882	0.647	0.382	0.751	339.187	4.197	4.949	3.446	66.50	140.98	31.37
5.00	1.825	-0.00237	0.0050	1.065	0.00510	0.248	-0.498	0.225	-0.120	-6.752	-6.347	-6.051	-5.873	-5.798	-6.051	0.643	0.377	0.745	360.841	3.580	4.325	2.835	35.87	75.53	17.02

Nota: El periodo 0 equivale al PGA



-----  
Site Class Definitions Used in the Present Study and the Approximately Corresponding NEHRP Site Classes

Site Class	Description	Natural Period	V <sub>30</sub> Calculated from Site Period	NEHRP Site Classes
Hard rock			V <sub>30</sub> > 1100	A
SC I	Rock	T < 0.2 sec	V <sub>30</sub> > 600	A + B
SC II	Hard soil	0.2 = T < 0.4 sec	300 < V <sub>30</sub> = 600	C
SC III	Medium soil	0.4 = T < 0.6 sec	200 < V <sub>30</sub> = 300	D
SC IV	Soft soil	T = 0.6 sec	V <sub>30</sub> = 200	E + F

Gráfico 5. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Zhao (2006)

## **ANEXO B**

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

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

Fuente: Modelo Boore y Atkinson 2008

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

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

Fuente: Modelo Boore y Atkinson 2008

B-3. Coeficientes de escala de magnitud

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

Fuente: Modelo Boore y Atkinson 2008

## ANEXO C

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

T	b1	b2	b3	b4	b5	b6
0	1,04159	0,91333	-0,0814	-2,9273	0,2812	7,86638
0,05	2,11528	0,72571	-0,0735	-3,332	0,33534	7,74734
0,1	2,11994	0,75179	-0,0745	-3,1054	0,30253	8,21405
0,15	1,64489	0,83683	-0,0754	-2,7585	0,2549	8,31786
0,2	0,92065	0,96815	-0,079	-2,4926	0,2179	8,21914
0,25	0,13978	1,13068	-0,0876	-2,3382	0,20089	7,20688
0,3	0,84006	1,37439	-0,1035	-2,1912	0,18139	6,54299
0,35	1,32207	1,47055	-0,1087	-2,1299	0,17485	6,24751
0,4	-1,7032	1,55930	-0,1139	-2,1272	0,17137	6,57173
0,45	1,97201	1,61645	-0,1174	-2,1662	0,177	6,78082
0,5	2,76925	1,83268	-0,132	-2,1297	0,16877	7,17423
0,55	3,51672	2,02523	-0,145	-2,0421	0,15617	6,76170
0,6	3,92759	2,08471	-0,1465	-1,8814	0,13621	6,10103
0,65	-4,4949	2,21154	-0,1552	-1,7903	0,12916	5,19135
0,7	4,62925	2,21764	-0,1549	-1,798	0,13495	4,46323
0,75	4,95053	2,29142	-0,1598	-1,8132	0,1392	4,27945
0,8	5,32863	2,38389	-0,1657	-1,7727	0,13273	4,37011
0,85	5,75799	2,50635	-0,1748	-1,7707	0,13096	4,62192
0,9	5,82689	2,50287	-0,1737	-1,763	0,13059	4,65393
0,95	5,90592	2,51405	-0,1742	-1,7985	0,13535	4,84540
1	6,17066	2,58558	-0,1794	-1,8072	0,13599	4,97596
1,05	6,60337	2,69584	-0,1865	-1,7384	0,12485	5,04489
1,1	6,90379	2,77044	-0,1917	-1,7111	0,12227	5,00975
1,15	-6,9618	2,75857	-0,1889	-1,6659	0,11447	5,08902
1,2	6,99236	2,73427	-0,1849	-1,5912	0,10265	5,03274

1,25	-	6,74613	2,62375	-0,1739	-1,5289	0,09129	5,08347
1,3	-	6,51719	2,51869	-0,1633	-1,4653	0,08005	5,14423
1,35	-	6,55821	2,52238	-0,1631	-1,4822	0,08173	5,29006
1,4	-	6,61945	2,52611	-0,1627	-1,4826	0,08213	5,33490
1,45	-	6,62737	2,49858	-0,1591	-1,4331	0,07577	5,19412
1,5	-	6,71787	2,49486	-0,1569	-1,353	0,06379	5,15750
1,55	-	6,80776	2,50291	-0,1563	-1,3123	0,05697	5,27441
1,6	-	6,83632	2,51009	-0,1568	-1,3326	0,0587	5,54539
1,65	-	6,88684	2,54048	-0,16	-1,4093	0,0686	5,93828
1,7	-6,946	2,57151	-0,1629	-1,4768	0,07672	6,36599	
1,75	-	7,09166	2,62938	-0,1679	-1,5404	0,08428	6,82292
1,8	-	7,22818	2,66824	-0,1706	-1,5427	0,08325	7,11603
1,85	-	7,29772	2,67565	-0,17	-1,5094	0,07663	7,31928
1,9	-	7,35522	2,67749	-0,1693	-1,4699	0,07065	7,25988
1,95	-	7,40716	2,68206	-0,1691	-1,4382	0,06525	7,25344
2	-	7,50404	2,71004	-0,1713	-1,444	0,06602	7,26059
2,05	-	7,55598	2,72737	-0,1729	-1,4579	0,06774	7,40320
2,1	-	7,53463	2,71709	-0,1722	-1,4666	0,0694	7,46168
2,15	-	7,50811	2,71035	-0,1721	-1,4968	0,07429	7,51273
2,2	-	8,09168	2,91159	-0,1892	-1,5564	0,08428	7,77062
2,25	-	8,11057	2,92087	-0,1904	-1,5954	0,09052	7,87702
2,3	-	8,16272	2,93325	-0,1916	-1,6046	0,09284	7,91753
2,35	-	7,94704	2,85328	-0,1854	-1,5743	0,09077	7,61956
2,4	-	7,96679	2,85363	-0,1856	-1,5783	0,09288	7,59643
2,45	-	7,97878	2,84900	-0,1853	-1,5773	0,09428	7,50338
2,5	-	7,88403	2,81817	-0,1832	-1,6038	0,09887	7,53947

2,55	-	7,68101	2,75720	-0,1791	-1,6521	0,1068	7,61893
2,6	-	7,72574	2,82043	-0,1872	-1,8878	0,14049	8,12248
2,65	-	7,53288	2,74824	-0,1814	-1,8953	0,14356	7,92236
2,7	-	7,41587	2,69012	-0,1763	-1,8704	0,14283	7,49999
2,75	-	7,34541	2,65352	-0,1731	-1,8608	0,1434	7,26668
2,8	-	7,24561	2,61028	-0,1695	-1,8561	0,14444	7,11861
2,85	-	7,07107	2,56123	-0,1662	-1,9042	0,15127	7,36277
2,9	-	6,99332	2,52699	-0,163	-1,897	0,15039	7,45038
2,95	-	6,95669	2,51006	-0,1614	-1,9013	0,15081	7,60234
3	-	6,92924	2,45899	-0,1551	-1,768	0,13314	7,21950

Fuente: Akkar y Bommer 2010

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

<b>b7</b>	<b>b8</b>	<b>b9</b>	<b>b10</b>	<b><math>\sigma_1</math></b>	<b><math>\sigma_2</math></b>
0,08753	0,01527	-	0,08015	0,261	0,0994
0,04707	-0,0243	-	0,08649	0,272	0,1142
0,02667	-0,0006	-	0,0791	0,2728	0,1167
0,02578	0,01703	-	0,0784	0,2788	0,1192
0,06557	0,02105	-0,021	0,08438	0,2821	0,1081
0,0981	0,03919	-	0,08577	0,2871	0,099
0,12847	0,0434	-	0,09221	0,2902	0,0976
0,16213	0,06695	-	0,09003	0,2983	0,1054
0,21222	0,09201	-	0,09903	0,2998	0,1101
0,24121	0,11675	-0,052	0,09943	0,3037	0,1123
0,25944	0,13562	-	0,08579	0,3078	0,1163
0,26498	0,14446	-	0,06945	0,307	0,1274
0,27718	0,15156	-	0,05932	0,3007	0,143

0,28574	0,15239	-	0,05111	0,3004	0,1546
0,30348	0,15652	-	0,04661	0,2978	0,1626
0,31516	0,16333	-	0,04253	0,2973	0,1602
0,32153	0,17366	-	0,03373	0,2927	0,1584
0,3352	0,1848	-	0,02867	0,2917	0,1543
0,34849	0,19061	-	0,02475	0,2915	0,1521
0,35919	0,19411	-	0,02502	0,2912	0,1484
0,36619	0,19519	-	0,02121	0,2895	0,1483
0,37278	0,19461	-	0,01115	0,2888	0,1465
0,37756	0,19423	-	0,0014	0,2896	0,1427
0,38149	0,19402	-	0,00148	0,2871	0,1435
0,3812	0,19309	-	0,00413	0,2878	0,1439
0,38782	0,19392	-	0,00413	0,2863	0,1453
0,38862	0,19273	-0,019	-0,0037	0,2869	0,1427
0,38677	0,19082	-	-0,009	0,2885	0,1428
0,38625	0,19285	-	-0,0088	0,2875	0,1458
0,38285	0,19161	-	-0,0056	0,2857	0,1477
0,37867	0,18812	-	-0,0022	0,2839	0,1468
0,37267	0,18568	-	-0,0005	0,2845	0,145
0,36952	0,18149	-	-6E-05	0,2844	0,1457
0,36531	0,17617	-	-0,003	0,2841	0,1503
0,35936	0,17301	-0,012	-0,0074	0,284	0,1537
0,35284	0,16945	-	-0,0139	0,284	0,1558
0,34775	0,16743	-0,014	-0,0149	0,2834	0,1582
0,34561	0,1673	-	-0,0119	0,2828	0,1592
0,34142	0,16325	-	-0,007	0,2826	0,1611

0,3372	0,16171	-	-0,0035	0,2832	0,1642
0,33298	0,15839	-	-0,0049	0,2835	0,1657
0,3301	0,15496	-	-0,0073	0,2836	0,1665
0,32645	0,15337	-	-0,0087	0,2832	0,1663
0,32439	0,15264	-	-0,0123	0,283	0,1661
0,31354	0,1443	-	-0,0193	0,283	0,1627
0,30997	0,1443	-	-0,0232	0,283	0,1627
0,30826	0,14412	-	-0,0263	0,2829	0,1633
0,32071	0,14321	-	-0,0234	0,2815	0,1632
0,31801	0,14301	-	-0,0257	0,2826	0,1645
0,31401	0,14324	-	-0,0264	0,2825	0,1665
0,31104	0,14332	-	-0,0277	0,2818	0,1681
0,30875	0,14343	-	-0,0282	0,2818	0,1688
0,31122	0,14255	-	-0,0297	0,2838	0,1741
0,30935	0,14223	-	-0,0293	0,2845	0,1759
0,30688	0,14074	-	-0,0296	0,2854	0,1772
0,30635	0,14052	-	-0,0292	0,2862	0,1783
0,30534	0,13923	-	-0,0275	0,2867	0,1794
0,30508	0,13933	-	-0,0278	0,2869	0,1788
0,30362	0,13776	-0,042	-0,0262	0,2874	0,1784
0,29987	0,13584	-	-0,0249	0,2872	0,1783
0,29772	0,13198	-	-0,0247	0,2876	0,1785

Fuente: Akkar y Bommer 2010

## ANEXO D

D-1. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos poco profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de pga 5%

PERIODO	a1	b1	c1	d1	ε1	p	q
0	0,56	-0,0031	0,26	0,0055	0,37	-0,55	1,35
0,05	0,54	-0,0035	0,48	0,0061	0,37	-0,32	0,80
0,06	0,54	-0,0037	0,57	0,0065	0,38	-0,26	0,65
0,07	0,53	-0,0039	0,67	0,0066	0,38	-0,24	0,60
0,08	0,52	-0,004	0,75	0,0069	0,39	-0,26	0,64
0,09	0,52	-0,0041	0,8	0,0071	0,4	-0,29	0,72
0,1	0,52	-0,0041	0,85	0,0073	0,4	-0,32	0,78
0,11	0,5	-0,004	0,96	0,0061	0,4	-0,35	0,84
0,12	0,51	-0,004	0,93	0,0062	0,4	-0,39	0,94
0,13	0,51	-0,0039	0,91	0,0062	0,4	-0,43	1,04
0,15	0,52	-0,0038	0,89	0,006	0,41	-0,53	1,28
0,17	0,53	-0,0037	0,84	0,0056	0,41	-0,61	1,47
0,2	0,54	-0,0034	0,76	0,0053	0,4	-0,68	1,65
0,22	0,54	-0,0032	0,73	0,0048	0,4	-0,72	1,74
0,25	0,54	-0,0029	0,66	0,0044	0,4	-0,75	1,82
0,3	0,56	-0,0026	0,51	0,0039	0,39	-0,80	1,96
0,35	0,56	-0,0024	0,42	0,0036	0,4	-0,85	2,09
0,4	0,58	-0,0021	0,26	0,0033	0,4	-0,87	2,13
0,45	0,59	-0,0019	0,13	0,003	0,41	-0,89	2,18
0,5	0,59	-0,0016	0,04	0,0022	0,41	-0,91	2,25
0,6	0,62	-0,0014	-0,22	0,0025	0,41	-0,92	2,30
0,7	0,63	-0,0012	-0,37	0,0022	0,41	-0,96	2,41
0,8	0,65	-0,0011	-0,54	0,002	0,41	-0,98	2,46
0,9	0,68	-0,0009	-0,8	0,0019	0,41	-0,97	2,44
1	0,71	-0,0009	-1,04	0,0021	0,41	-0,93	2,32
1,1	0,72	-0,0007	-1,19	0,0018	0,41	-0,92	2,30
1,2	0,73	-0,0006	-1,32	0,0014	0,41	-0,91	2,26
1,3	0,74	-0,0006	-1,44	0,0014	0,41	-0,88	2,20
1,5	0,77	-0,0005	-1,7	0,0017	0,4	-0,85	2,12
1,7	0,79	-0,0005	-1,89	0,0019	0,39	-0,83	2,06
2	0,8	-0,0004	-2,08	0,002	0,39	-0,78	1,92
2,2	0,82	-0,0004	-2,24	0,0022	0,38	-0,76	1,88
2,5	0,84	-0,0003	-2,46	0,0023	0,38	-0,72	1,80
3	0,86	-0,0002	-2,72	0,0021	0,38	-0,68	1,70
3,5	0,9	-0,0003	-2,99	0,0032	0,37	-0,66	1,64
4	0,92	-0,0005	-3,21	0,0045	0,38	-0,62	1,54
4,5	0,94	-0,0007	-3,39	0,0064	0,38	-0,60	1,50
5	0,92	-0,0004	-3,35	0,003	0,38	-0,59	1,46

Fuente: Kanno 2006

## ANEXO E

E-1. Relaciones de atenuación para aceleración espectral de respuesta horizontal (amortiguación del 5%) para los terremotos de subducción para el suelo

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

Fuente: Youngs 1997

## ANEXO F

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

Periodo	a	b	c	d	e	SR	SI	Ss	SsL
0,00	1,101	-0,00564	0,0055	1,080	0,01412	0,251	0,000	2,607	-0,528
0,05	1,076	-0,00671	0,0075	1,060	0,01463	0,251	0,000	2,764	-0,551
0,10	1,118	-0,00787	0,0090	1,083	0,01423	0,240	0,000	2,156	-0,420
0,15	1,134	-0,00722	0,0100	1,053	0,01509	0,251	0,000	2,161	-0,431
0,20	1,147	-0,00659	0,0120	1,014	0,01462	0,260	0,000	1,901	-0,372
0,25	1,149	-0,00590	0,0140	0,966	0,01459	0,027	0,000	1,814	-0,360
0,30	1,163	-0,00520	0,0150	0,934	0,01458	0,259	0,000	2,181	-0,450
0,40	1,2	-0,00422	0,0100	0,959	0,01257	0,248	-0,041	2,432	-0,506
0,50	1,25	-0,00338	0,0060	1,008	0,01114	0,247	-0,053	2,629	-0,554
0,60	1,293	-0,00282	0,0030	1,088	0,01019	0,233	-0,103	2,702	-0,575
0,70	1,336	-0,00258	0,0025	1,084	0,00979	0,220	-0,146	2,654	-0,572
0,80	1,386	-0,00242	0,0022	1,088	0,00944	0,232	-0,164	2,480	-0,540
0,90	1,433	-0,00232	0,0020	1,109	0,00972	0,220	-0,206	2,332	-0,522
1,00	1,479	-0,00220	0,0020	1,115	0,01005	0,211	-0,239	2,233	-0,509
1,25	1,551	-0,00207	0,0020	1,083	0,01003	0,251	-0,256	2,029	-0,469
1,50	1,621	-0,00224	0,0020	1,091	0,00928	0,248	-0,306	1,589	-0,379
2,00	1,694	-0,00201	0,0025	1,055	0,00833	0,263	-0,320	0,966	-0,248
2,50	1,748	-0,00187	0,0028	1,052	0,00776	0,262	-0,337	0,789	-0,221
3,00	1,759	-0,00147	0,0032	1,025	0,00644	0,307	-0,331	1,037	-0,263
4,00	1,826	-0,00195	0,0040	1,044	0,00590	0,353	-0,390	0,561	-0,169
5,00	1,825	-0,00237	0,0050	1,065	0,00510	0,248	-0,498	0,225	-0,120

Fuente: Zhao 2006

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

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

Fuente: Zhao 2006