



**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:**

---

**“ANÁLISIS DEL PELIGRO SÍSMICO UTILIZANDO EL MÉTODO  
DETERMINISTA EN EL SECTOR PISHILATA BARRIO PASOCHOA DEL  
CANTÓN AMBATO – PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

---

**AUTOR:** Molina Villamarín Mayra Del Rocio

**TUTOR:** Ing. Mg. Carlos Navarro

**Ambato – Ecuador  
2019**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. M.Sc Carlos Navarro en calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de investigación bajo el tema: **“ANÁLISIS DEL PELIGRO SÍSMICO UTILIZANDO EL MÉTODO DETERMINISTA EN EL SECTOR PISHILATA BARRIO PASOCHOA DEL CANTÓN AMBATO – PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, realizado por la Srta. Molina Villamarín Mayra Del Rocio Egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.

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

Ambato, Noviembre de 2019



Ing. Mg. Carlos Navarro  
**TUTOR**

## AUTORÍA

Yo, Molina Villamarín Mayra Del Rocio con CI. 0503436271, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo experimental bajo el tema: **“ANÁLISIS DEL PELIGRO SÍSMICO UTILIZANDO EL MÉTODO DETERMINISTA EN EL SECTOR PISHILATA BARRIO PASOCHOA DEL CANTÓN AMBATO – PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, es de mi completa autoría.

Ambato, Noviembre de 2019



---

Molina Villamarín Mayra Del Rocio

**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

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

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

Ambato, Noviembre de 2019



---

Molina Villamarín Mayra Del Rocio


**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de calificación de grado aprueban el Trabajo Experimental, sobre el tema: **“ANÁLISIS DE PELIGRO SÍSMICO UTILIZANDO EL MÉTODO DETERMINISTA EN EL SECTOR PISHILATA BARRIO PASOCHOA DEL CANTÓN AMBATO – PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, de la egresada Mayra del Rocío Molina Villamarín, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Diciembre de 2019

Para constancia firman:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Diego Chérrez', written over a horizontal line.

Ing. Mg. Diego Chérrez

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Galo Nuñez', written over a horizontal line.

Ing. Mg. Galo Nuñez

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo en primer lugar lo dedico a Dios por haberme regalado la vida, por guiar mi camino día tras día, por darme fé y fortaleza para seguir adelante en los momentos difíciles y lograr culminar con esta meta tan anhelada.

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

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, el Ing. Mg Carlos Navarro, por compartir su tiempo y conocimientos, por brindarme su valiosa ayuda y asesoramiento los cuales me han permitido culminar con mí proyecto.

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

Al Ing. Rodrigo Almeida por haber sido un apoyo incondicional, y haber tenido la debida paciencia en el camino para la culminación de esta meta anhelada.

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

## ÍNDICE

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	II
AUDITORÍA .....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos .....	1
1.1.1 Antecedentes .....	1
1.1.2 Justificación.....	2
1.1.3 Fundamentación Teórica .....	3
Tectónica de placas.....	3
Tipos de bordes de placas .....	5
Sismicidad y vulcanismo: su relación con la tectónica global y zonas de riesgo .	8
Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (GMPEs).....	9
1.1.4 Hipótesis .....	12
1.2. Objetivos .....	12
1.2.1 Objetivo General:.....	12
1.2.2 Objetivos Específicos: .....	12
CAPÍTULO II .....	13
METODOLOGÍA .....	13
Tipo de Investigación .....	13
Población y Muestra .....	13



2.1 Materiales y Equipo.....	14
2.1.1 Materiales.....	14
2.1.2 Equipo.....	14
2.2.1 Plan de Recolección de Datos.....	15
2.2.2 Plan de Procesamiento y Análisis de Información .....	16
CAPÍTULO III.....	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	17
3.1 Análisis y Discusión de los Resultados .....	17
3.1.1 Selección de fallas geológicas .....	20
3.1.2 Características del suelo.....	24
3.1.3 Ensayo de penetración estándar .....	28
3.1.4 Velocidad media de la onda de cortante Vs30.....	31
3.1.5 Determinación de la Velocidad media de la onda de cortante Vs30. ....	33
3.1.6 Velocidad media de la onda de cortante .....	38
3.1.7 Ecuaciones de atenuación para sismos intraplaca cortical.....	38
3.1.8 Ecuaciones de atenuación para subducción .....	50
3.1.9 Análisis de los Resultados .....	56
<b>Magnitud de las fallas</b> .....	56
Cálculo de Espectros.....	58
Espectros calculados con el modelo de Boore y Atkinson 2008 .....	58
Espectros calculados con el Modelo de Akkar y Bommer 2010 .....	60
Espectros calculados con el Modelo de Kanno 2006. ....	61
Espectros calculados con el Modelo de Young 1997. ....	62
Espectros calculados con el Modelo de Zhao 2006.....	63
Espectros con los modelos para una falla seleccionada.....	64
Espectros con los modelos para la falla Ambato .....	64
Espectros con los modelos para la falla Huachi .....	65
Espectros con los modelos para la falla Totoras.....	66
Espectros con los modelos para la falla Samanga .....	67
Espectros con los modelos para la falla de Subducción .....	68
Espectros con la NEC – 15 .....	68
Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Ambato .....	69
Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Huachi.....	70

Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Totoras .....	71
Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Samanga.....	72
Espectros de aceleración obtenidos con el modelo (Young, Zhao y NEC-15) para la falla de subducción.....	73
Espectros de los modelos de aceleración seleccionados y el de la NEC-15.....	73
3.1.10 Comparación del espectro determinístico con la NEC-15.....	75
3.1.11 Comportamiento estructural de 3 estructuras tipo del sitio de estudio ...	78
Datos estructurales recolectados de las 3 estructuras .....	78
Espectro elástico reducido .....	80
Calculo de los periodos de vibración de las estructuras tipo .....	80
Periodo Fundamental de Vibración .....	80
Periodos Límites de Vibración .....	82
Verificación del Comportamiento Estructural.....	83
Periodo de Vibración .....	84
Modos de Vibración de la Estructura .....	85
Modos necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones .....	87
Horizontales .....	88
Derivas de Piso (Derivas Estáticas) .....	90
Análisis Dinámico.....	94
Validación del Análisis Dinámico .....	94
Valores de los Cortantes Estáticos y Dinámicos para la estructura de 1 piso ...	95
Valores de los Cortantes Estáticos y Dinámicos para la estructura de 2 pisos ...	98
Valores de los Cortantes Estáticos y Dinámicos para la estructura de 2 pisos .	101
Derivas de Piso (Derivas Dinámicas) .....	105
3.2 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS .....	108
CAPÍTULO IV.....	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
4.1 Conclusiones .....	109
4.2 Recomendaciones .....	110
C. Materiales de Referencia .....	111
1. Bibliografía.....	111
2. Anexos.....	114

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Plan de recolección de información.....	15
<b>Tabla 2:</b> Intensidades sísmicas sentidas en la ciudad de Ambato .....	19
<b>Tabla 3:</b> Código de las Fallas Geológicas seleccionadas en el Área de estudio (Sector Pishilata) .....	22
<b>Tabla 4:</b> La tabla muestra los datos de las Fallas Geológicas en estudio, como código, Tipo, Longitud y Distancia .....	23
<b>Tabla 5:</b> Clasificación de suelos en base al SUCS.....	24
<b>Tabla 6:</b> Clasificación del suelo para punto 1 .....	25
<b>Tabla 7:</b> Clasificación del suelo para punto 2 .....	25
<b>Tabla 8:</b> Clasificación del suelo para punto 3 .....	26
<b>Tabla 9:</b> Clasificación del suelo para punto 4 .....	27
<b>Tabla 10:</b> Clasificación del suelo para punto 5 .....	27
<b>Tabla 11:</b> Ensayo de penetración estándar punto 1 .....	29
<b>Tabla 12:</b> Ensayo de penetración estándar punto 2.....	29
<b>Tabla 13:</b> Ensayo de penetración estándar punto 3.....	30
<b>Tabla 14:</b> Ensayo de penetración estándar punto 4.....	30
<b>Tabla 15:</b> Ensayo de penetración estándar punto 5.....	31
<b>Tabla 16:</b> Clasificación de los Perfiles de Suelo, descripción y definición del tipo de perfil A, B, C, D, E, F. ....	32
<b>Tabla 17:</b> Se muestra los valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) y su respectivo tipo de perfil en el Pozo 1. ....	35
<b>Tabla 18:</b> Se muestra los valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) y su respectivo tipo de perfil en el Pozo 2. ....	35
<b>Tabla 19:</b> Se muestra los valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) y su respectivo tipo de perfil en el Pozo 3. ....	36
<b>Tabla 20:</b> Se muestra los valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) y su respectivo tipo de perfil en el Pozo 4. ....	36
<b>Tabla 21:</b> Se muestra los valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) y su respectivo tipo de perfil en el Pozo 5. ....	37
<b>Tabla 22:</b> Valores promedio de Vs30 obtenidos en cada uno de los pozos, tipo de perfil de suelo y valor promedio total de Vs30 del área del proyecto.....	37
<b>Tabla 23:</b> Valores de variables ficticias para diferentes tipos de fallas. ....	41
<b>Tabla 24:</b> Valores empleados en el modelo de Boore y Atkinson .....	44
<b>Tabla 25:</b> Valores empleados en el modelo de Akkar y Bommer .....	47
<b>Tabla 26:</b> Valores empleados en el modelo de Kanno.....	50
<b>Tabla 27:</b> Valores empleados en el modelo de Youngs .....	52
<b>Tabla 28:</b> Valores empleados en el modelo de Zhao .....	55
<b>Tabla 29:</b> La tabla muestra las ecuaciones empleadas para el cálculo de la magnitud de Momento (M). Además, las Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura y área de ruptura.....	56
<b>Tabla 30:</b> Magnitud de momento calculado (Mw) de cada una de las Fallas Geológicas seleccionadas.....	57
<b>Tabla 31:</b> Valores de periodo y aceleración para la NEC – 15 y espectro determinístico .....	75

<b>Tabla 32:</b> Datos estructurales de las estructuras tipo .....	78
<b>Tabla 33:</b> Factores y Coeficientes obtenidos para la reducción de los espectros elásticos.....	80
<b>Tabla 34:</b> Valores $C_t$ y $\alpha$ .....	81
<b>Tabla 35:</b> Valores de $F_a$ , $F_d$ y $F_s$ considerando los efectos de sitio .....	83
<b>Tabla 36:</b> Valores de Periodos $T_1$ y $T_2$ .....	84
<b>Tabla 37:</b> Valores de $U_x$ , $U_y$ y $R_z$ para la estructura de 1 piso .....	85
<b>Tabla 38:</b> Valores de $U_x$ , $U_y$ y $R_z$ para la estructura de 2 pisos.....	86
<b>Tabla 39:</b> Valores de $U_x$ , $U_y$ y $R_z$ para la estructura de 3 pisos.....	86
<b>Tabla 40:</b> Modos de vibración de las 3 estructuras.....	86
<b>Tabla 41:</b> Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en la estructura de 1 piso.....	88
<b>Tabla 42:</b> Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en la estructura de 2 pisos .....	88
<b>Tabla 43:</b> Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en la estructura de 3 pisos .....	89
<b>Tabla 44:</b> Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones horizontales X y Y, para cada estructura .....	89
<b>Tabla 45:</b> Valores de $\Delta_M$ máximos.....	90
<b>Tabla 46:</b> Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la estructura de 1 piso .....	91
<b>Tabla 47:</b> Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la estructura de 2 pisos.....	92
<b>Tabla 48:</b> Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la estructura de 3 pisos.....	93
<b>Tabla 49:</b> Resumen de los valores de las derivas estáticas y derivas inelásticas calculadas en los niveles más críticos de cada estructura .....	94
<b>Tabla 50:</b> Valores máximos de los cortantes estáticos para la estructura de 1 piso.	95
<b>Tabla 51:</b> Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro de la NEC-15 reducido, para la estructura de 1 piso .....	96
<b>Tabla 52:</b> Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro critico reducido, para la estructura de 1 piso.....	97
<b>Tabla 53:</b> Valores máximos de los cortantes estáticos para la estructura de 3 pisos	98
<b>Tabla 54:</b> Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro de la NEC-15 reducido, para la estructura de 3 pisos .....	99
<b>Tabla 55:</b> Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro determinístico reducido, para la estructura de 3 pisos .....	100
<b>Tabla 56:</b> Valores máximos de los cortantes estáticos para la estructura de 2 pisos .....	101
<b>Tabla 57:</b> Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro de la NEC-15 reducido, para la estructura de 3 pisos.....	102
<b>Tabla 58:</b> Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro critico reducido, para la estructura de 5 pisos .....	103
<b>Tabla 59:</b> Cuadro resumen de los valores de $V_E$ y $V_D$ .....	104
<b>Tabla 60:</b> Derivas Elásticas Dinámicas (Espectro NEC-15).....	105
<b>Tabla 61:</b> Derivas Elásticas Dinámicas (Espectro Critico).....	105

<b>Tabla 62:</b> Derivas Elásticas Dinámicas (Espectro NEC-15).....	106
<b>Tabla 63:</b> Derivas Elásticas Dinámicas (Espectro Crítico).....	106
<b>Tabla 64:</b> Derivas Elásticas Dinámicas (Espectro NEC-15).....	106
<b>Tabla 65:</b> Derivas Elásticas Dinámicas (Espectro Crítico).....	107
<b>Tabla 66:</b> Derivas elásticas dinámicas obtenidas con los 2 espectros reducidos, para cada estructura tipo .....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Tipos de bordes de placa .....	7
<b>Figura 2:</b> Límites de placa y velocidades de movimiento .....	18
<b>Figura 3:</b> Fallas geológicas del Ecuador .....	20
<b>Figura 4:</b> Fallas geológicas de Tungurahua .....	21
<b>Figura 5:</b> Fallas geológicas de Ambato.....	21
<b>Figura 6:</b> Fallas geológicas en el área de estudio.....	22
<b>Figura 7:</b> Longitud a cada una de las fallas geológicas en el área de estudio.....	23
<b>Figura 8:</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson 2008, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas .....	59
<b>Figura 9:</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Akkar y Boomer 2010, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas .....	60
<b>Figura 10:</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Kanno 2006, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas .....	61
<b>Figura 11:</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Young 1997, utilizando la falla de subducción.....	62
<b>Figura 12:</b> Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Zhao 2006, utilizando la falla de subducción.....	63
<b>Figura 13:</b> Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Ambato .....	64
<b>Figura 14:</b> Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Huachi.....	65
<b>Figura 15:</b> Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Totoras .....	66
<b>Figura 16:</b> Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Samanga.....	67
<b>Figura 17:</b> Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de con el modelo de Young y Zhao para la falla de Subducción .....	68
<b>Figura 18:</b> Espectros de obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Ambato.....	69
<b>Figura 19:</b> Espectros de obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Huachi .....	70
<b>Figura 20:</b> Espectros de obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Totoras .....	71
<b>Figura 21:</b> Espectros de obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Samanga.....	72

<b>Figura 22:</b> Espectros de obtenidos con el modelo modelo (Young, Zhao y NEC-15) para la falla de Subducción .....	73
<b>Figura 23:</b> Espectros de aceleración obtenidos con las fallas (Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y Subducción) y los modelos (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno, Young y Zhao), y el espectro de la NEC 15.....	74
<b>Figura 24:</b> Espectro NEC – 15 comparado con el espectro determinístico.....	77
<b>Figura 25:</b> Modelado estructura de 1 piso .....	79
<b>Figura 26:</b> Modelado estructura de 2 piso .....	79
<b>Figura 26:</b> Modelado estructura de 3 piso .....	79
<b>Figura 28:</b> Valores máximos de $\Delta_E$ para la estructura de 1 piso <b>Fuente:</b> ETABS 2016.....	91
<b>Figura 29:</b> Valores máximos de $\Delta_E$ para la estructura de 2 pisos <b>Fuente:</b> ETABS 2016.....	92
<b>Figura 30:</b> Valores máximos de $\Delta_E$ para la estructura de 3 pisos <b>Fuente:</b> ETABS 2016.....	93
<b>Figura 31:</b> Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 1 piso <b>Fuente:</b> ETABS 2016.....	95
<b>Figura 32:</b> Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro reducido de la NEC-15 para la estructura de 1 piso <b>Fuente:</b> ETABS 2016.....	96
<b>Figura 33:</b> Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro critico reducido, para la estructura de 1 piso <b>Fuente:</b> ETABS 2016.....	97
<b>Figura 34:</b> Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 2 pisos <b>Fuente:</b> ETABS 2016.....	98
<b>Figura 35:</b> Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro reducido de la NEC-15 para la estructura de 2 pisos <b>Fuente:</b> ETABS 2016 .....	99
<b>Figura 36:</b> Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro determinístico reducido para la estructura de 2 pisos <b>Fuente:</b> ETABS 2016.....	100

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A: FOTOGRAFÍAS .....</b>	<b>114</b>
Fotografía 1: Equipo para realizar el Ensayo de penetración estándar (SPT).....	114
Fotografía 2: Ensayo de penetración estándar (SPT).....	114
Fotografía 3: Ensayo de penetración estándar (SPT).....	115
Fotografía 4: Tamices utilizados para determinar la granulometría (Laboratorios FICM).....	116
Fotografía 5: Muestra tamizada (Laboratorios FICM).....	116
Fotografía 6: Estructura de 2 pisos ubicada en el lugar de estudio.....	117
Fotografía 7: Estructura de 3 pisos ubicada en el lugar de estudio.....	117
<b>ANEXO B-1: Coeficientes de amplificación del área de estudio dependiente del periodo. Modelo Boore y Atkinson (2008).....</b>	<b>118</b>

<b>ANEXO B-2:</b> Coeficientes de escala de distancia. Modelo Boore y Atkinson (2008)	119
<b>ANEXO B-3:</b> Coeficientes de escala de magnitud. Modelo Boore y Atkinson (2008)	120
<b>ANEXO C-1:</b> Coeficientes de la ecuación 1 y 2 para la predicción de Pseudoaceleración. Modelo Akkar y Bommer (2010)	121
<b>ANEXO D-1:</b> Coeficientes de regresión para el modelo de eventos superficiales de PGA, PGV y espectros de respuesta de aceleración amortiguada del 5%. Modelo Kanno (2006).	122
<b>ANEXO E-1:</b> Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral (5% de amortiguación) para sismos de subducción. Modelo Youngs (1997).	123
<b>ANEXO F-1:</b> Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción. Modelo Zhao (2006).	124

## RESUMEN EJECUTIVO

**TEMA:** “ANÁLISIS DEL PELIGRO SÍSMICO UTILIZANDO EL MÉTODO DETERMINISTA EN EL SECTOR PISHILATA BARRIO PASOCHOA DEL CANTÓN AMBATO – PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

**Autor:** Molina Villamarín Mayra Del Rocío

**Tutor:** Ing. M.Sc Carlos Navarro

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

Para esto se llevó a cabo los siguientes pasos: Identificar el régimen tectónico en el área de estudio, seleccionar las fallas geológicas con mayor longitud y más cercanas al área de estudio y ser capaces de producir un movimiento significativo, tales como la Falla Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y la falla de Subducción. Por medio del ensayo de penetración estándar (SPT) aplicado en 5 puntos del área de estudio, se calculó la velocidad media de la onda de cortante  $V_{s30}$  aproximada para el tipo de perfil de suelo, utilizando una correlación empírica entre la resistencia a la penetración estándar (N) y la velocidad de la onda de corte ( $V_s$ ). Se calculó la magnitud de momento para cada falla seleccionada, basado en la metodología de Wells – Coppersmith, por medio de parámetros como la distancia al epicentro, hipocentro y profundidad focal. Por medio de las Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPEs) se obtiene espectros de aceleración y mediante una envolvente de todos los espectros de aceleración máxima se logra obtener el espectro determinista, el cual se compara con el espectro de respuesta de la NEC 2015.

Con estos espectros obtenidos, se analizó 3 estructuras tipo del área de estudio mediante el programa ETABS, para observar su comportamiento ante eventos sísmicos.



## ABSTRACT

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

For this, the following steps were carried out: Identify the tectonic regime in the study area, select the geological faults that are longer and closer to the study area and be able to produce a significant movement, such as the Ambato Fault, Huachi, Totoras, Samanga and the Subduction Failure. Using the standard penetration test (SPT) applied at 5 points of the study area, the average shear wave velocity  $V_{s30}$  approximate for the type of soil profile was calculated, using an empirical correlation between the resistance to standard penetration (N) and the velocity of the shear wave ( $V_s$ ). The magnitude of momentum for each selected fault was calculated, based on the Wells-Coppersmith methodology, using parameters such as the distance to the epicenter, hypocenter and focal depth. By means of the Prediction Equations of Soil Movement (GMPEs), acceleration spectra are obtained and by means of an envelope of all the maximum acceleration spectra the deterministic spectrum is obtained, which is compared with the response spectrum of the NEC 2015.

With these obtained spectra, 3 type structures of the study area were analyzed by means of the ETABS program, to observe their behavior before seismic events.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

Análisis del peligro sísmico utilizando el método determinista en el sector Pishilata barrio Pasochoa del cantón Ambato – provincia de Tungurahua.

#### **1.1.1 ANTECEDENTES**

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

Según la tesis de ingeniería del Ing. Fabricio Cobos Torres considera ““El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi” se determinó que la envolvente de los espectros de aceleración calculado mediante las ecuaciones de atenuación en un intervalo de período de vibración de 0.25 a 0.45 genera aceleraciones mayores y supera al espectro de la norma”. “La falla geológica cortical de mayor magnitud de momento calculada es la de Ambato y Totoras  $M_w$ : 6.5, por su longitud, siendo la mayor respuesta la falla de Ambato por tener menor distancia a su epicentro, y la placa de nazca tiene una  $M_w$ : 8.9 por su mayor longitud”. “En el intervalo calculado las

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

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

### **1.1.2 JUSTIFICACIÓN**

Los terremotos son catástrofes producidas por la naturaleza que simplemente no se puede evitar y tampoco predecir. [4]

Ecuador es un país sísmicamente activo que a través de la historia ha sido afectado por numerosos terremotos, se puede mencionar el terremoto de Esmeraldas de 1906 con una magnitud de 8.8 (considerado uno de los más grandes registrados en el mundo), otro terremoto a citar es el de Ambato de 1949 el cual tuvo una magnitud de 6.8 y dejó alrededor de 5050 fallecidos. [4]

Es así que el conocimiento de la sismicidad de una región se vuelve necesaria para todo procedimiento matemático, al mismo tiempo que es fundamental para la elaboración de códigos de construcción y escenarios sísmicos. [4]

El Ecuador se encuentra situado en el mundialmente conocido cinturón de fuego que no es más que el punto de encuentro de varias placas tectónicas, las mismas que

provocan desplazamientos que pueden provocar erupciones volcánicas y terremotos.  
[5]

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

### **1.1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **Tectónica de placas**

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

La teoría de tectónica de placas comprende cuatro conceptos básicos:

- 1) La porción externa de la Tierra (litosfera: la corteza y la parte superior del manto), compuesta de unidades rígidas llamadas placas;
- 2) Las placas se mueven;

3) Gran parte de la actividad geológica a escala mundial, tal como sismos y erupciones volcánicas, ocurren en o cerca de los límites de placas; y finalmente,

4) Los interiores de las placas son relativamente estables geológicamente, con mucha menor actividad sísmica y volcánica que en sus límites. [8]

De acuerdo con el diccionario de ciencias de la tierra OXFORD: El concepto global que reúne la deriva continental, expansión de fondos oceánicos, actividad sísmica, estructura de la corteza y actividad volcánica (y. VULCANISMO) en un modelo coherente de cómo evoluciona la parte más externa de la Tierra. La teoría propone un modelo para los niveles más altos de la Tierra, en los que las capas rocosas enfriadas y rígidas de la corteza terrestre (litosfera) se encuentran recubriendo a otra mucho menos rígida o astenosfera. La parte superior está constituida por diferentes unidades rígidas (placas tectónicas), cada una de las cuales tiene un movimiento separado y relativo respecto a otras placas. Los límites de placas están con facilidad definidos en nuestros días mediante sísmica. El modelo de tectónica de placas es una combinación de la deriva continental y la expansión del fondo oceánico. [9]

Nos explica también sobre las placas litosféricas nuevas que se están formando y separando constantemente, y, por tanto, están siendo expandidas en los márgenes constructivos (dorsales), mientras que la esfera terrestre mantiene sus dimensiones debido a la subducción y reciclado de material que penetra en el manto en los márgenes destructivos (fosas). Este reciclado deriva en un volcanismo andesítico y creación de corteza continental, que tiene una densidad inferior que la corteza oceánica y, por tanto, es más difícil de subducir. [9]

### **Características**

Según el diccionario de ciencias de la tierra OXFORD menciona que: La mayor parte de las características de la historia de la Tierra se explican dentro de este modelo que

ha servido para unificar una hipótesis que afecta a la mayor parte de las ciencias de la Tierra. Sistemas montañosos descritos previamente a esta teoría son reconocidos ahora en las proximidades de zonas de subducción, donde con frecuencia se producen colisiones entre continentes; mediante los movimientos entre placas se han llegado o interpretar los grandes cinturones orogénicos incluso de comienzos del Proterozoico. Las placas se mueven mediante convección en el manto, que probablemente se ha ido sucediendo a lo largo de la historia de la Tierra, aunque las características resultantes de la superficie también han ido cambiando a través del tiempo. [9]

Según P. y W. GASS su teoría es que la superficie total de la Tierra está formada por una serie de placas rígidas, relativamente delgadas (100-150 km). Aunque el tamaño de las placas es variable, la mayor parte de la superficie actual de la Tierra está casi totalmente ocupada por media docena de grandes placas. Estas placas están continuamente en movimiento unas con respecto a otras, y con respecto al eje de rotación de la Tierra. Virtualmente, toda la actividad sísmica, volcánica y tectónica está localizada cerca de los bordes de las placas y está asociada a movimientos diferenciales entre placas adyacentes. [10]

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

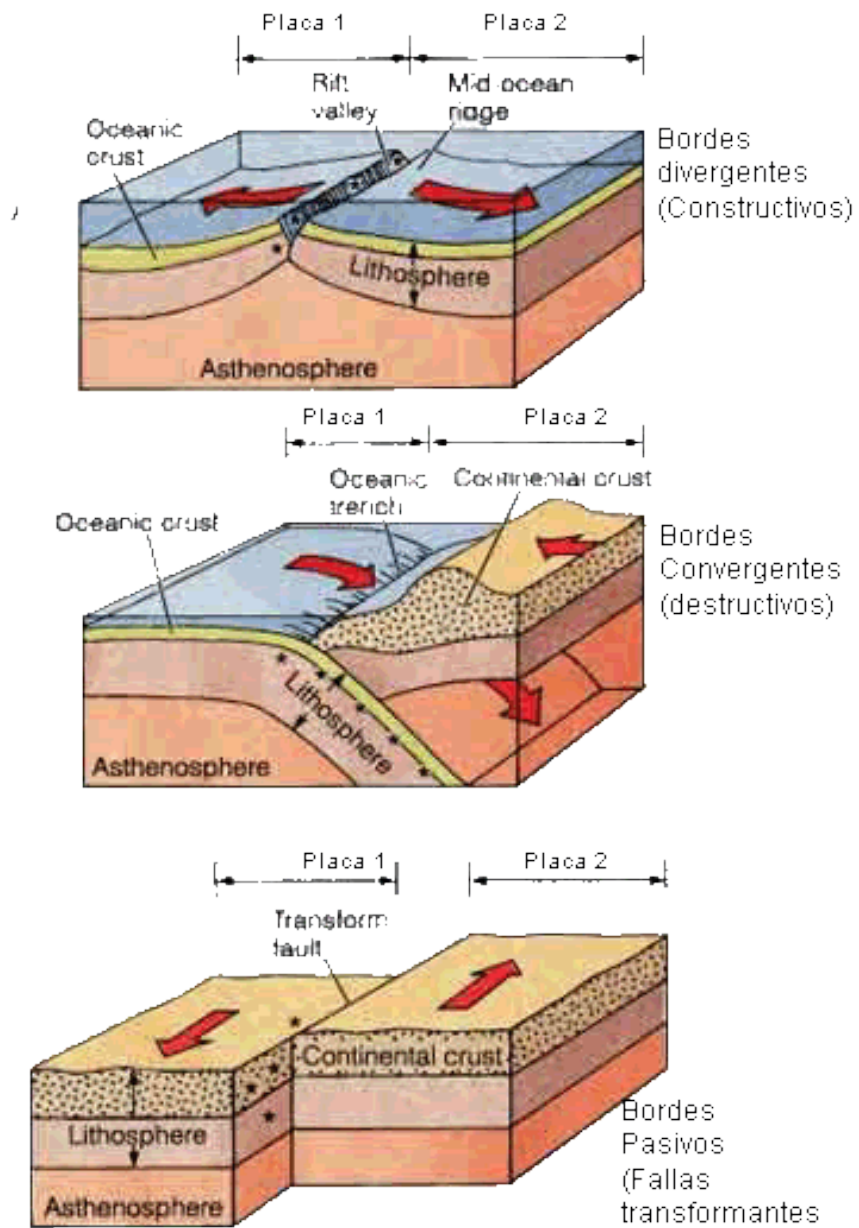
De acuerdo con P. y W. GASS menciona tres tipos de bordes de placas.

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

que el efecto neto del movimiento es generar área superficial, se denominan fuentes.

- El segundo tipo de borde es destructivo y tiene lugar en las fosas oceánicas profundas. En las fosas dos placas se acercan una a la otra, y una desliza bajo el borde de la otra con un ángulo de unos  $45^\circ$ . Las fronteras en las cuales el efecto neto de los movimientos es destruir área de superficie. se llaman sumideros.
- Las placas pueden tener también bordes conservativos. Estos son bordes en los cuales las placas ni ganan ni pierden área superficial, sino simplemente pasan una al lado de la otra. Otra consideración importante es que, aunque las placas pueden comprender tanto corteza continental como oceánica, o ambas, parece que sólo las partes de placas que están cubiertas por corteza oceánica pueden participar en el proceso principal de construcción y destrucción. Está bastante claro que el proceso de expansión, que observamos está operando hoy en día sobre las dorsales, produce solamente la delgada capa de corteza de los océanos y no la gruesa corteza de los continentes, geoquímicamente distinta. Que la corteza continental no se destruye en los sumideros es menos fácil de demostrar. Parece que cuando la gruesa corteza continental, de baja densidad (unos  $2,85 \text{ g/cm}^3$ ), alcanza un sumidero puede descender un poco, ya que su baja densidad con respecto al manto (unos  $3.35 \text{ g/cm}^3$ ) origina una fuerza ascensional tan grande que el movimiento de descenso no puede continuar: las partes continentales de la placa permanecen en la superficie y el sumidero cesa de operar. [10]

**Figura 1:** Tipos de bordes de placa



**Fuente:** Ego 1995

### Características

Según P. y W. GASS considera también: los supuestos principales en que se apoya la teoría general de la Tectónica de Placas; entre ellos hay tres que son más importantes que los otros:



1. Que tiene lugar la expansión del fondo oceánico, es decir, que se genera continuamente corteza oceánica en «fuentes. alineadas irregularmente (dorsales oceánicas activas);
2. Que el área superficial de la Tierra es constante, o, por lo menos. que su área cambia a una velocidad pequeña en comparación con la de la generación de nueva superficie por expansión:
3. Que una vez formada, la nueva corteza forma parte de una placa rígida que puede o no incorporar material continental. [10]

### **Sismicidad y vulcanismo: su relación con la tectónica global y zonas de riesgo**

Al citar a H. Ramírez da a conocer que: Después de revisar la trascendencia de las placas tectónicas, ahora comprendes que asociados a sus movimientos existen dos fenómenos sumamente importantes que no podemos dejar a un lado: la sismicidad y el vulcanismo. Éstos son los responsables de diferentes cambios en la superficie terrestre, algunos de los cuales pueden ser repentinos y muy peligrosos. [11]

### **Sismicidad**

Según H. Ramírez dice que: Un sismo, también conocido como temblor, es un movimiento vibratorio de la corteza terrestre; su origen puede ser epirogénico (debido a las fuerzas formadoras de continentes, cuando se acomodan las placas) u orogénico (a causa de los movimientos que forman las montañas). [11]

La ciencia que se encarga de estudiarlos es la sismología y para ello se vale de aparatos como los sismógrafos, los cuales miden la intensidad, velocidad, tiempo y el sentido de propagación de estos fenómenos. Para poder entender más los sismos, los científicos han elaborado escalas de medición; la más común es la de Richter, que se divide en nueve niveles, los cuales van catalogados desde los movimientos imperceptibles para las personas, hasta los más destructivos. Esta escala tiene la

característica de que cada nivel es diez veces más fuerte que el nivel que le precede. [11]

### **Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (GMPEs)**

Es la selección de una serie de ecuaciones predeterminadas para diferentes regiones tectónicas del planeta de los cientos de ecuaciones disponibles. [12]

Los modelos propuestos en este estudio 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. [13]

Dónde se escogerá las siguientes:

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

- **Boore y Atkinson (2008)**

$$\ln y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \epsilon$$

Donde:

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

$M$ : Magnitud de momento

$R_{JB}$ : Distancia desde donde se libera la energía hasta el punto de estudio (Km)

$V_{s30}$ : Velocidad media de la onda de cortante

- **Akkar y Bommer (2010)**

$$\begin{aligned} \text{Log } y = & b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M) \log \sqrt{R^2 j_b + b^2 6} + b_7S_s + b_8S_A \\ & + b_9F_N + b_{10}F_R + \epsilon \sigma \end{aligned} \quad (2)$$

Dónde:

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

$F_N$  = Mecanismo de Falla Normal

$F_R$  = Mecanismo de Falla Inversa

$M$  = Magnitud de Momento

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

$S_A$  = Suelo Rígido

$S_S$  = Suelo Suave

$\epsilon \sigma_T$  = Desviación Estándar.

**Kanno et al. (2006)**

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

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

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

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

Dónde:

**D:** Profundidad Focal

**a, b, c, d:** Coeficientes para la predicción de Pseudoaceleración espectral.

**Mw:** Magnitud de momento

**X:** Distancia de la fuente

### Sismos Subducción

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

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

Dónde:

**y:** Aceleración espectral en g

**C:** Coeficientes

**R:** Distancia fuente a sitio

**H:** Profundidad focal

**M:** Magnitud de momento

**Zt:** Tipo de falla

- **Zhao (2006)**

$$\begin{aligned} \log y = & aMw + bx - \log(r) + e(h - hc)\delta h + FR + SI + Ss + SSL \log(x) \\ & + Ck \end{aligned} \quad (6)$$

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

#### **1.1.4 HIPÓTESIS**

¿El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras del sector Pishilata barrio Pasochoa?

### **1.2. OBJETIVOS**

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

Efectuar el estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras de la ciudad de Ambato sector Pishilata barrio Pasochoa.

#### **1.2.2 Objetivos Específicos:**

- Seleccionar las fallas activas que abarcan el Régimen Tectónico en base al área de estudio.
- Determinar el espectro determinista del sitio en base a las ecuaciones de atenuación.
- Verificar el comportamiento estructural con tres estructuras tipo del sitio de análisis.
- Comparar el espectro de la NEC-15 con el espectro determinista.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **TIPO DE INVESTIGACIÓN**

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

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

De campo ya que se recolecta información mediante la extracción de datos y muestras del lugar, los datos y muestras obtenidos ayudarán al desarrollo de la investigación, los mismos que a su vez son tomados de forma directa del lugar en estudio.

De laboratorio porque se realizarán ensayos para determinar el tipo de perfil de suelo por medio del ensayo de penetración estándar SPT, luego se realizará el ensayo de granulometrías. Se usará el laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

#### **POBLACIÓN Y MUESTRA**

Población:

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

En adelante a la población se le llamará área de estudio.

Muestra:

Evaluar 3 estructuras, a su vez para el análisis se realizará 5 ensayos de penetración estándar (SPT) que estarán ubicados en los extremos y la parte media del lugar de estudio.

Para la obtención de los espectros se utilizará las siguientes ecuaciones de atenuación:

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

## **2.1 MATERIALES Y EQUIPO**

### **2.1.1 Materiales**

Como materiales tendremos:

- **Suelo:** Muestras obtenidos del ensayo de penetración estándar (SPT).

### **2.1.2 Equipo**

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

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

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

### 2.2.1 Plan de Recolección de Datos

**Tabla 1:** Plan de recolección de información

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



<b>¿Quién evalúa?</b>	Mayra del Rocío Molina Villamarín
<b>¿Dónde se evalúa?</b>	- Laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Ambato del Facultad de Ingeniería civil y Mecánica.
<b>¿Con que técnica o instrumento?</b>	- Ensayos de laboratorio - Investigación Bibliográfica - Norma NEC-15

**Elaborado por:** Molina Villamarín Mayra del Rocío

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

El procedimiento por seguir lo detallaré a continuación.

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

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

##### **Régimen Tectónico**

La Parroquia Pishilata se encuentra en la ciudad de Ambato ubicada sobre los 2580 msnm, se encuentra en la región interandina del Ecuador. La ciudad está ubicada en la provincia de Tungurahua en una región sísmica y volcánica. [14]

La ocurrencia de los sismos en la ciudad de Ambato puede tener dos fuentes diferentes que son la tectónica (cortical y subducción) y la volcánica. [14]

Los sismos de origen tectónico pueden alcanzar magnitudes  $M_w$  de hasta 9.5, los sismos de origen volcánico generan magnitudes  $M_w$  menores a 3. El terremoto de Ambato o Pelileo del 5 de agosto de 1949 tuvo una magnitud calculada en función de las intensidades generadas de 6.8. [14]

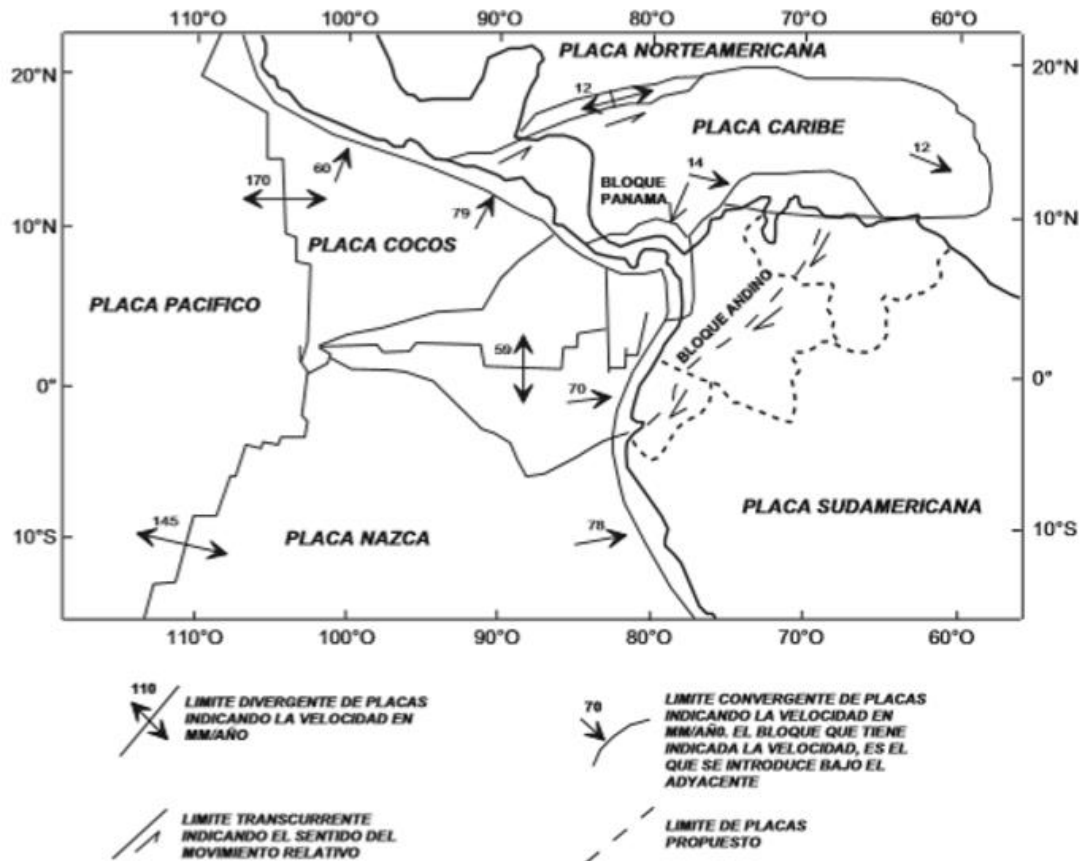
El Ecuador tiene tres tipos de regímenes tectónicos que son: Cortical, subducción interplaca y subducción intraplaca. [14]

Una parte del territorio continental se encuentra sobre una micro placa denominada “Bloque Andino” que fue descrita por Pegginton (1981). Esta micro placa está controlada por la interacción de las placas Sudamericana, Nazca, Cocos y Caribe. [12]

La placa oceánica de Nazca esta subduciendo a la placa sudamericana con dirección  $N83^\circ E$  (Kendric et al 2003), y el bloque andino se desplaza con dirección  $N35^\circ E$  (Kendric et al 2003; Nocquet el 2009). [12]

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

**Figura 2:** Límites de placa y velocidades de movimiento



**Fuente:** Ego 1995

El estudio de la convergencia entre placas es de gran importancia para la evaluación del peligro sísmico en la ciudad de Ambato ya que son una fuente sísmica de eventos que podrían afectar a la ciudad. [14]

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

El sismo del 5 de agosto de 1949 fue registrado en la provincia de Tungurahua, su epicentro fue en Pelileo, ubicada en una falla al sur del Nido sísmico de Pisayambo, aproximadamente a 20 Km nororiente de Pelileo, que alcanzó una magnitud de Mw 6.8. [14]

El más reciente sismo del 16 de abril de 2016 fue registrado en la provincia de Manabí, su hipocentro se ubicó frente a pedernales, fue resultado del desplazamiento de la placa de Nazca con la placa Sudamericana, teniendo como resultado la subducción, que alcanzó una magnitud de Mw 7.8. [14]

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

**Tabla 2:** Intensidades sísmicas sentidas en la ciudad de Ambato

<b>EVENTO</b>	<b>AÑO</b>	<b>INTENSIDAD</b>	<b>ESCALA</b>
Terremoto de Riobamba - Ambato	1698	IX	MSK
Terremoto de Riobamba	1797	X	MSK
Sismo de Ambato o Pelileo	1949	X	MSK
Sismo de Pedernales	2016	V	MSK

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

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

La intensidad se mide por la cantidad de perturbaciones en la superficie del suelo y el grado de daños en las construcciones. [14]

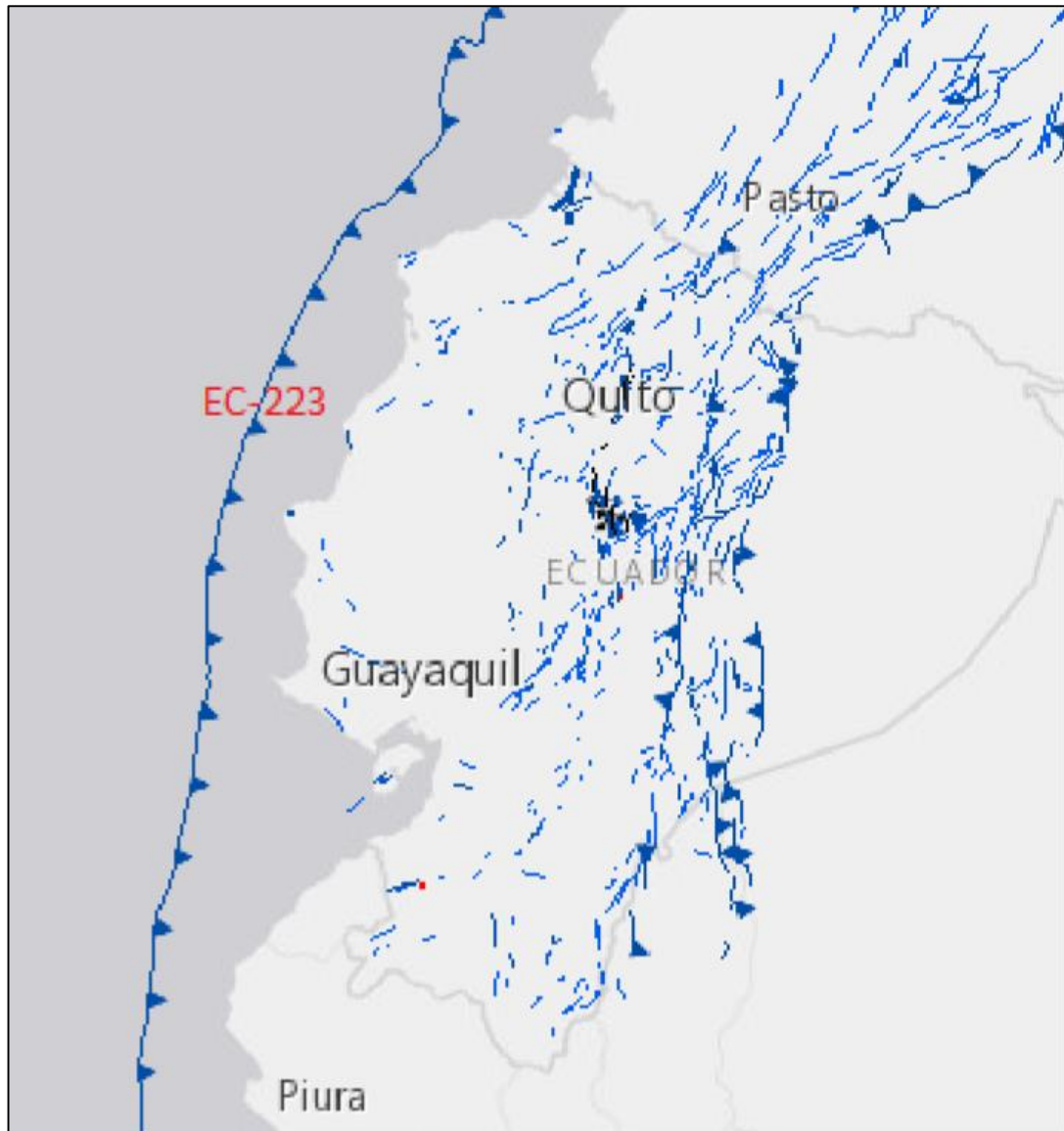
No tenemos eventos históricos que hayan sido registrados mediante instrumentos.

No se han determinado si estas fallas sean el anuncio de un gran sismo, pero si se puede señalar que están dando una liberación de energía. No existen pruebas ni estudios que demuestren que por estas fallas geológicas se hayan producido sismos de gran magnitud. Los movimientos originados solo se los ha detectado con los equipos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, donde obtuvieron su epicentro en Pisayambo-Píllaro provincia de Tungurahua. [14]

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

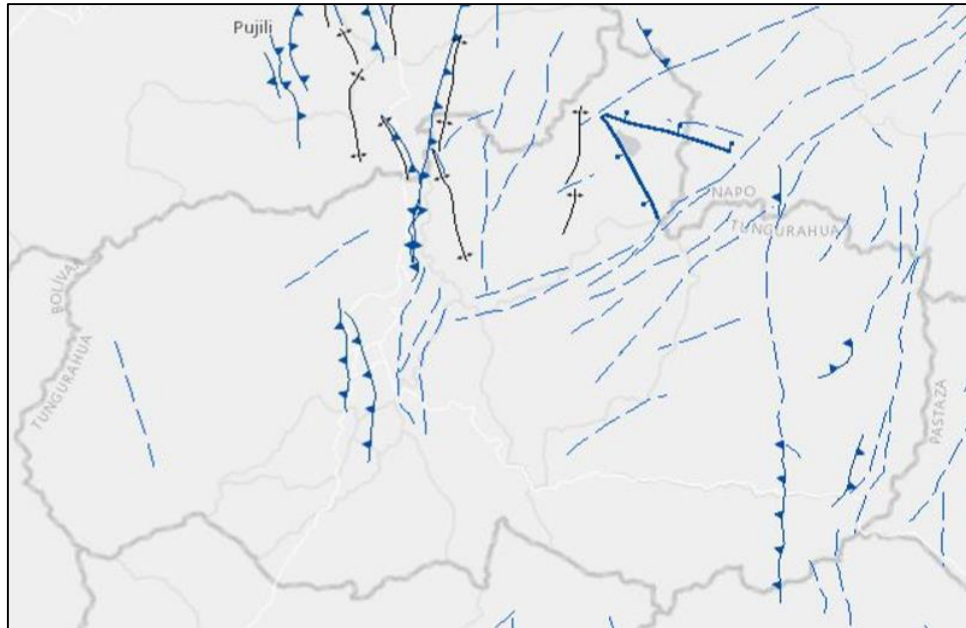
### 3.1.1 Selección de fallas geológicas

**Figura 3:** Fallas geológicas del Ecuador



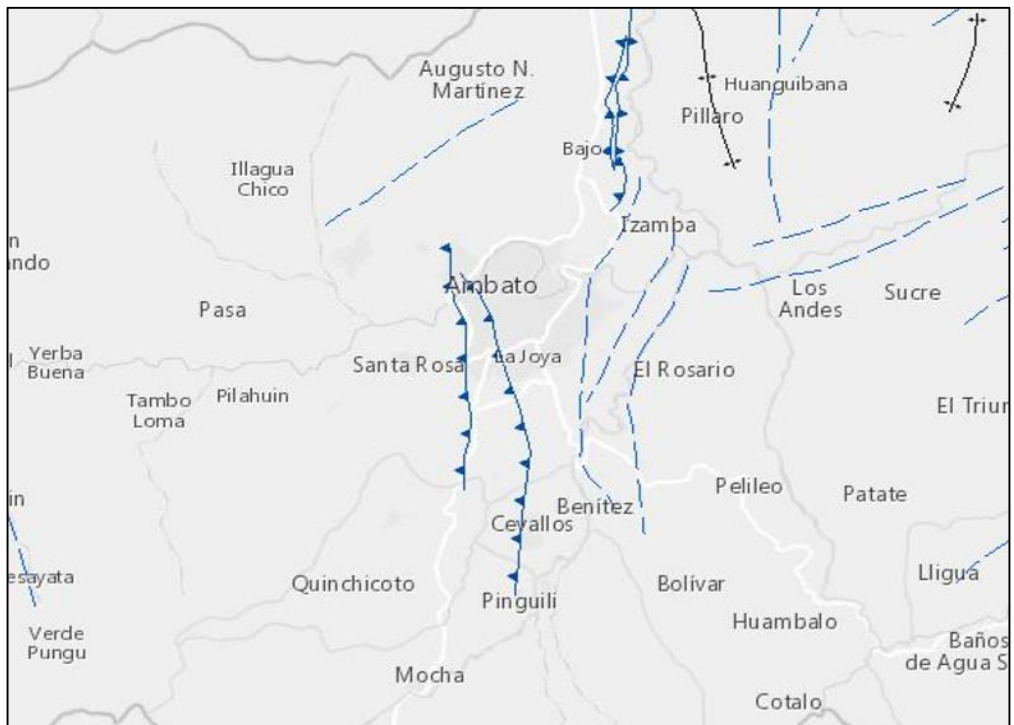
**Fuente:** NeoTec Ecuador

**Figura 4:** Fallas geológicas de Tungurahua



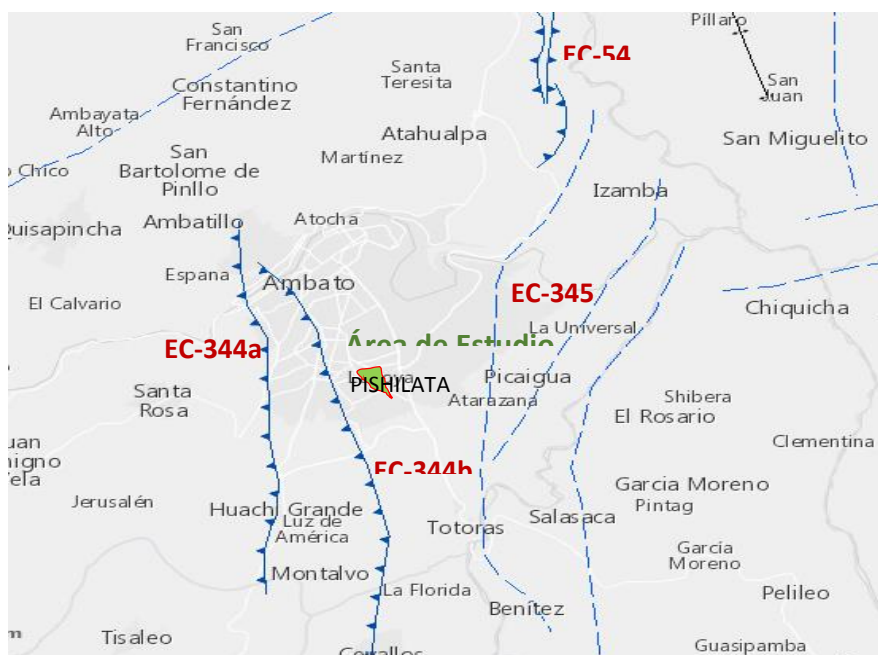
**Fuente:** NeoTec Ecuador

**Figura 5:** Fallas geológicas de Ambato



**Fuente:** NeoTec Ecuador

**Figura 6:** Fallas geológicas en el área de estudio



**Fuente:** NeoTec Ecuador

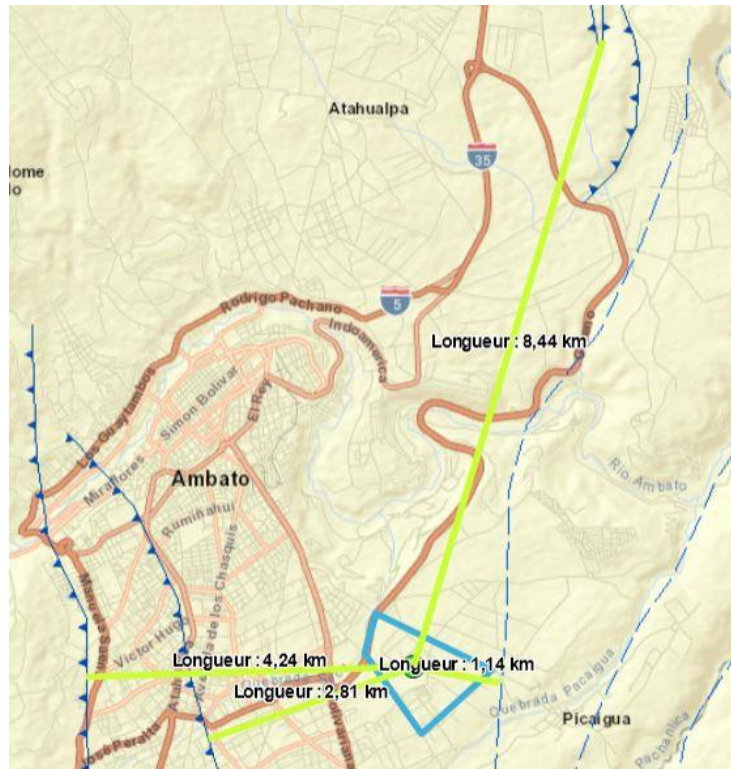
**Tabla 3:** Código de las Fallas Geológicas seleccionadas en el Área de estudio (Sector Pishilata)

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

**Fuente:** NeoTec-Ecuador

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

**Figura 7:** Longitud a cada una de las fallas geológicas en el área de estudio



**Fuente:** NeoTec Ecuador

En la tabla 4 se especifica las fallas seleccionadas con su respectiva longitud y distancia desde la fuente al sitio de estudio:

**Tabla 4:** La tabla muestra los datos de las Fallas Geológicas en estudio, como código, Tipo, Longitud y Distancia

<b>CODIGO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO</b>	<b>LONGITUD (Km)</b>	<b>DISTANCIA (Km)</b>
EC-344b	AMBATO	Inversa Ciega	16.31	2.81
EC-344a	HUACHI	Inversa Ciega	12.04	4.24
EC-345	TOTORAS	Transcurrente Inversa Ciega	17.58	1.14
EC-54	SAMANGA	Inversa Ciega	32.72	8.44
<b>EC-223</b>	<b>SUBDUCCION</b>	<b>Inversa/Subduccion</b>	1537.00	296.38

**Fuente:** NeoTec Ecuador



### 3.1.2 Características del suelo

**Tabla 5:** Clasificación de suelos en base al SUCS

Tipo	Sub-Tipos	Identificación		Símbolo de Grupo		
Suelos (partículas menores de 7,5 cm)	SUELOS GRUESOS Más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 (0.075 mm)	GRAVA Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla N°4	GRAVA LIMPIA  (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 <sub>u</sub> ) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (C <sub>c</sub> ) entre 1 y 3 <sup>1/1</sup>	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GW
				Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GP
			GRAVA CON FINOS  (Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	GM
			Grava arcillosa; mezclas de grava, arena y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	GC	
		ARENA Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4	ARENA LIMPIA  (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 <sub>u</sub> ) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (C <sub>c</sub> ) entre 1 y 3 <sup>1/1</sup>	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SW
				Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SP
	ARENA CON FINOS  (Cantidad apreciable de partículas finas)		Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	SM	
		Arena arcillosa; mezclas de arena, grava y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	SC		
	SUELOS FINOS Más de la mitad del material pasa la malla N°200 (0.075 mm)	LIMO Y ARCILLA Límite líquido	Menor de 50%	Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	ML	
				Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CL	
				Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OL	
			Mayor de 50%	Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	MH	
			Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CH		
			Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la Carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OH		
ALTAMENTE ORGANICOS		Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	P <sub>t</sub>			

**Fuente:** Sistema de clasificación de suelos (SUCS)

Se procedió a realizar el ensayo de granulometría, mediante este análisis se determina el tipo de suelo en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

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

**Tabla 6:** Clasificación del suelo para punto 1

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b>METRO 1</b>			
<b>#4</b>	3.00	3.00	97.00
<b>#200</b>	343.70	71.31	28.69
<b>Fuente</b>	135.30	28.07	
<b>Total</b>	482.00	100.00	
<b>METRO 2</b>			
<b>#4</b>	2.30	0.61	99.39
<b>#200</b>	305.40	81.46	18.54
<b>Fuente</b>	67.20	17.92	
<b>Total</b>	374.90	100.00	

**Elaborado por:** Mayra Molina

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

**Tabla 7:** Clasificación del suelo para punto 2

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b>METRO 1</b>			
<b>#4</b>	1.20	0.72	99.28
<b>#200</b>	114.70	69.26	30.74
<b>Fuente</b>	49.70	30.01	
<b>Total</b>	165.60	100.00	
<b>METRO 2</b>			
<b>#4</b>	0.90	0.48	99.52
<b>#200</b>	142.30	75.53	24.47
<b>Fuente</b>	45.20	23.99	
<b>Total</b>	188.40	100.00	
<b>METRO 3</b>			
<b>#4</b>	0.50	0.37	99.63
<b>#200</b>	94.40	69.06	30.94
<b>Fuente</b>	41.80	30.58	
<b>Total</b>	136.70	100.00	

**Elaborado por:** Mayra Molina

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

**Tabla 8:** Clasificación del suelo para punto 3

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b>METRO 1</b>			
<b>#4</b>	1.00	0.35	99.65
<b>#200</b>	218.80	75.92	24.08
<b>Fuente</b>	68.40	23.73	
<b>Total</b>	288.20	100.00	
<b>METRO 2</b>			
<b>#4</b>	0.00	0.00	100.00
<b>#200</b>	193.90	83.83	16.17
<b>Fuente</b>	37.40	16.17	
<b>Total</b>	231.30	100.00	
<b>METRO 3</b>			
<b>#4</b>	0.00	0.00	100.00
<b>#200</b>	101.50	68.03	31.97
<b>Fuente</b>	47.70	31.97	
<b>Total</b>	149.20	100.00	
<b>METRO 4</b>			
<b>#4</b>	0.00	0.00	100.00
<b>#200</b>	107.40	66.46	33.54
<b>Fuente</b>	54.20	33.54	
<b>Total</b>	161.60	100.00	

**Elaborado por:** Mayra Molina

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

**Tabla 9:** Clasificación del suelo para punto 4

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b>METRO 1</b>			
<b>#4</b>	4.70	1.58	98.42
<b>#200</b>	193.40	64.88	35.12
<b>Fuente</b>	100.00	33.55	
<b>Total</b>	298.10	100.00	

**Elaborado por:** Mayra Molina

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

**Tabla 10:** Clasificación del suelo para punto 5

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b>METRO 1</b>			
<b>#4</b>	0.00	0.00	100.00
<b>#200</b>	55.40	70.66	29.34
<b>Fuente</b>	23.00	29.34	
<b>Total</b>	78.40	100.00	
<b>METRO 2</b>			
<b>#4</b>	0.10	0.11	99.89
<b>#200</b>	70.44	74.51	25.49
<b>Fuente</b>	24.00	25.39	
<b>Total</b>	94.54	100.00	
<b>METRO 3</b>			
<b>#4</b>	0.00	0.00	100.00
<b>#200</b>	111.60	72.75	27.25
<b>Fuente</b>	41.80	27.25	
<b>Total</b>	153.40	100.00	

**Elaborado por:** Mayra Molina

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

### **3.1.3 Ensayo de penetración estándar**

Para esto se lleva a cabo lo que nos indica la norma INEN 689, donde nos detalla los pasos para ejecutar el ensayo de penetración estándar: [14]

Al apoyar el muestreador en el fondo del pozo perforado, se procede a hincarlo mediante golpes del martinete lanzado en caída libre desde una altura de 75 +- cm sobre la cabeza de golpe. [14]

Se debe utilizar una cuerda de manila para el izaje del martinete, en caso de ser accionado mecánicamente, la cuerda debe enrollarse máximo dos veces. [14]

La barra de acero debe estar completamente vertical para asegurar la energía de los golpes. [14]

Se inicia el ensayo contando el número de golpes para penetrar 15 cm en dos intervalos el muestreador, lo determina la resistencia a la penetración de dicho suelo. [14]

Si al ejecutarlo sobrepasa los 50 golpes, sin haber penetrado la totalidad de cada intervalo, se anotará el número de golpes y la longitud de penetración del muestreador. [14]

Antes de extraer el muestreador a la superficie se debe girar por lo menos dos revoluciones, para cortar la muestra, posteriormente se extrae y se mide la longitud de la muestra obtenida, desechando la parte superior ya que no es representativa. [14]

La muestra se describe en la norma INEN 693, se lo cierra herméticamente para su análisis en el laboratorio. [14]

Se debe etiquetar las muestras adecuadamente con todos los datos necesarios para realizar los ensayos requeridos. [14]

**Tabla 11:** Ensayo de penetración estándar punto 1

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>NSPT (MEDIO)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>
55	LIMPIEZA	66	63	C
70	47			
85	31			
100	35			
155	LIMPIEZA	60		
170	45			
185	60			
200				

**Elaborado por:** Mayra Molina

**Tabla 12:** Ensayo de penetración estándar punto 2

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>NSPT (MEDIO)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>
55	LIMPIEZA	83	63	C
70	22			
85	30			
100	53			
155	LIMPIEZA	55		
170	29			
185	28			
200	27			
255	LIMPIEZA	51		
270	32			
285	51			
300				

**Elaborado por:** Mayra Molina

**Tabla 13:** Ensayo de penetración estándar punto 3

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>NSPT (MEDIO)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>
55	LIMPIEZA	20	41	D
70	9			
85	9			
100	11			
155	LIMPIEZA	45		
170	23			
185	25			
200	20			
255	LIMPIEZA	58		
270	22			
285	25			
300	33			
355	LIMPIEZA	109		
370	53			
385	56			
400				

**Elaborado por:** Mayra molina

**Tabla 14:** Ensayo de penetración estándar punto 4

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>NSPT (MEDIO)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>
55	LIMPIEZA	60	60	C
70	51			
85	60			
100				

**Elaborado por:** Mayra Molina

**Tabla 15:** Ensayo de penetración estándar punto 5

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>NSPT (MEDIO)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>
55	LIMPIEZA	55	80	C
70	28			
85	25			
100	30			
155	LIMPIEZA	81		
170	40			
185	45			
200	36			
255	LIMPIEZA	103		
270	45			
285	58			
300				

**Elaborado por:** Mayra Molina

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

### **3.1.4 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 [1]

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

- La velocidad media de la onda de cortante,  $V_{s30}$  (m/s),
- El número medio de golpes del Ensayo de Penetración Estándar (SPT en inglés para “Standard Penetration Test”). [1]



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

**Tabla 16:** Clasificación de los Perfiles de Suelo, descripción y definición del tipo de perfil A, B, C, D, E, F.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360$ m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100$ kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	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:** Peligro Sísmico. NEC\_SE\_DS 2015.

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

La velocidad sísmica de la onda de corte de la capa superior del suelo de 30 m (Vs30) es un parámetro importante en la ingeniería cuantitativa actual de terremotos, debido a que ésta es responsable de la amplificación del movimiento del suelo. [15]

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

La correlación más frecuente es la que relaciona la resistencia a la penetración estándar no corregida (N) y la velocidad de la onda de corte el Vs, para representar esta correlación se usan 500 pares de datos secundarios y se obtienen formulaciones tomando en cuenta las características geológicas y geotécnicas. [15] [16]

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

$$V_s = 105.03 N^{0.286}$$

Dónde:

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

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

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

POZO 1, H=2m

$$V_s = 105.03 N^{0.286}$$

$$V_s = 105.03 * 60^{0.286}$$

$$\mathbf{V_s = 338.74 \text{ m/s}}$$

POZO 2, H=2m

$$V_s = 105.03 N^{0.286}$$

$$V_s = 105.03 * 55^{0.286}$$

$$\mathbf{V_s = 330.41 \text{ m/s}}$$

POZO 3, H=3m

$$V_s = 105.03 N^{0.286}$$

$$V_s = 105.03 * 58^{0.286}$$

$$\mathbf{V_s = 335.47 \text{ m/s}}$$

POZO 4, H=1m

$$V_s = 105.03 N^{0.286}$$

$$V_s = 105.03 * 60^{0.286}$$

$$\mathbf{V_s = 338.74 \text{ m/s}}$$

POZO 5, H=3m

$$V_s = 105.03 N^{0.286}$$

$$V_s = 105.03 * 103^{0.286}$$

$$\mathbf{V_s = 395.35 \text{ m/s}}$$

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

$$V_s \text{ promedio} = \frac{H}{\frac{h1}{V_{s1}} + \frac{h2}{V_{s2}} + \frac{h3}{V_{s3}} + \frac{hn}{V_{sn}}}$$

**Tabla 17:** Se muestra los valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) y su respectivo tipo de perfil en el Pozo 1.

PROFUNDIDAD (cm)	NSPT (TOTAL)	Vs 30 (m/s)	TIPO DE PERFIL	Vs 30 PROM. (m/s)
55	66	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
70				
85				
100				
155	60	338.74	D	338.74
170				
185				
200				

**Elaborado por:** Mayra Molina

**Tabla 18:** Se muestra los valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) y su respectivo tipo de perfil en el Pozo 2.

PROFUNDIDAD (cm)	NSPT (TOTAL)	Vs 30 (m/s)	TIPO DE PERFIL	Vs 30 PROM. (m/s)
55	83	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
70				
85				
100				
155	55	330.41	D	326.85
170				
185				
200				
255	51	323.35	D	
270				
285				
300				

**Elaborado por:** Mayra Molina

**Tabla 19:** Se muestra los valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) y su respectivo tipo de perfil en el Pozo 3.

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>Vs 30 (m/s)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>	<b>Vs 30 PROM. (m/s)</b>
55	20	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
70				
85				
100				
155	45	311.98	D	345.82
170				
185				
200				
255	58	335.47	D	
270				
285				
300				
355	109	401.81	D	
370				
385				
400				

**Elaborado por:** Mayra Molina

**Tabla 20:** Se muestra los valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) y su respectivo tipo de perfil en el Pozo 4.

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>Vs 30 (m/s)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>	<b>Vs 30 PROM. (m/s)</b>
55	60	338.74	D	338.74
70				
85				
100				

**Elaborado por:** Mayra Molina

**Tabla 21:** Se muestra los valores de la Velocidad media de la onda de cortante (Vs30) y su respectivo tipo de perfil en el Pozo 5.

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>Vs 30 (m/s)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>	<b>Vs 30 PROM. (m/s)</b>
55	55	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
70				
85				
100				
155	81	369.10	C	381.77
170				
185				
200				
255	103	395.35	C	
270				
285				
300				

**Elaborado por:** Mayra molina

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

**Tabla 22:** Valores promedio de Vs30 obtenidos en cada uno de los pozos, tipo de perfil de suelo y valor promedio total de Vs30 del área del proyecto.

<b>TABLA DE RESÚMEN</b>			
<b>POZO</b>	<b>Vs 30 (m/s)</b>	<b>Tipo de perfil</b>	<b>Vs 30 Promedio (m/s)</b>
<b>Pozo 1</b>	338.74	D	<b>346.38</b>
<b>Pozo 2</b>	326.85	D	
<b>Pozo 3</b>	345.82	D	
<b>Pozo 4</b>	338.74	D	
<b>Pozo 5</b>	381.77	C	

**Elaborado por:** Mayra Molina

La Tabla 16 dada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 establece la clasificación de los perfiles de Suelo, cuya clasificación se lo puedo realizar tomando en cuenta el número de golpes o la velocidad media de la onda de cortante, como se muestra a continuación:

### **Número de golpes (N)**

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

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

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

En este caso tenemos dos tipos de perfil de suelo en el área de estudio C y D, esto se da debido a la variación de la estratigrafía existente en el suelo, pero por criterio conservador se va a utilizar la referencia de la velocidad media de la onda de cortante, cuyo valor final obtenido es  $V_{s30}=346.38\text{m/s}$ , que se encuentra en el rango de  $360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$  indicando que es un **tipo de perfil D**, como se muestra en la Tabla 24.

### **3.1.7 Ecuaciones de atenuación para sismos intraplaca cortical**

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

Los Sismos corticales intraplaca son lo que ocurren dentro de la placa continental, en la corteza a profundidades menores que 30 km, debido a deformación generada principalmente por la convergencia entre las placas y por esfuerzos locales. [17]

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

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

Con esta ecuación se determina la aceleración máxima esperada en roca (PGA), la velocidad máxima del terreno (PGV) y el 5% de Pseudoaceleración absoluta de los espectros en los períodos entre 0,01 s y 10 s. [18]

Para períodos inferiores a 1s, el análisis utilizó 1.574 registros en el rango de distancia de 0 km a 400 km. Las variables primarias son la magnitud de momento  $M$ , la distancia horizontal más cercana a la proyección de superficie del plano de fallo conocida como  $R_{JB}$  y la velocidad media de onda de corte desde la superficie hasta 30m conocida como  $V_{s30}$ . [18]

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

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

La función de la distancia está dada por:

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

**DÓNDE:**

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



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

Para la distancia de referencia, **Rref** se usa un valor de 1km. Esto es conveniente porque las curvas que describen la dependencia de la distancia giran alrededor de  $R = R_{ref}$ . Para la magnitud de referencia, **Mref** se usa un valor de 4.5, ya que se trata de la magnitud aproximada de gran parte de los datos utilizados para determinar los coeficientes fijos. [18]

La escala de magnitud viene dada por:

a)  $M \leq M_h$

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

b)  $M > M_h$

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

**Donde:**

U, SS, NS y RS son variables ficticias que se usan para indicar el tipo de falla no especificada, transcurrente, normal e inversa, respectivamente, y se encuentran establecidos según los valores de la Tabla 25.

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

**Tabla 23:** 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, D. Atkinson, M. (2008). Ecuaciones de predicción de movimiento en el suelo para el componente horizontal promedio de PGA, PGV y PSA amortiguado al 5% en períodos espectrales entre 0.01s y 10.0 s.

**Categorías:**

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

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

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

La ecuación de amplificación de sitio está dada por:

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

**Donde:**

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

El término lineal está dado por:

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

**Donde:**

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

El término no lineal está dado por:

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

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga\_low/0.1)$$

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

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

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

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

**Dónde:**

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

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

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

Los coeficientes c y d están dados por:

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

y

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

**Donde:**

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

y

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

La pendiente no lineal  $b_{nl}$  es una función de ambos períodos y el Vs30 está dada por:

a)  $V_{S30} \leq V_1$

$$b_{nl} = b_1$$

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

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

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

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

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

$$b_{nl} = 0.0$$

**Donde:**

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

**Limitaciones del modelo**

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

$M_w = 5 - 8$

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

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

**Tabla 24:** Valores empleados en el modelo de Boore y Atkinson

<b>Mw =</b>	6,48	<b>Rjb(km) =</b>	2,81	Falla Ambato	<b>Vs30</b> (m/s)	346,38			
<b>Mw =</b>	6,32	<b>Rjb(km) =</b>	4,24	Falla Huachi					
<b>Mw =</b>	6,55	<b>Rjb(km) =</b>	1,14	Falla Totoras					
<b>Mw =</b>	6,85	<b>Rjb(km) =</b>	8,44	Falla Samanga					
<b>Tipo de Falla</b>	<b>U</b>	<b>SS</b>	<b>NS</b>	<b>RS</b>					
Inversa	0	0	0	1					
<b>a1</b>	<b>a2</b>	<b>pga_low</b>	<b>V1 (m/s)</b>	<b>V2 (m/s)</b>	<b>Vref (m/s)</b>	<b>Mref</b>	<b>Mh</b>	<b>Rref (Km)</b>	
0,03	0,09	0,06	180	300	760	4,5	6,75	1	

Elaborado por: Mayra Molina

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

Akkar y Bommer (2007a) presentaron un nuevo GMPE, basado en la misma base de datos que Ambraseys y otros (2005). La principal motivación fue ampliar el rango de períodos de respuesta, debido a que se requieren ordenadas espectrales en periodos más largos, así como a valores de amortiguación diferentes al omnipresente 5% del crítico. Por esta razón, las ecuaciones de Akkar y Bommer (2007a) se derivaron para predecir los desplazamientos espectrales (SD) y obtener la ecuación para la aceleración máxima del terreno (PGA). [19]

El modelo de Akkar y Bommer consta de un conjunto de datos de 532 acelerogramas registrados a distancias de hasta 100 km de 131 terremotos con magnitudes de Mw 5 a Mw 7.6. [19]

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

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

#### **DONDE:**

b1, b2, b3, b4, b5, b6, b7, b8, b9, b10,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  = Coeficientes para la predicción de Pseudoaceleración espectral. (Ver Anexo C-1)

M= Magnitud de Momento (Tabla 29)

R<sub>JB</sub>= Distancia Joyner y Boore (Tabla 4)

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

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

Uno de los aspectos a explorar para estas ecuaciones paneuropeas es la exclusión de la profundidad focal, ya que hemos utilizado la distancia de Joyner-Boore ( $R_{JB}$ ), que es la distancia perpendicular a la proyección vertical en la superficie. [19]

#### **Categorías:**

Suelo blando:  $SS= 1$ ;  $SA=0$ ;  $Vs30 < 360$ m/s.

Suelo rígido:  $SS= 0$ ;  $SA= 1$ ;

Roca:  $SS= 0$ ;  $SA= 0$ ;  $Vs30 > 750$ m/s.

#### **Categorías mecanismo de falla:**

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

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

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

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

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

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

### Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para:

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

**Tabla 25:** Valores empleados en el modelo de Akkar y Bommer

<b>Mw =</b>	6,48	<b>Rjb(km) =</b>	2,81	Falla Ambato	<b>Vs30 (m/s)</b>	346,38
<b>Mw =</b>	6,32	<b>Rjb(km) =</b>	4,24	Falla Huachi		
<b>Mw =</b>	6,55	<b>Rjb(km) =</b>	1,14	Falla Totoras		
<b>Mw =</b>	6,85	<b>Rjb(km) =</b>	8,44	Falla Samanga		
<b>Tipo de Falla</b>	<b>FN</b>	<b>FR</b>		<b>Si Vs30 &lt;360 m/s</b>	<b>Ss</b>	<b>SA</b>
Inversa	0	1		Suelo Blando	1	0

**Elaborado por:** Mayra Molina

#### 4.1.5.3 Modelo Kanno (2006)

Debido a los desastrosos terremotos ocurridos en Japón, como el terremoto de 1995 en Hyogo-ken Nanbu, Kobe se instalaron redes que consistían en un gran número de estaciones de observación de movimiento fuerte, como el K-NET (Kinoshita 1998), además de mapas nacionales de riesgo sísmico para prevenir futuros desastres. [20]

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



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

Por lo tanto, este modelo tiene solo tres variables: magnitud de terremoto, distancia más corta al plano de falla sísmica y profundidad focal. [20]

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

### **Eventos Superficiales**

Si  $D \leq 30$  Km:

$$\log pre = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 10^{0,5M_w}) + c_1 + \varepsilon_1$$

### **Eventos Profundos**

Si  $D > 30$  Km:

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

### **DONDE:**

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

D = profundidad focal (km).

M= Magnitud de Momento (Tabla 29)

X= Distancia Joyner y Boore. (Tabla 4)

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

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

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

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

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

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

$$\log pre_G = \log pre + G$$

### **Limitaciones del Modelo**

Se adoptaron dos modelos de regresión simple:

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

**Tabla 26:** Valores empleados en el modelo de Kanno

<b>Mw =</b>	6,48	<b>Rjb(km) =</b>	2,81	Falla Ambato	<b>Vs30 (m/s)</b>	346,38
<b>Mw =</b>	6,32	<b>Rjb(km) =</b>	4,24	Falla Huachi		
<b>Mw =</b>	6,55	<b>Rjb(km) =</b>	1,14	Falla Totoras		
<b>Mw =</b>	6,85	<b>Rjb(km) =</b>	8,44	Falla Samanga		

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

**Elaborado por:** Mayra Molina

### 3.1.8 Ecuaciones de atenuación para subducción

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

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

La profundidad focal para estos modelos de subducción será de 125 km, ya que en eventos registrados las profundidades han sido mayores a los 100 km. [21]

## **Modelo Youngs (1997)**

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

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

Las zonas de subducción de sismos interplaca son superficiales y los sismos intraplaca ocurren dentro de las placas oceánicas de subducción. Los parámetros de la fuente del sismo, (localización del epicentro, profundidad focal, magnitud, y mecanismo de expansión desde el foco) son recopilados de estudios especializados de Harvard. [21]

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

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

**DONDE:**

Y = aceleración espectral en g.

H= Profundidad focal

M= Magnitud de Momento (Tabla 29)

R= Distancia Joyner y Boore. (Tabla 4)

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

$c_1, c_2, c_3$  = Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral horizontal (5% de amortiguación) para terremotos de subducción. (Ver Anexo E-1)

### **Categorías:**

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

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

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

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

### **Limitaciones del Modelo**

Estas ecuaciones deben ser usadas para:

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

**Tabla 27:** Valores empleados en el modelo de Youngs

<b>M<sub>w</sub></b>	<b>R<sub>jb</sub> (km)</b>	<b>H (km)</b>	<b>Tipo Tectónico</b>	<b>Z<sub>T</sub></b>
8,89	296,38	125	Intraplaca	1

**Elaborado por:** Maya Molina

### **Modelo Zhao (2006)**

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

Para eventos de subducción, se emplea un factor de modificación de distancia simple para lograr predicciones imparciales. Se presenta la magnitud de terremoto, distancia más corta al plano de falla sísmica y profundidad focal. [22]

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

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

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

#### **DONDE:**

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

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

r=Factor de modificación de distancia simple

Mw= Magnitud del momento. (Tabla 32)

x = Distancia de Joyner y Boore. (Tabla 6)

h = profundidad focal en kilómetros.

## Profundidades focales (h)

Evento Cortical:  $h= 0 - 25$  km

Eventos interplaca:  $h= 10 - 50$  km

Eventos intraplaca:  $h= 15 - 162$  km

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

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

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

## Clasificación de los Eventos

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

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

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

**Tabla 28:** Valores empleados en el modelo de Zhao

		Tipo Tectónico			Tipo de Falla	Vs30 (m/s)
Mw =	8,89	Intraplaca			Inversa	346,38
X (km) =	296,38	S1	SS	SSL	FR	Ck
h (km) =	50	0	Usar los datos de la tabla establecida por Zhao		1	Usar los datos de la tabla dada por Zhao
hc (km) =	0					
δh =	1					

**Elaborado por:** Maya Molina



### 3.1.9 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### Magnitud de las fallas

La ecuación establecida por Wells y Coppersmith sirve para determinar la magnitud de momento  $M_w$ .

**Tabla 29:** La tabla muestra las ecuaciones empleadas para el cálculo de la magnitud de Momento (M). Además, las Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura y área de ruptura

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

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

\*SRL—surface rupture length (km); RLD—subsurface rupture length (km); RW—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.

Con la fórmula que se muestra a continuación:

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

**Dónde:**

a, b: Coeficientes dados por Wells y Coppersmith. (Tabla 29)

SRL: Longitud de rotura superficial dada en km. (Tabla 4)

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

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

$$M = 5 + 1.22 * \log(16.31)$$

$$M = 6.48$$

Los coeficientes a y b se obtienen de la tabla 32 (Wells y Coppersmith) y los valores de la longitud de la falla Ambato (SRL) se tomó de la tabla 6.

**Tabla 30:** Magnitud de momento calculado (Mw) de cada una de las Fallas Geológicas seleccionadas

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

**Elaborado por:** Maya Molina

## **Cálculo de Espectros**

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

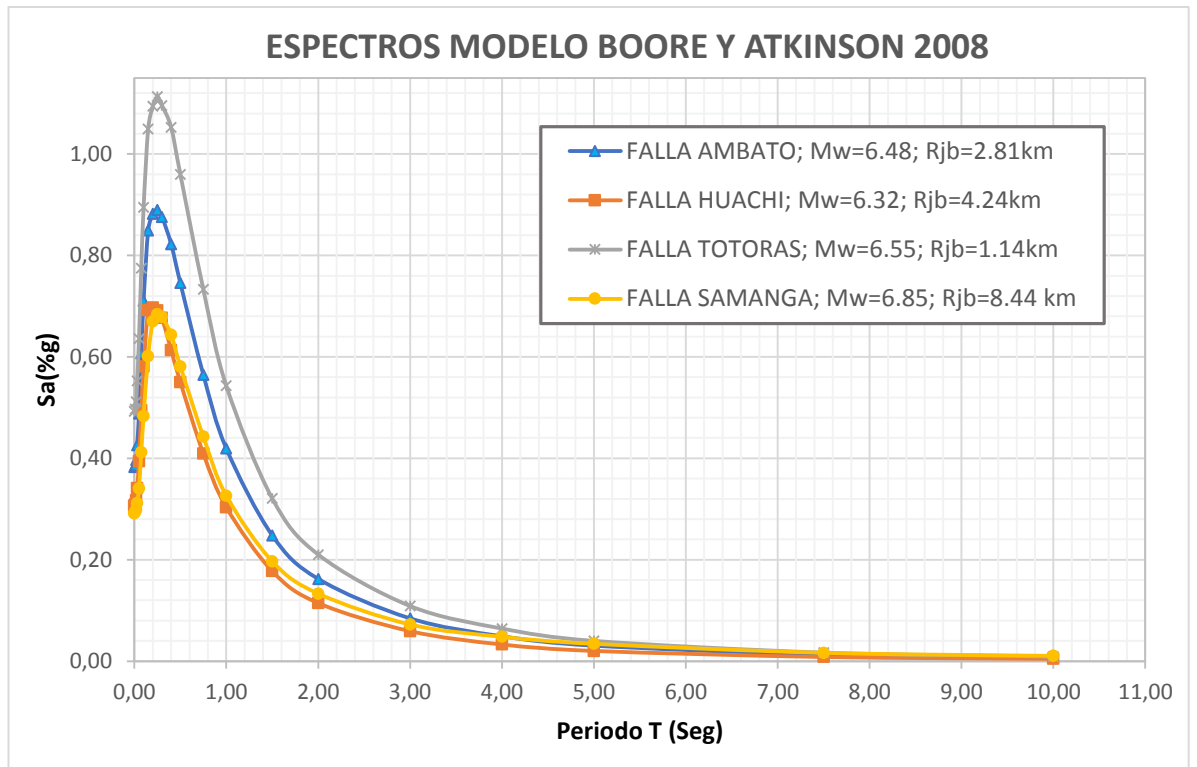
La gráfica del espectro presenta en el eje de las abscisas el periodo propio de la estructura y en el eje de las ordenadas la respuesta máxima calculada para distintos factores de amortiguamiento. [23]

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

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

En el siguiente gráfico se muestra el espectro obtenido con el modelo de Boore y Atkinson 2008 para cada una de las fallas corticales (Falla Ambato, Huachi, Totoras y Samanga). Éste modelo requiere el valor de la velocidad media de la onda de cortante para lo cual se utilizó el Vs30 calculado, correspondiente a 346.38 m/s. (Tabla 22)

**Figura 8:** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson 2008, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas



**Elaborado por:** Mayra Molina

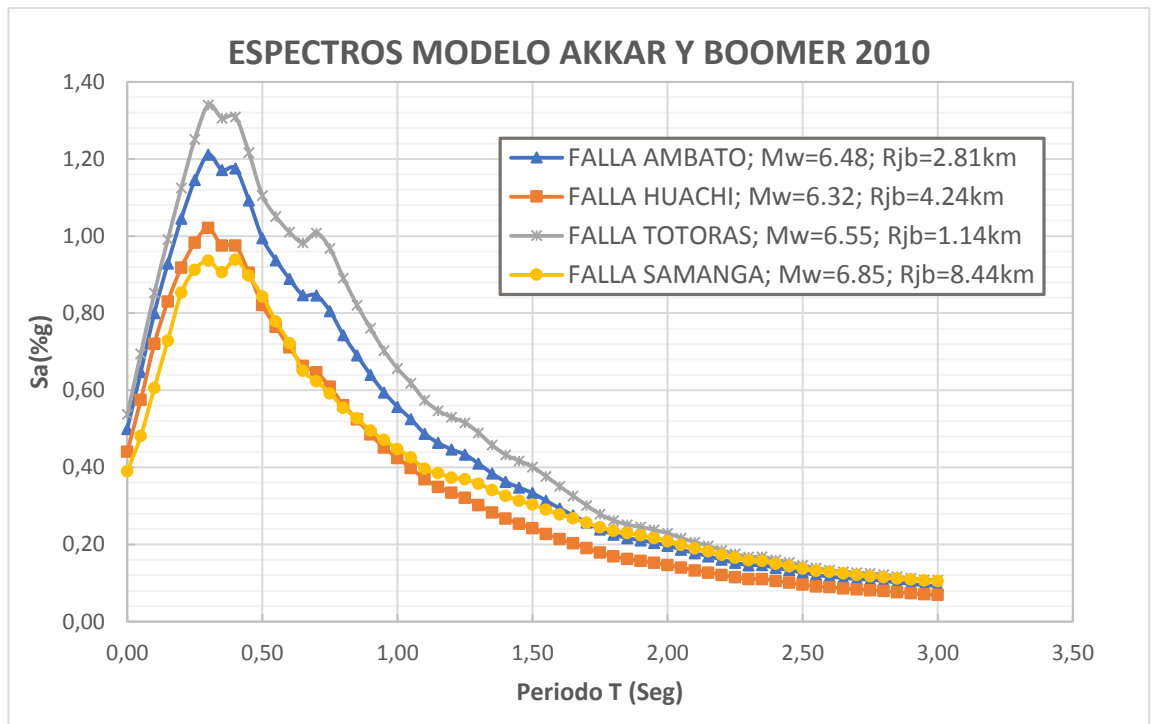
En la figura 8 se observa que la Falla Ambato tiene un período de 0.25seg correspondiente a una aceleración de 0.89g, la Falla Totoras y Samanga tienen un período de 0.25seg y una aceleración de 1.11g y 0.68g respectivamente y la Falla Huachi con un período de 0.20seg y aceleración de 0.70g.

Estos valores indican que la **Falla Totoras** es la que predomina en el modelo de Boore y Atkinson con un valor máximo de aceleración de **1.11g** correspondiente a un período de **0.25seg** y después va decreciendo hasta llegar a un período de 10seg.

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

En la figura 9 se muestra el espectro obtenido con el modelo de Akkar y Bommer 2010 para cada una de las fallas corticales (Falla Ambato, Huachi, Totoras y Samanga).

**Figura 9:** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Akkar y Boomer 2010, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas



**Elaborado por:** Mayra Molina

En la figura 9 se observa que la Falla Ambato, Totoras, Huachi tienen un período de 0.30seg y una aceleración de 1.21g, 1.34g, 1.02g respectivamente y la Falla Samanga con un período de 0.4seg correspondiente a una aceleración de 0.88 g.

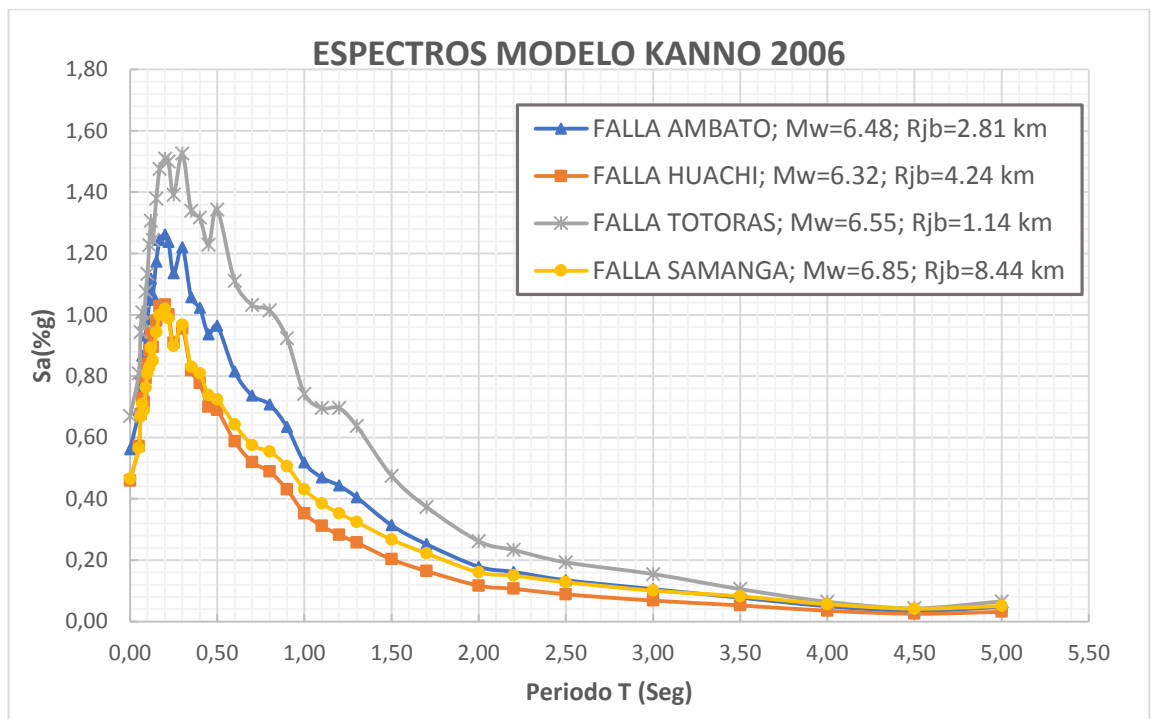
Estos valores indican que la **Falla Totoras** predominan en el modelo de Akkar y Boomer con un valor máximo de aceleración de **1.34g** correspondiente a un período de **0.30 seg** y después va decreciendo hasta llegar a un período de 3 seg.

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

En la figura 10 se muestra el espectro obtenido con el modelo de Kanno 2006 para cada una de las fallas corticales (Falla Ambato, Huachi, Totoras y Samanga).

Éste modelo requiere el valor de la velocidad media de la onda de cortante para lo cual se utilizó el  $V_{s30}$  calculado, correspondiente a 346.38 m/s. (Tabla 22)

**Figura 10:** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Kanno 2006, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas



**Elaborado por:** Mayra Molina

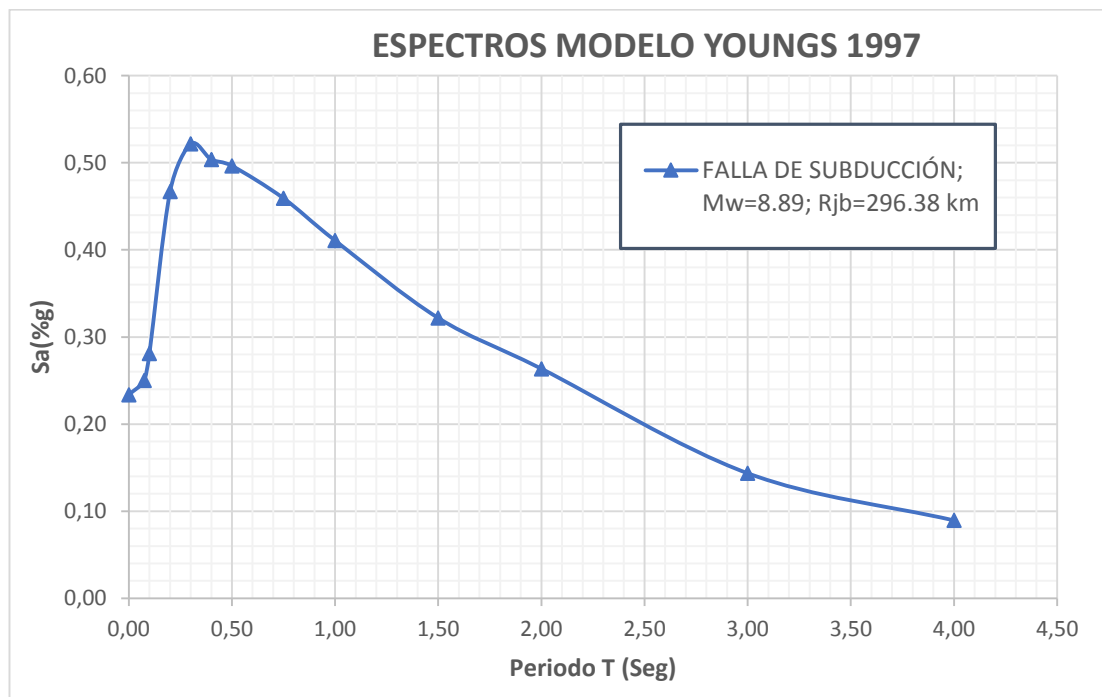
En la figura 10 se observa que la Falla Ambato, Huachi, Totoras y Samanga tienen un período de 0,20seg correspondiente a una aceleración de 1,48g, 1,2g, 1,37g y 0,99g respectivamente.

Estos valores indican que la **Falla Ambato** predomina en el modelo de Kanno con un valor máximo de aceleración de **1.48g** correspondiente a un período de **0.20 seg** y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5seg.

### **Espectros calculados con el Modelo de Young 1997.**

En la figura 11 se muestra el espectro obtenido con el modelo de Young 1997 para la falla de subducción.

**Figura 11:** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Young 1997, utilizando la falla de subducción



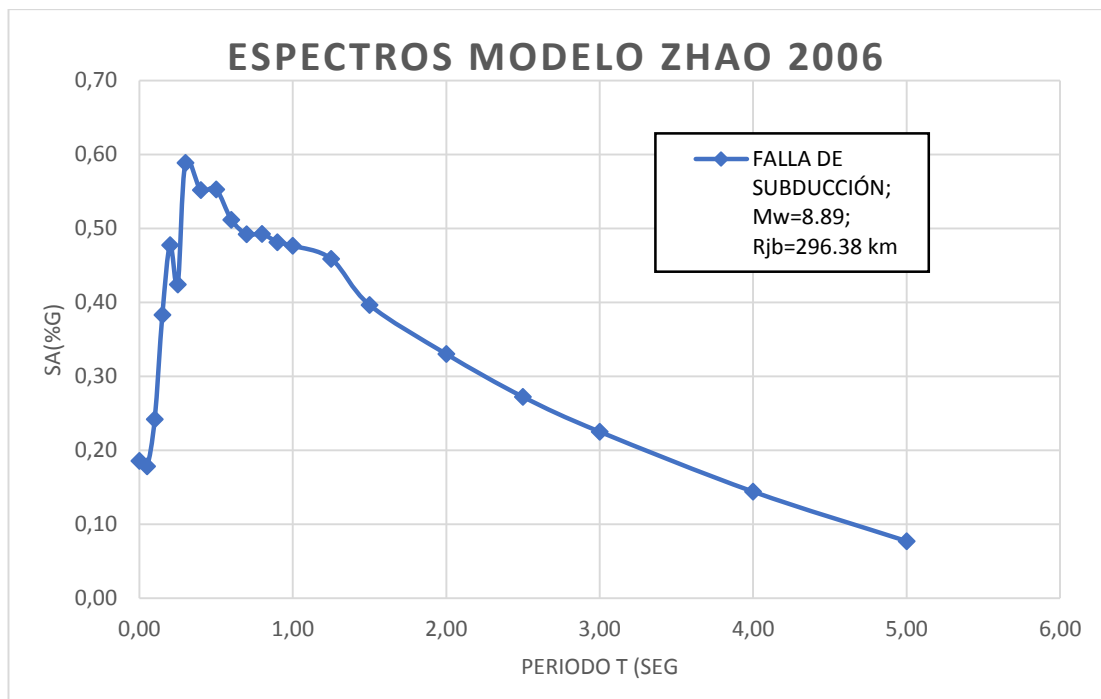
**Elaborado por:** Mayra Molina

En la figura 11 se puede observar que mientras el periodo aumenta la aceleración de la falla de subducción va creciendo, la aceleración llega hasta un valor máximo de 0.52 g en un periodo de 0.3 seg. La aceleración va decreciendo hasta llegar a un periodo de 4 seg.

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

En la figura 12 se muestra el espectro obtenido con el modelo de Zhao 2006 para la falla de subducción.

**Figura 12:** Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Zhao 2006, utilizando la falla de subducción



**Elaborado por:** Mayra Molina

En la figura 12 se puede observar que mientras el periodo aumenta la aceleración de la falla de subducción va creciendo, la aceleración llega hasta un valor máximo de 0.49 g en un periodo de 0.2 seg, después la aceleración decrece y luego vuelve a aumentar a un valor máximo de aceleración de 0.59 g en un periodo de 0.30 seg y luego la aceleración va decreciendo hasta llegar a un periodo límite de 5 seg.

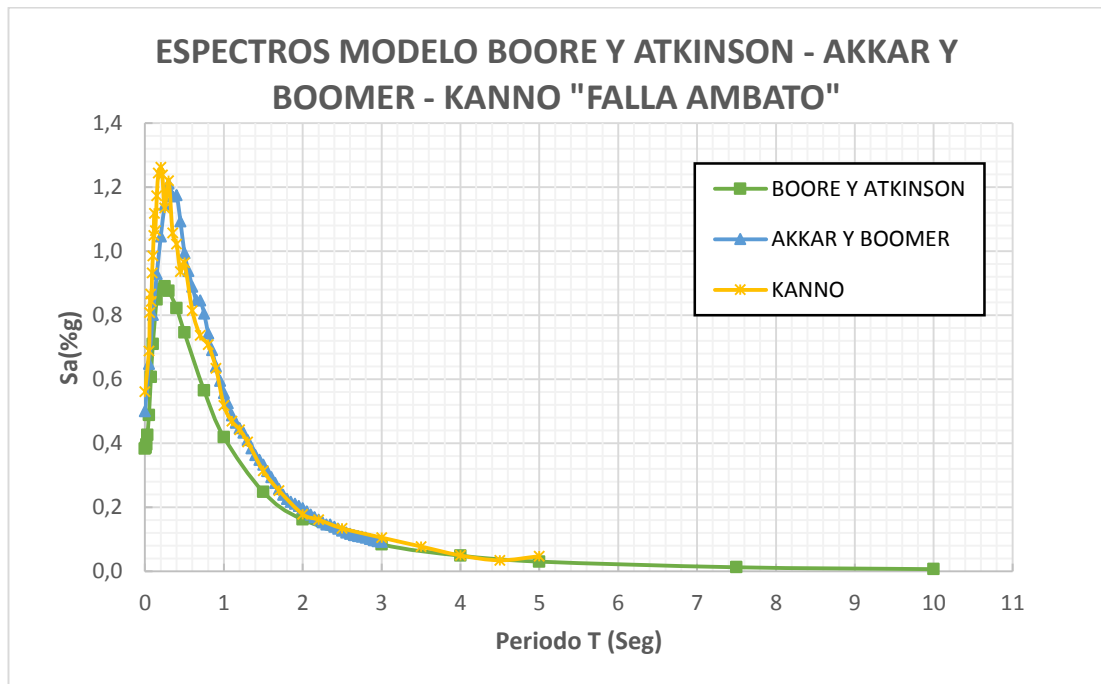


## Espectros con los modelos para una falla seleccionada

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

## Espectros con los modelos para la falla Ambato

**Figura 13:** Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Ambato



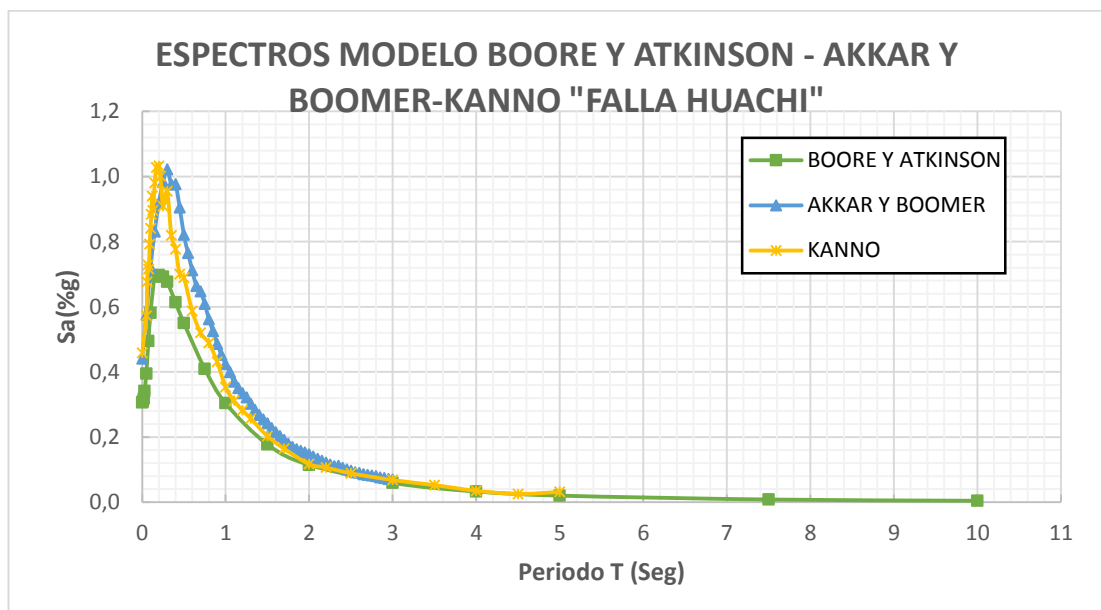
Elaborado por: Mayra Molina

En la figura 13 nos indica que el espectro del modelo Kanno es el que predomina sobre el modelo de Akkar y Boomer y este sobre el modelo de Boore y Atkinson en la falla Ambato.

Este modelo de Kanno tiene un valor máximo de aceleración de 1.28 g correspondiente a un período de 0.10 seg y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5 seg, como se observa en la gráfica.

### Espectros con los modelos para la falla Huachi

**Figura 14:** Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Huachi



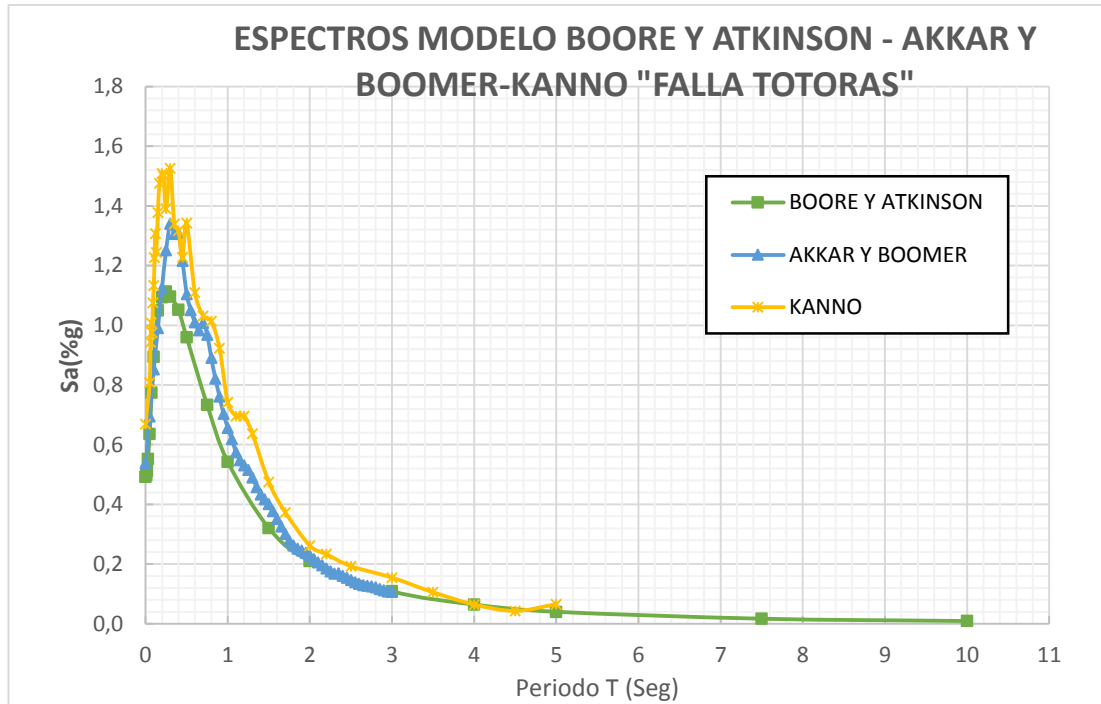
**Elaborado por:** Mayra Molina

En la figura 14 nos indica que el espectro del modelo Kanno es el que predomina sobre el modelo de Akkar y Boomer y este sobre el modelo de Boore y Atkinson en la falla Ambato.

Este modelo de Kanno tiene un valor máximo de aceleración de 1.12 g correspondiente a un período de 0.10 seg y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5 seg, como se observa en la gráfica.

## Espectros con los modelos para la falla Totoras

**Figura 15:** Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Totoras



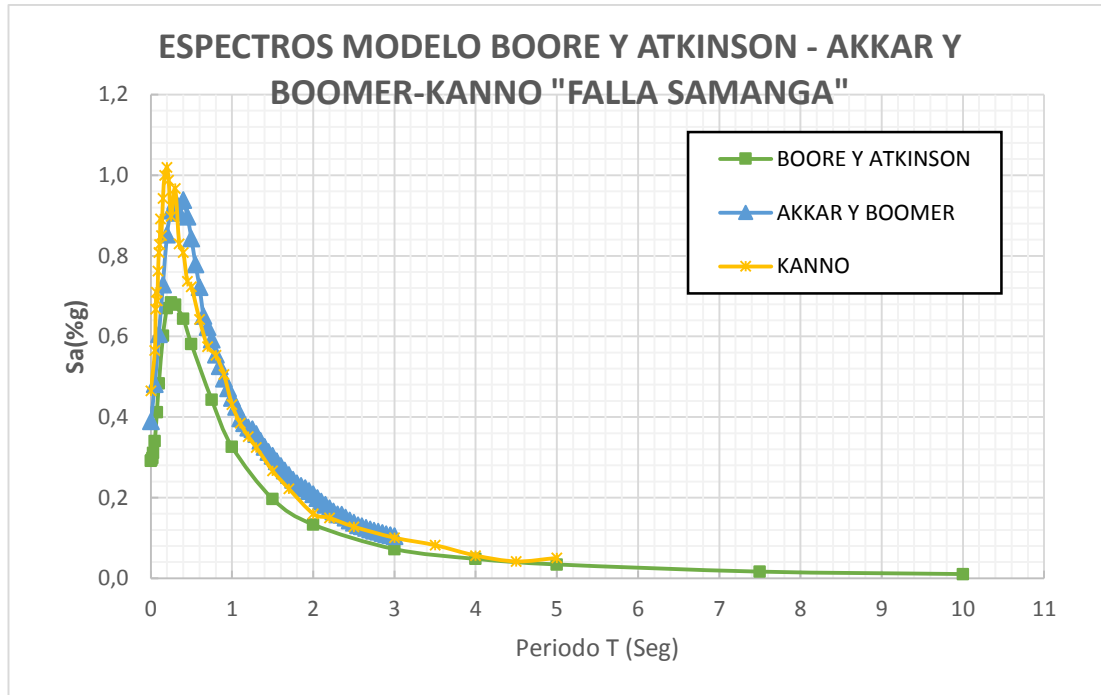
**Elaborado por:** Mayra Molina

En la figura 15 nos indica que el espectro del modelo Kanno es el que predomina sobre el modelo de Akkar y Boomer y este sobre el modelo de Boore y Atkinson en la falla Ambato.

Este modelo de Kanno tiene un valor máximo de aceleración de 1.55 g correspondiente a un período de 0.30 seg y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5 seg, como se observa en la gráfica.

## Espectros con los modelos para la falla Samanga

**Figura 16:** Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer y Kanno para la falla Samanga



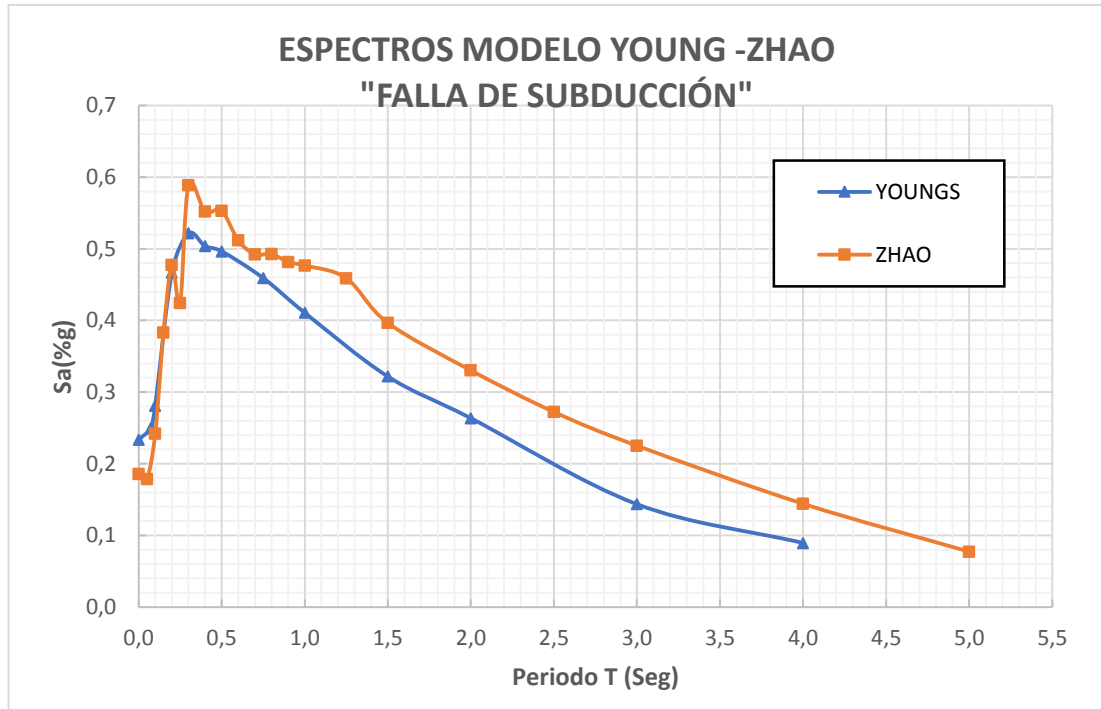
**Elaborado por:** Mayra Molina

En la figura 16 nos indica que el espectro del modelo Kanno es el que predomina sobre el modelo de Akkar y Boomer y este sobre el modelo de Boore y Atkinson en la falla Ambato.

Este modelo de Kanno tiene un valor máximo de aceleración de 1.30 g correspondiente a un período de 0.20 seg y después va decreciendo hasta llegar a un período de 5 seg, como se observa en la gráfica.

## Espectros con los modelos para la falla de Subducción

**Figura 17:** Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Young y Zhao para la falla de Subducción



**Elaborado por:** Mayra Molina

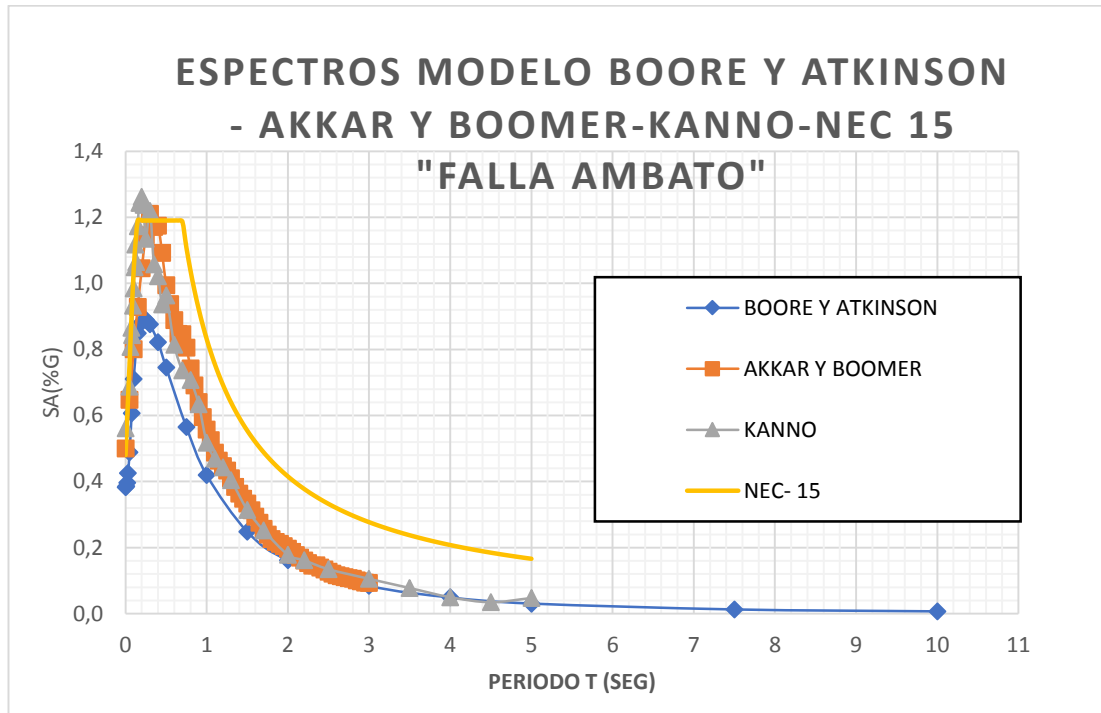
En la figura 17 nos indica que el espectro del modelo Zhao tiene una mayor aceleración, pero en los dos modelos coincide su máxima aceleración en el mismo periodo que es 0.30 seg, luego las aceleraciones bajan hasta llegar a un periodo de 4.0 seg en el modelo de Young y 5.0 seg en el de Zhao.

## Espectros con la NEC – 15

Se procede a realizar la comparación entre los espectros de los modelos establecidos para cada una de las fallas seleccionadas y el espectro de la NEC – 15.

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

**Figura 18:** Espectros de obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Ambato



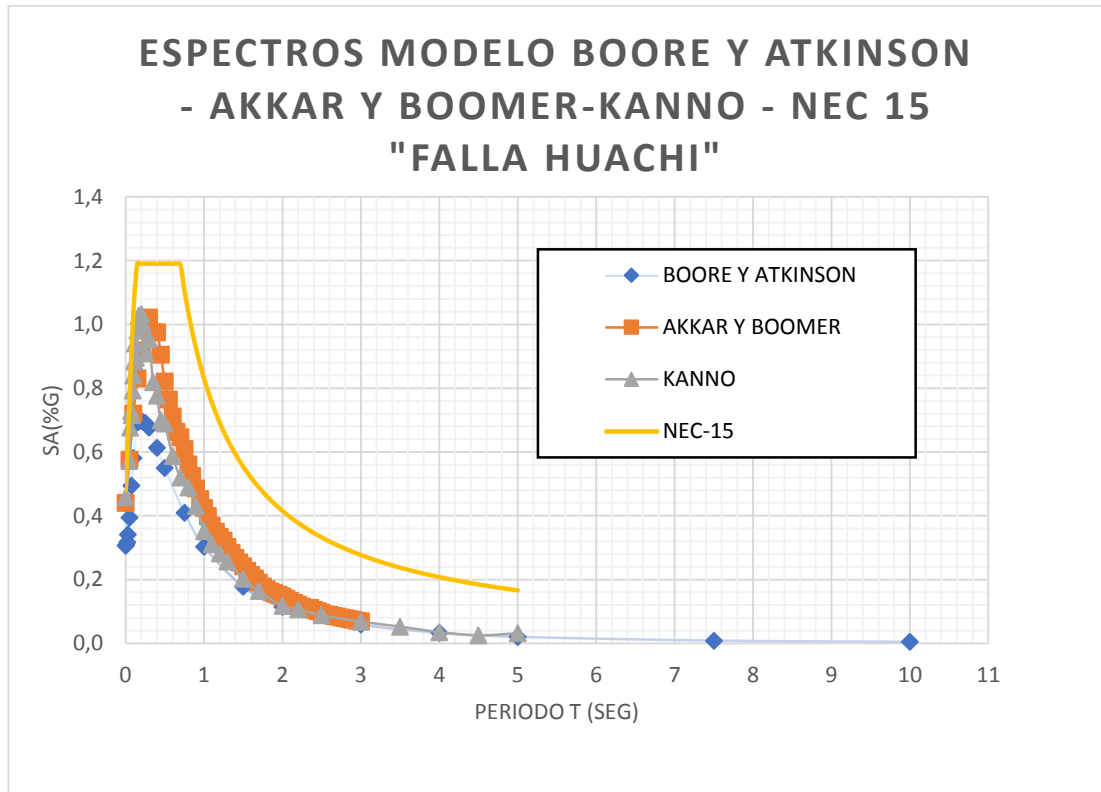
**Elaborado por:** Mayra Molina

En la figura 18 vemos que el espectro de Boore y Atkinson está dentro del rango de la aceleración del espectro de la NEC-15, y tanto el de Akkar y Boomer y Kanno sobrepasan la aceleración de la NEC-15 en un intervalo de periodo y después vuelve a estar dentro de este.

El Espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración de 1.20 g durante el periodo de 0.20 seg hasta los 0.75 seg.

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

**Figura 19:** Espectros de obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Huachi



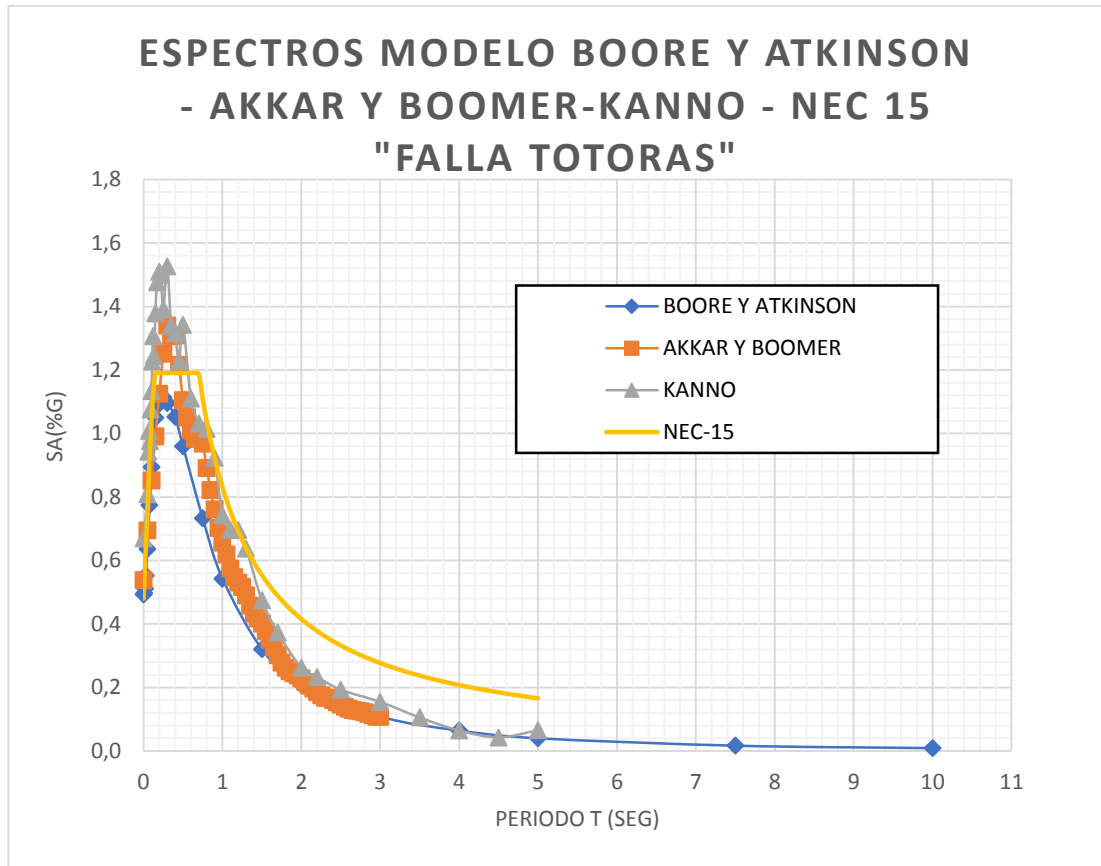
**Elaborado por:** Mayra Molina

En la figura 19 vemos que el espectro de Boore y Atkinson, el de Akkar y Boomer y Kanno, está dentro del rango de la aceleración del espectro de la NEC-15.

El Espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración de 1.20 g durante el periodo de 0.20 seg hasta los 0.75 seg.

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

**Figura 20:** Espectros de obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Totoras



**Elaborado por:** Mayra Molina

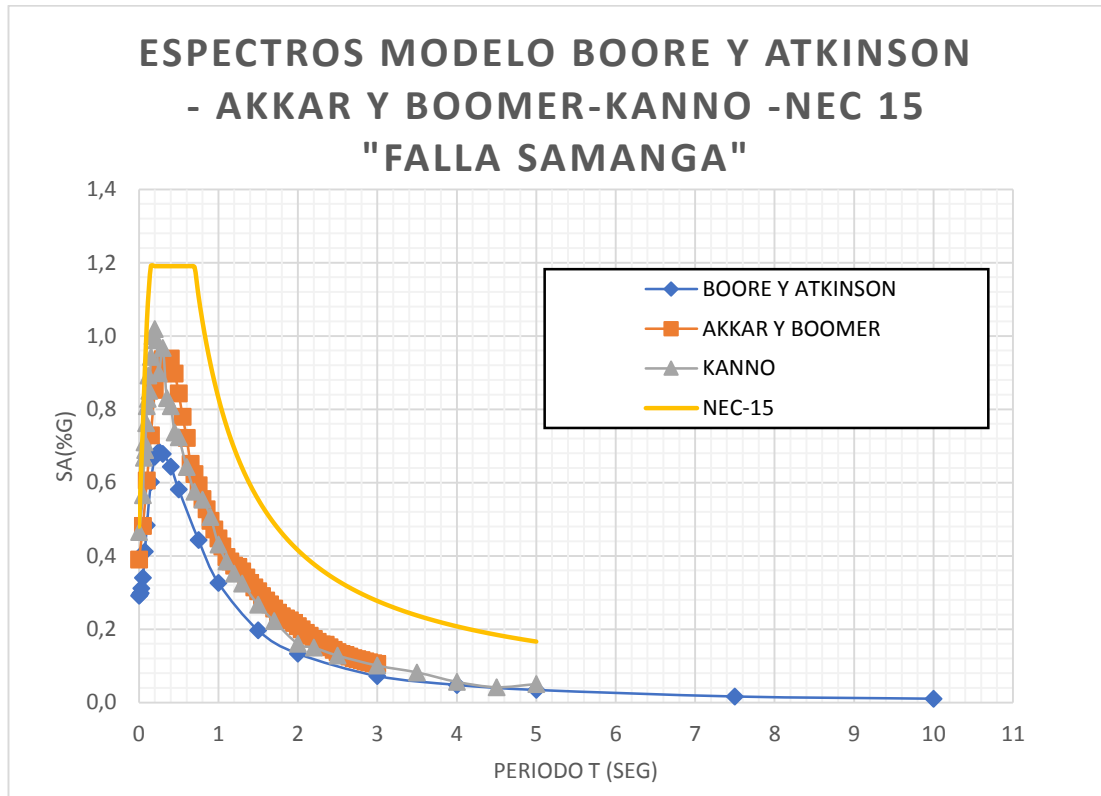
En la figura 20 vemos que el espectro de Akkar y Boomer y Kanno, sobrepasan el rango de aceleración de la NEC-15, mientras que el de Boore y Atkinson, está dentro del rango de la aceleración del espectro de la NEC-15.

El Espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración de 1.20 g durante el periodo de 0.20 seg hasta los 0.75 seg.



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

**Figura 21:** Espectros de obtenidos con el modelo (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno y NEC-15) para la falla Samanga



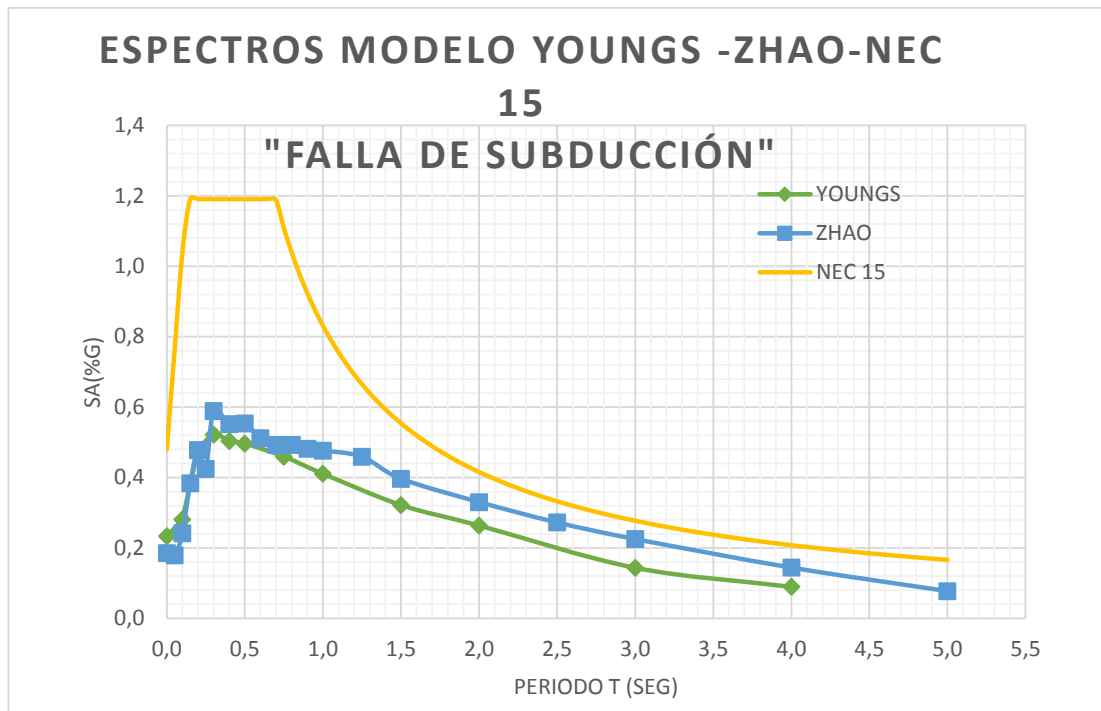
**Elaborado por:** Mayra Molina

En la figura 21 vemos que el espectro de Boore y Atkinson, el de Akkar y Boomer y Kanno, está dentro del rango de la aceleración del espectro de la NEC-15.

El Espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración de 1.20 g durante el periodo de 0.20 seg hasta los 0.75 seg.

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

**Figura 22:** Espectros de obtenidos con el modelo modelo (Young, Zhao y NEC-15) para la falla de Subducción



**Elaborado por:** Mayra Molina

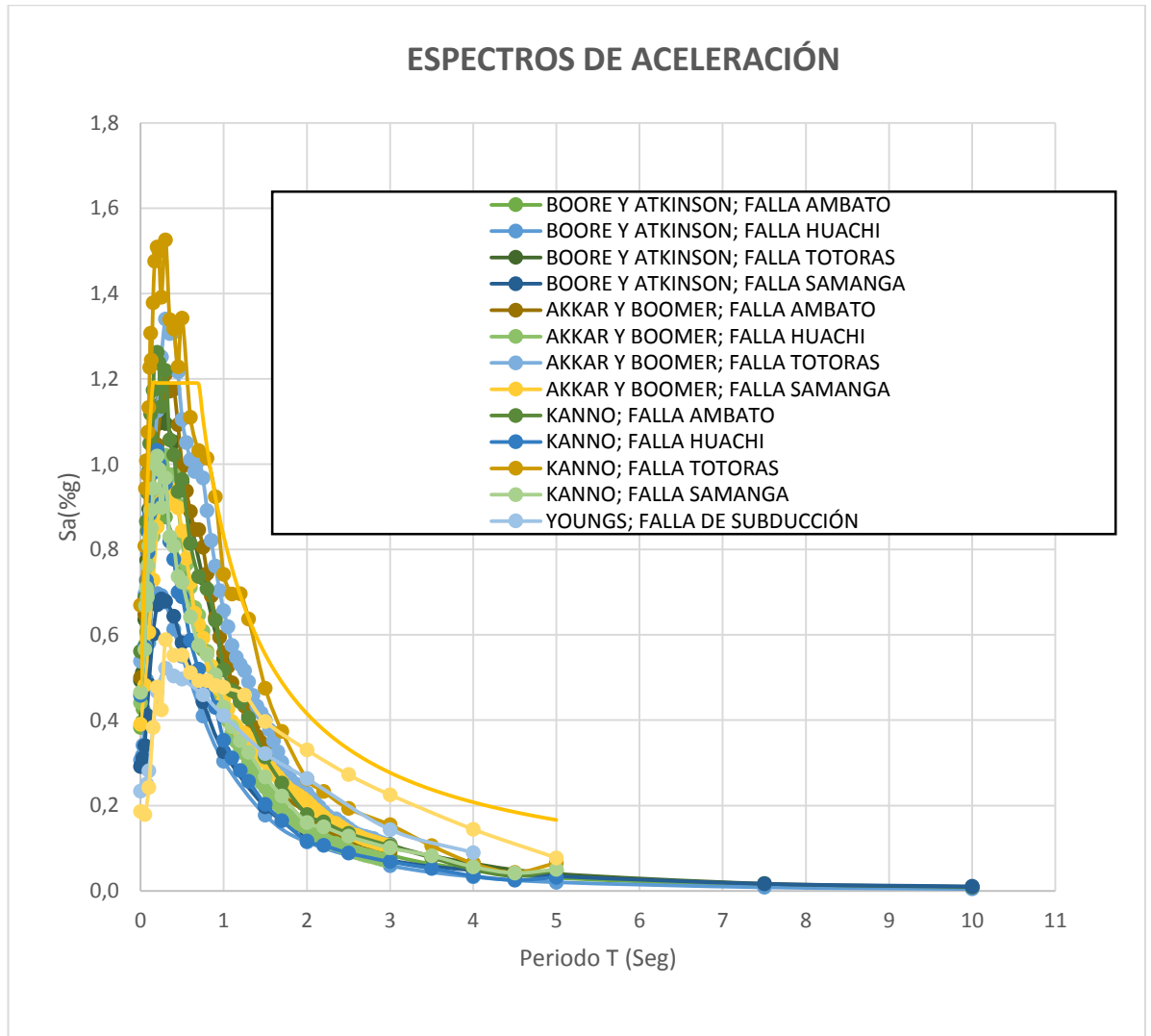
En la figura 22 vemos que el espectro de la NEC-15 sobrepasa al de Young y Zhao.

El Espectro de la NEC-15 tiene un valor de aceleración de 1.20 g durante el periodo de 0.20 seg hasta los 0.75 seg.

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

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

**Figura 23:** Espectros de aceleración obtenidos con las fallas (Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y Subducción) y los modelos (Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno, Young y Zhao), y el espectro de la NEC 15.



**Elaborado por:** Mayra Molina

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

En la figura 23 se puede observar que los espectros de las fallas corticales sobresalen en periodos cortos y afectan a estructuras de menor altura como son las de 2 a 3 pisos, al igual que los espectros generados por la falla de subducción.

### 3.1.10 Comparación del espectro determinístico con la NEC-15.

Tomamos el espectro de la NEC-15 y los valores máximos de aceleración de los modelos con cada una de las fallas(envolvente) y los comparamos.

**Tabla 31:** Valores de periodo y aceleración para la NEC – 15 y espectro determinístico

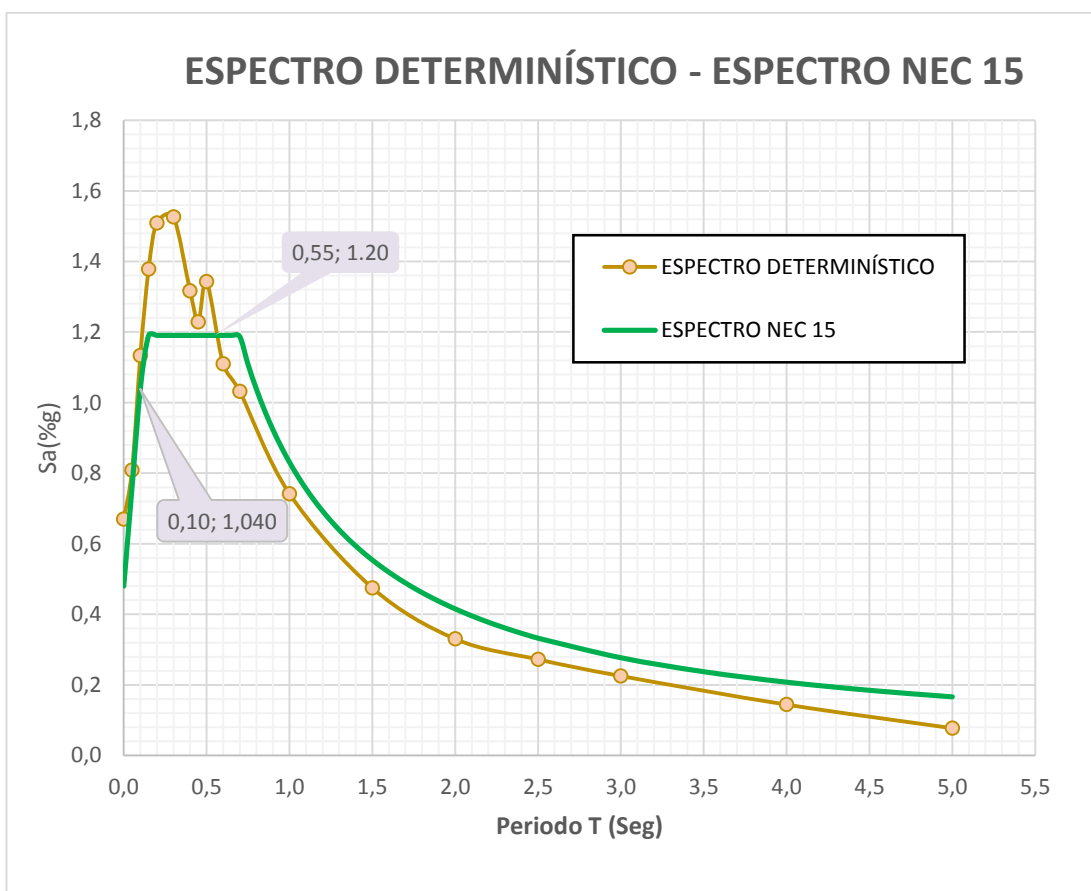
<b>T (seg)</b>	<b>NEC - 15 Sa(g)</b>	<b>DETERMINISTA Sa(g)</b>
0.00	0.480	0.670
0.05	0.760	0.808
0.10	1.040	1.133
0.15	1.190	1.379
0.20	1.190	1.509
0.25	1.190	1.391
0.30	1.190	1.526
0.35	1.190	1.339
0.40	1.190	1.317
0.45	1.190	1.228
0.50	1.190	1.343
0.55	1.190	1.051
0.60	1.190	1.110
0.65	1.190	0.983
0.70	1.187	1.032
0.75	1.108	0.968
0.80	1.039	1.014
0.85	0.978	0.821
0.90	0.923	0.923
0.95	0.875	0.703
1.00	0.831	0.742
1.05	0.791	0.619

1.10	0.756	0.696
1.15	0.723	0.547
1.20	0.693	0.696
1.25	0.665	0.516
1.30	0.639	0.637
1.35	0.616	0.458
1.40	0.594	0.433
1.45	0.573	0.417
1.50	0.554	0.475
1.55	0.536	0.377
1.60	0.519	0.351
1.65	0.504	0.326
1.70	0.489	0.374
1.75	0.475	0.279
1.80	0.462	0.262
1.85	0.449	0.252
1.90	0.437	0.245
1.95	0.426	0.238
2.00	0.416	0.330
2.05	0.405	0.217
2.10	0.396	0.206
2.15	0.387	0.196
2.20	0.378	0.233
2.25	0.369	0.176
2.30	0.361	0.168
2.35	0.354	0.169
2.40	0.346	0.160
2.45	0.339	0.154
2.50	0.332	0.272
3.00	0.277	0.225
3.50	0.237	0.106
4.00	0.208	0.144

4.50	0.185	0.043
5.00	0.166	0.077

**Elaborado por:** Maya Molina

**Figura 24:** Espectro NEC – 15 comparado con el espectro determinístico.



**Elaborado por:** Mayra Molina

Podemos observar en la figura 24 que el espectro determinístico puede llegar a una aceleración máxima de 1.54 g y es mucho mayor que la de la NEC-15 durante el periodo de 0 a 0.55 seg, y en el periodo mayor a este el de la NEC-15 tiene un espectro más crítico durante un periodo más largo sobre el espectro determinista.

### 3.1.11 Comportamiento estructural de 3 estructuras tipo del sitio de estudio

Se realizó un análisis del comportamiento estructural en el área de estudio para 3 estructuras con diferentes niveles mediante la modelación de cada una en un programa especializado, en el cual se introdujo el espectro determinístico de la zona.

#### Datos estructurales recolectados de las 3 estructuras

Se realizó un levantamiento, para obtener información de elementos estructurales como no estructurales de cada una de las viviendas, con la finalidad de conseguir una modelación lo más realista posible en el programa ETABS 2016.

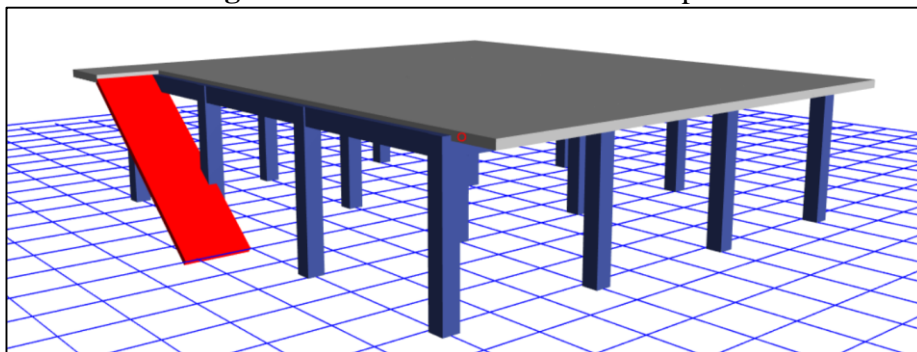
A continuación, se muestran las dimensiones de los elementos estructurales de las 3 viviendas tipo:

**Tabla 32:** Datos estructurales de las estructuras tipo

	<b>Altura Total</b>	<b>Dimensión Columnas</b>	<b>Dimensión Vigas</b>	<b>Espesor Losa</b>
<b>ESTRUCTURA DE 1 PISO</b>	2.70 m	30*30 cm	25*30 cm	20 cm
<b>ESTRUCTURA DE 2 PISOS</b>	5.10 m	35*35 cm	25*30 cm	20 cm
<b>ESTRUCTURA DE 3 PISOS</b>	7.70 m	25*30 cm	25*30 cm	20 cm

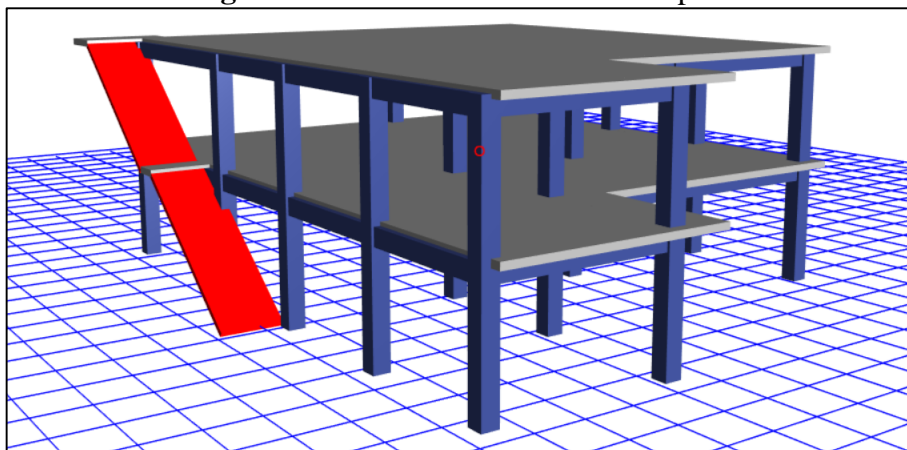
**Elaborado por:** Maya Molina

**Figura 25:** Modelado estructura de 1 piso



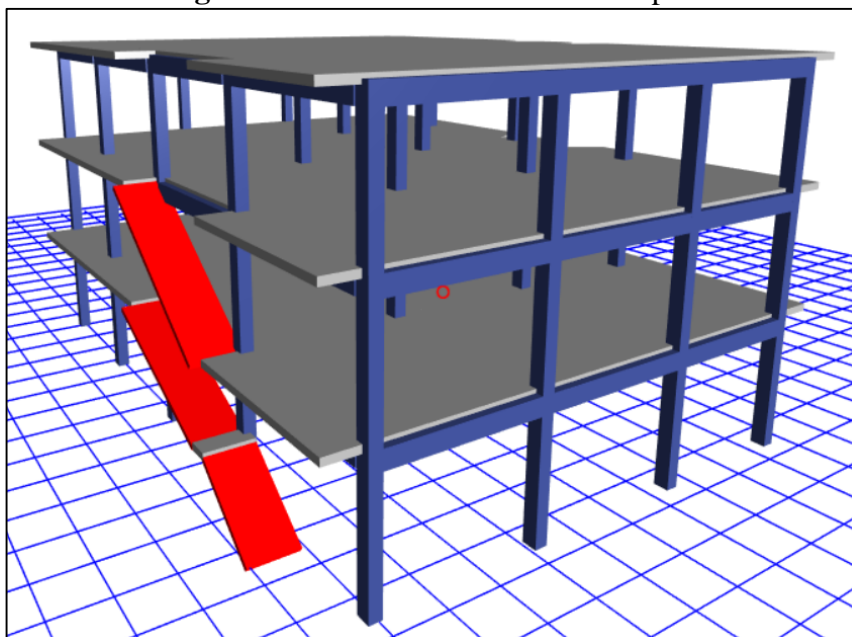
**Fuente:** ETABS 2016

**Figura 26:** Modelado estructura de 2 piso



**Fuente:** ETABS 2016

**Figura 27:** Modelado estructura de 3 piso



**Fuente:** ETABS 2016



## Espectro elástico reducido

Para analizar el comportamiento estructural se requiere ingresar el espectro reducido de la NEC-15 y del espectro determinista, este proceso se lo realizó utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde:

C = Coeficiente de reducción.

I = Factor de importancia.

Sa = Espectro de respuesta elástico de aceleración (expresado como fracción de aceleración de la gravedad).

R = Factor de reducción de resistencia sísmica.

$\phi_P$  = Coeficiente de configuración en planta.

$\phi_E$  = Coeficiente de configuración en elevación.

**Tabla 33:** Factores y Coeficientes obtenidos para la reducción de los espectros elásticos.

	<b>I</b>	<b>R</b>	$\phi_P$	$\phi_E$
<b>Estructura de 1 piso</b>	1	8	1	1
<b>Estructura de 2 pisos</b>	1	8	1	0.9
<b>Estructura de 3 pisos</b>	1	8	1	0.9

Elaborado por: Maya Molina

## Calculo de los periodos de vibración de las estructuras tipo

### Periodo Fundamental de Vibración

El periodo de vibración aproximado se calcula con la ecuación del método 1 descrita en la NEC\_SE\_DS 2015, sección 6.3.3:

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

Donde:

T = Periodo de vibración

C<sub>t</sub> = Coeficiente que depende del tipo de edificio

h<sub>n</sub> = Altura máxima de la estructura de n pisos, medida en metros

Los valores de C<sub>t</sub> y α que se utilizaron para el cálculo del periodo fundamental también se especifican en la sección 6.3.3, valores que se muestran a continuación:

**Tabla 34:** Valores C<sub>t</sub> y α

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

**Fuente:** NEC\_SE\_DS 2015

- Cálculo de T<sub>1</sub> para la estructura de 1 piso

$$T_1 = 0.055 * 2.7^{0.9}$$

$$T_1 = 0.134 \text{ seg}$$

- Cálculo de T<sub>1</sub> para la estructura de 2 pisos

$$T_1 = 0.055 * 5.1^{0.9}$$

$$T_1 = 0.238 \text{ seg}$$

- Cálculo de  $T_1$  para la estructura de 3 pisos

$$T_1 = 0.055 * 13^{0.9}$$

$$T_1 = 0.345 \text{ seg}$$

### **Periodos Límites de Vibración**

Los límites para el periodo de vibración  $T_o$  y  $T_c$  se encuentran en la sección 3.3 de la NEC\_SE\_DS 2015, y se obtienen de las siguientes ecuaciones:

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

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

### **Donde:**

$F_a$  = Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto.

$F_d$  = Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca.

$F_s$  = Comportamiento no lineal de los suelos.

$T_o$  y  $T_c$  = Periodos límite de vibración en el espectro sísmico de aceleración que representa el sismo de diseño.

Los valores de los coeficientes  $F_a$ ,  $F_d$  y  $F_s$  mostrados en la siguiente tabla, se obtuvieron tomando en cuenta la zona sísmica, el factor de zona  $Z$  y el tipo de perfil del suelo.

**Tabla 35:** Valores de Fa, Fd y Fs considerando los efectos de sitio

<b>Zona Sísmica</b>	V
<b>Valor factor Z</b>	0.40
<b>Tipo de Perfil</b>	D
<b>Fa</b>	1.2
<b>Fd</b>	1.19
<b>Fs</b>	1.28

**Fuente:** NEC\_SE\_DS 2015

- Cálculo del periodo  $T_o$

$$T_o = 0.1 * 1.28 * \frac{1.19}{1.20}$$

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

- Cálculo del periodo  $T_c$

$$T_c = 0.55 * 1.28 * \frac{1.19}{1.20}$$

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

### **Verificación del Comportamiento Estructural**

Se modeló 3 estructuras utilizando el espectro de la NEC-15 y el espectro determinístico y se realizaron verificaciones de periodo de vibración, modo de vibración de la estructura, modos necesarios para acumulación el 90% de la masa, derivas inelásticas y validación del análisis dinámico de la estructura.

## Periodo de Vibración

El periodo fundamental T<sub>2</sub> se determinó mediante un análisis modal como sugiere el método 2 de la sección 6.3.3 de la NEC\_SE\_DS 2015.

En la siguiente tabla se muestra una comparativa del valor calculado del periodo T<sub>1</sub> con el método 1 de la NEC-15 y el periodo T<sub>2</sub> obtenido con el programa ETABS 2016. Además, se verificó si estos 2 periodos se encuentran dentro de los periodos límites T<sub>o</sub> y T<sub>c</sub>.

**Tabla 36:** Valores de Periodos T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>

ESTRUCTURAS TIPO	Periodos Limite		Método 1	Método 2
	T <sub>o</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
Estructura de 1 piso	0.127	0.698	0.134	0.158
Estructura de 2 pisos	0.127	0.698	0.238	0.258
Estructura de 3 pisos	0.127	0.698	0.345	0.513

**Elaborado por:** Mayra Molina

la sección 6.3.3 – Literal (b) de la NEC\_SE\_DS 2015 establece que el valor calculado T<sub>2</sub> según el método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de T<sub>1</sub> calculado con el método 1, cumpliendo la siguiente expresión:

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

- Estructura de 1 piso

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

$$0.13 < 0.158 < 0.174$$

El valor de T<sub>2</sub> está dentro del rango establecido

- Estructura de 2 pisos

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

$$0.238 < 0.258 < 0.309$$

El valor de  $T_2$  está dentro del rango establecido

- Estructura de 3 pisos

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

$$0.345 < 0.513 > 0.449$$

El valor de  $T_2$  es mayor al rango establecido, por lo que se debe realizar una re-evaluación del cortante basal junto con las secciones de la estructura hasta que la variación de periodos sea menor o igual al 10%.

### Modos de Vibración de la Estructura

Se verifica si los 2 primeros modos de vibración son traslacionales y no rotacionales en las 2 direcciones horizontales, y que el tercer modo de vibración sea torsional.

**Tabla 37:** Valores de  $U_x$ ,  $U_y$  y  $R_z$  para la estructura de 1 piso

Modal Participating Mass Ratios						
Case	Mode	Period sec	$U_x$	$U_y$	$R_z$	
Modal	1	0,158	0,1183	0,4895	0,4031	
Modal	2	0,104	0,8376	0,1581	0,0033	
Modal	3	0,049	0,0434	0,3522	0,5935	

**Fuente:** ETABS 2016

**Tabla 38:** Valores de  $U_X$ ,  $U_Y$  y  $R_Z$  para la estructura de 2 pisos

Modal Participating Mass Ratios						
Case	Mode	Period sec	$U_X$	$U_Y$	$R_Z$	
Modal	1	0,258	0,0007	0,5302	0,3797	
Modal	2	0,225	0,8369	0,0037	0,011	
Modal	3	0,105	0,0322	0,2896	0,5202	

**Fuente:** ETABS 2016

**Tabla 39:** Valores de  $U_X$ ,  $U_Y$  y  $R_Z$  para la estructura de 3 pisos

Modal Participating Mass Ratios						
Case	Mode	Period sec	$U_X$	$U_Y$	$R_Z$	
Modal	1	0,513	0,3724	0,1346	0,4123	
Modal	2	0,448	0,0692	0,8249	0,0603	
Modal	3	0,234	0,3478	0,0004	0,3277	

**Fuente:** ETABS 2016

Para comprobar si un modo de vibración es traslacional o rotacional se emplea la siguiente expresión:

$$\frac{R_Z}{U_X; U_Y} * 100 < 30\%$$

Si el resultante es menor al 30% significa que el modo de vibración es traslacional, por otro lado, si es mayor el modo sería rotacional.

**Tabla 40:** Modos de vibración de las 3 estructuras

ESTRUCTURA DE 1 PISO				
MODOS	$U_X, U_Y$	$R_Z$	%	TIPO
1	0,4895	0,4031	82,35%	ROTACIONAL
2	0,8376	0,0033	0,40%	TRASLACIONAL

3	0,3522	0,5935	168,51%	ROTACIONAL
<b>ESTRUCTURA DE 2 PISOS</b>				
MODOS	$U_x, U_y$	$R_z$	%	TIPO
1	0,5302	0,3797	71,61%	ROTACIONAL
2	0,8369	0,011	1,31%	TRASLACIONAL
3	0,2896	0,5202	179,63	ROTACIONAL
<b>ESTRUCTURA DE 3 PISOS</b>				
MODOS	$U_x, U_y$	$R_z$	%	TIPO
1	0,3724	0,4123	110,71%	ROTACIONAL
2	0,8249	0,0603	7,31%	TRASLACIONAL
3	0,3478	0,3277	94,22%	ROTACIONAL

**Elaborado por:** Maya Molina

El primer modo de vibración en las tres estructuras es Rotacional, mientras que el segundo modo de vibración es Traslacional, eso demuestra que las estructuras disipan energía sísmica ineficientemente en el primer modo de vibración, en cambio en la dirección horizontal de su segundo modo de vibración la energía se disipa eficientemente, finalmente el tercer modo de vibración es Rotacional, que es normal en todas las estructuras.

Cabe mencionar que, estos resultados son idénticos tanto para el espectro de la NEC-15 como para el espectro determinístico.

**Modos necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones**

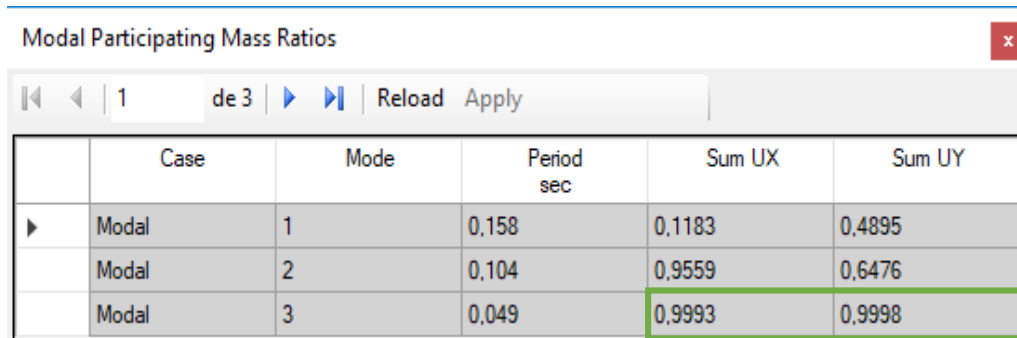


## Horizontales

Esta verificación se lo realiza para cumplir con lo especificado en la sección 6.2.2 – Literal (e) de la NEC\_SE\_DS 2015, donde especifica que, se debe considerar en el análisis:

- 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. [11]

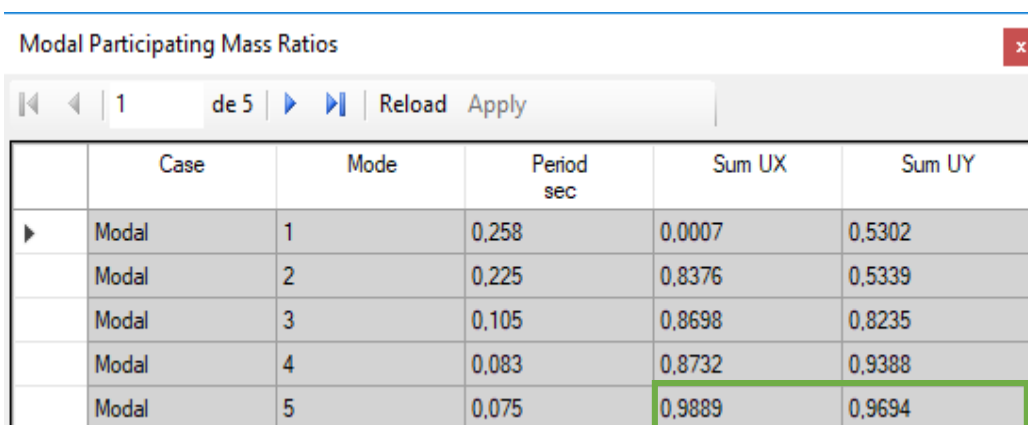
**Tabla 41:** Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en la estructura de 1 piso



	Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY
▶	Modal	1	0,158	0,1183	0,4895
	Modal	2	0,104	0,9559	0,6476
	Modal	3	0,049	0,9993	0,9998

**Fuente:** ETABS 2016

**Tabla 42:** Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en la estructura de 2 pisos



	Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY
▶	Modal	1	0,258	0,0007	0,5302
	Modal	2	0,225	0,8376	0,5339
	Modal	3	0,105	0,8698	0,8235
	Modal	4	0,083	0,8732	0,9388
	Modal	5	0,075	0,9889	0,9694

**Fuente:** Etabs 2016

**Tabla 43:** Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en la estructura de 3 pisos

Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY	
Modal	1	0,513	0,3724	0,1346	
Modal	2	0,448	0,4416	0,9595	
Modal	3	0,234	0,7894	0,9599	
Modal	4	0,177	0,7927	0,9922	
Modal	5	0,169	0,8286	0,9945	
Modal	6	0,119	0,9804	0,9945	

**Fuente:** ETABS 2016

En el siguiente cuadro, se presenta en qué modo de vibración se acumuló al menos el 90% de la masa en las 2 direcciones horizontales de cada estructura.

**Tabla 44:** Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones horizontales X y Y, para cada estructura

<b>ESTRUCTURA DE 1 PISO</b>		
MODO	Sum U <sub>X</sub>	Sum U <sub>Y</sub>
3	99,93%	99,98%
<b>ESTRUCTURA DE 2 PISOS</b>		
MODO	Sum U <sub>X</sub>	Sum U <sub>Y</sub>
5	98,89%	96,94%
<b>ESTRUCTURA DE 3 PISOS</b>		
MODO	Sum U <sub>X</sub>	Sum U <sub>Y</sub>
6	98,04%	99,45%

**Elaborado por:** Maya Molina

### Derivas de Piso (Derivas Estáticas)

Se verifica si la estructura presentará deformaciones inelásticas controlables en las direcciones horizontales, según lo dispuesto en la sección 6.3.9 de la NEC\_SE\_DS 2015.

La deriva máxima inelástica para cada estructura se calculó mediante la ecuación:

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

#### Donde:

$\Delta_M$  = Deriva máxima inelástica.

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

R = Factor de reducción de resistencia.

Se debe verificar que la deriva máxima para cualquier piso no exceda los límites de deriva inelástica establecido en la siguiente tabla:

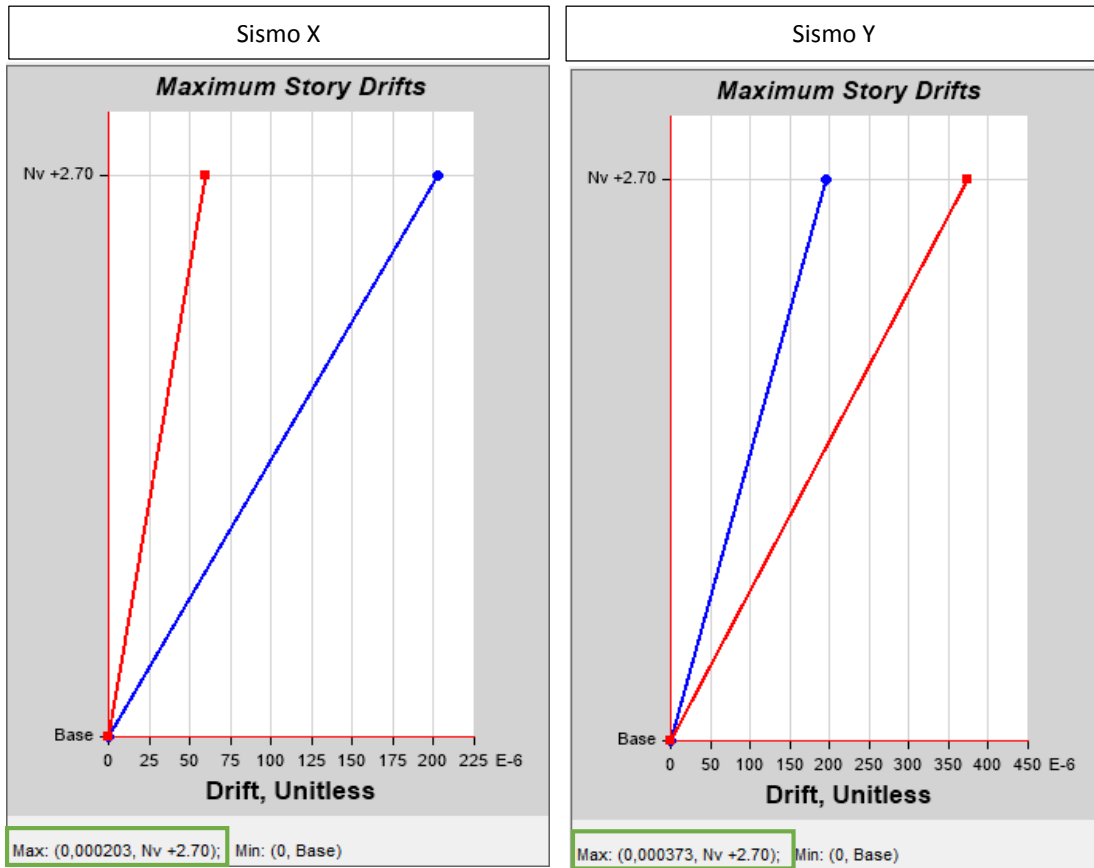
**Tabla 45:** Valores de  $\Delta_M$  máximos

<b>Estructuras de:</b>	<b><math>\Delta_M</math> máxima (sin unidad)</b>
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02

**Fuente:** NEC\_SE\_DS 2015

Los valores de las derivas estáticas obtenidas en el programa para cada estructura, se muestran en las siguientes gráficas y tablas.

**Figura 28:** Valores máximos de  $\Delta_E$  para la estructura de 1 piso



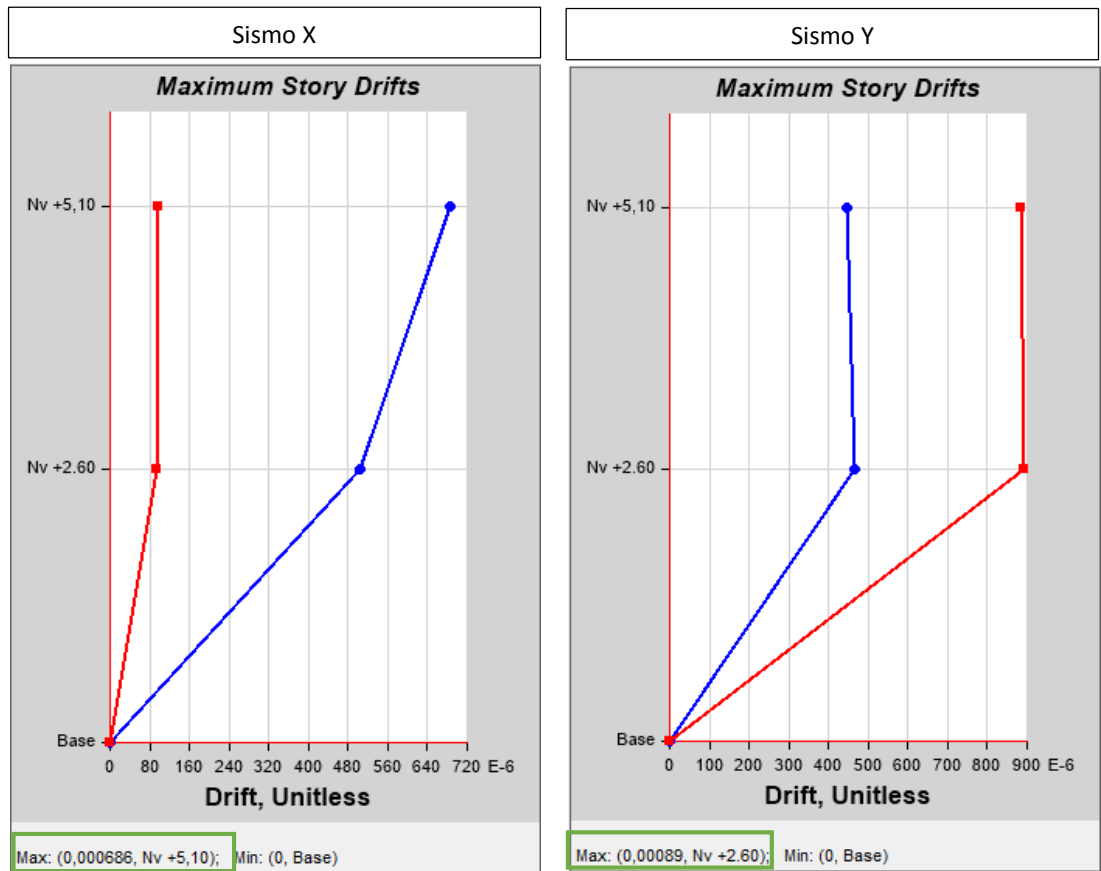
**Fuente:** ETABS 2016

**Tabla 46:** Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la estructura de 1 piso

Story Drifts				
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	
Nv +2.70	Sx	X	0,000203	
Nv +2.70	Sy	Y	0,000373	

**Fuente:** ETABS 2016

**Figura 29:** Valores máximos de  $\Delta_E$  para la estructura de 2 pisos



Fuente: ETABS 2016

**Tabla 47:** Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la estructura de 2 pisos

Story Drifts				
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	
Nv +5,10	Sx	X	0,000686	
Nv +5,10	Sy	Y	0,000886	
Nv +2.60	Sx	X	0,000506	
Nv +2.60	Sx	Y	9,4E-05	
Nv +2.60	Sy	Y	0,00089	

Fuente: ETABS 2016

**Figura 30:** Valores máximos de  $\Delta_E$  para la estructura de 3 pisos



Fuente: ETABS 2016

**Tabla 48:** Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la estructura de 3 pisos

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Nv +7,7	Sx	X	0,000147
Nv +7,7	Sy	X	5E-05
Nv +7,7	Sy	Y	8,6E-05
Nv +5,10	Sx	X	0,001104
Nv +5,10	Sx	Y	0,000686
Nv +5,10	Sy	X	0,000375
Nv +5,10	Sy	Y	0,000799
Nv +2,60	Sx	X	0,001419
Nv +2,60	Sy	Y	0,002144

Fuente: ETABS 2016

**Tabla 49:** Resumen de los valores de las derivas estáticas y derivas inelásticas calculadas en los niveles más críticos de cada estructura

<b>ESTRUCTURA DE 1 PISO</b>			
<b>SISMO X</b>		<b>SISMO Y</b>	
$\Delta_E$	$\Delta_M$	$\Delta_E$	$\Delta_M$
0,000203	<b>0,12%</b>	0,000373	<b>0,22%</b>
<b>ESTRUCTURA DE 2 PISOS</b>			
<b>SISMO X</b>		<b>SISMO Y</b>	
$\Delta_E$	$\Delta_M$	$\Delta_E$	$\Delta_M$
0,000686	<b>0,41%</b>	0,00059	<b>0,35%</b>
<b>ESTRUCTURA DE 3 PISOS</b>			
<b>SISMO X</b>		<b>SISMO Y</b>	
$\Delta_E$	$\Delta_M$	$\Delta_E$	$\Delta_M$
0,00142	<b>0,85%</b>	0,00214	<b>1,28%</b>
Los resultados son idénticos tanto para el espectro de la NEC-15 como para el espectro crítico.			

**Elaborado por:** Maya Molina

### **Análisis Dinámico**

#### **Validación del Análisis Dinámico**

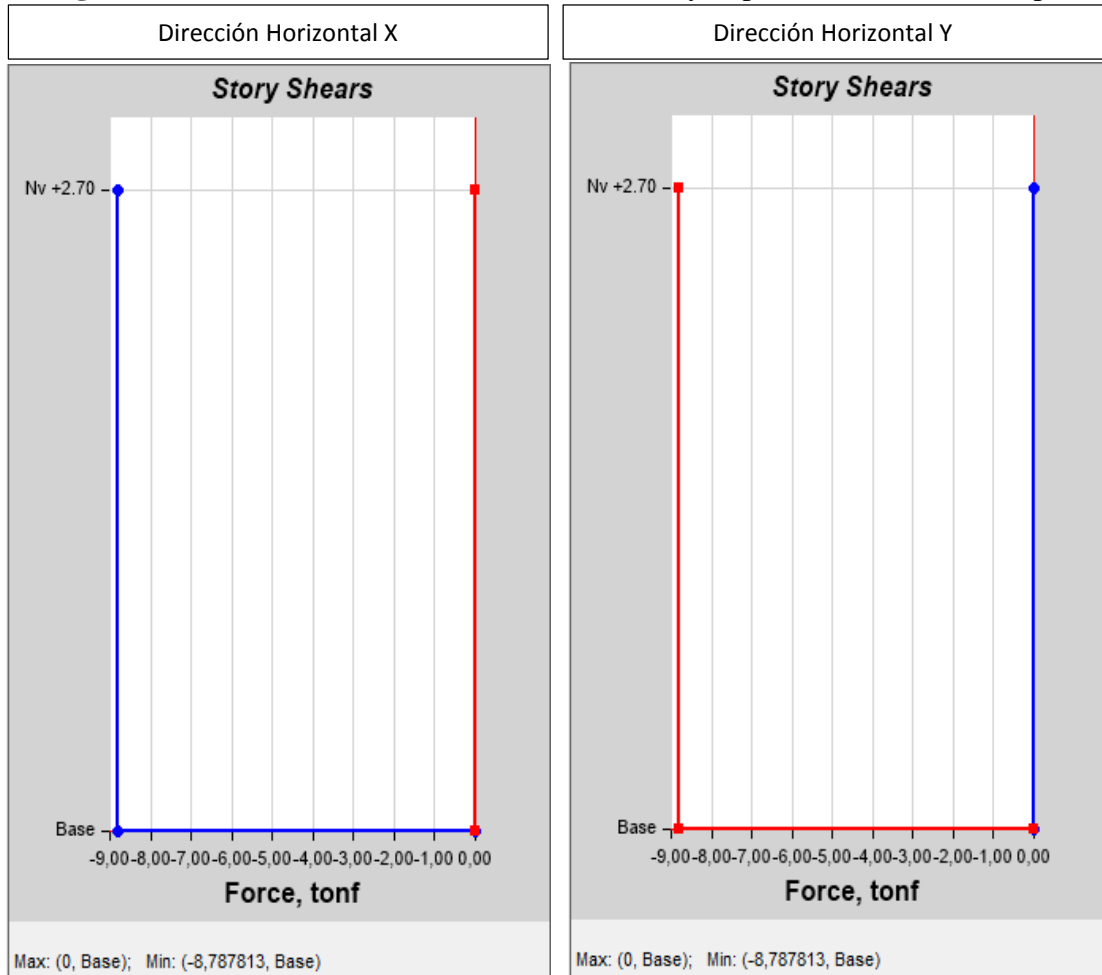
El valor del cortante dinámico total en la base, obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser:

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

**Valores de los Cortantes Estáticos y Dinámicos para la estructura de 1 piso**

**CORTANTES ESTÁTICOS**

**Figura 31:** Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 1 piso



**Fuente:** ETABS 2016

**Tabla 50:** Valores máximos de los cortantes estáticos para la estructura de 1 piso

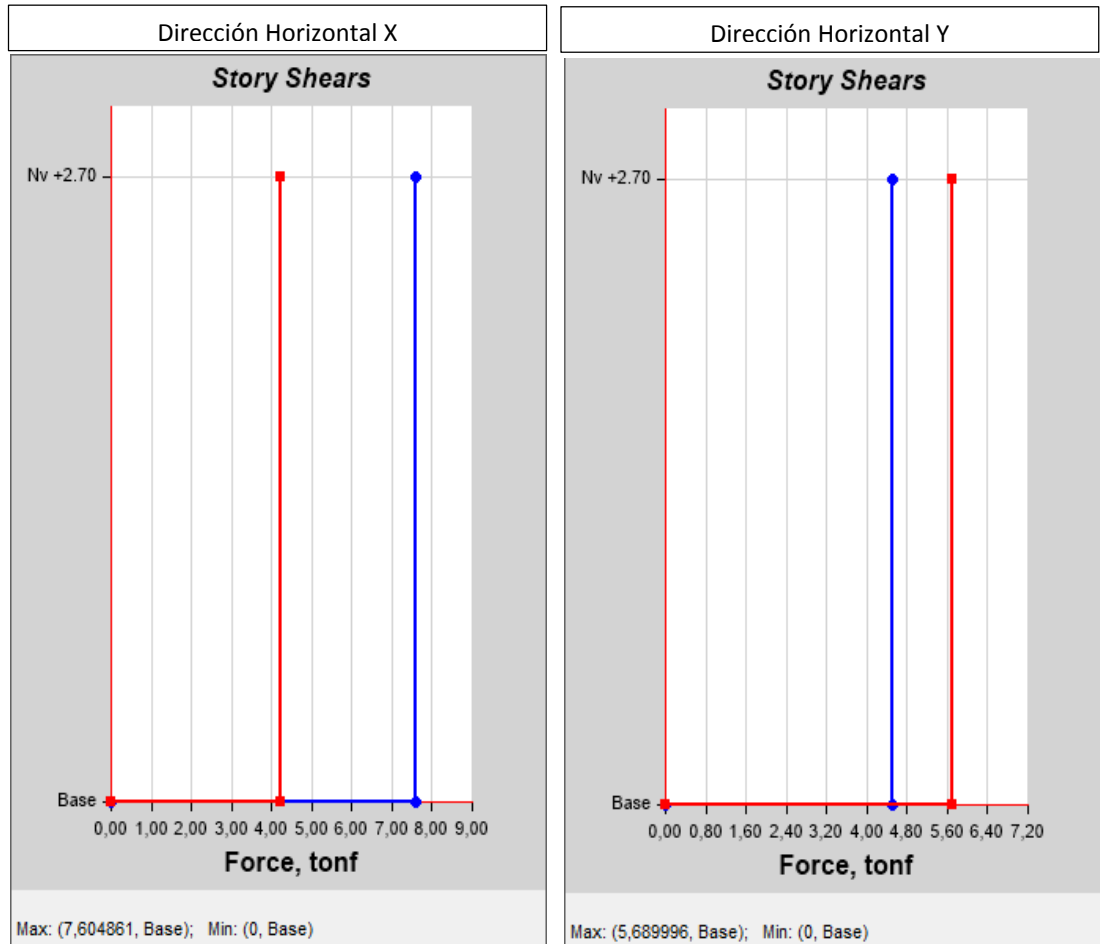
Story Stiffness				
de 2   Reload Apply Story Sti				
	Story	Load Case	Shear X tonf	Shear Y tonf
▶	Nv +2.70	Sx	8,7878	0
	Nv +2.70	Sy	0	8,7878

**Fuente:** ETABS 2016



## CORTANTES DINÁMICOS (Espectro NEC 15)

**Figura 32:** Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro reducido de la NEC-15 para la estructura de 1 piso



**Fuente:** ETABS 2016

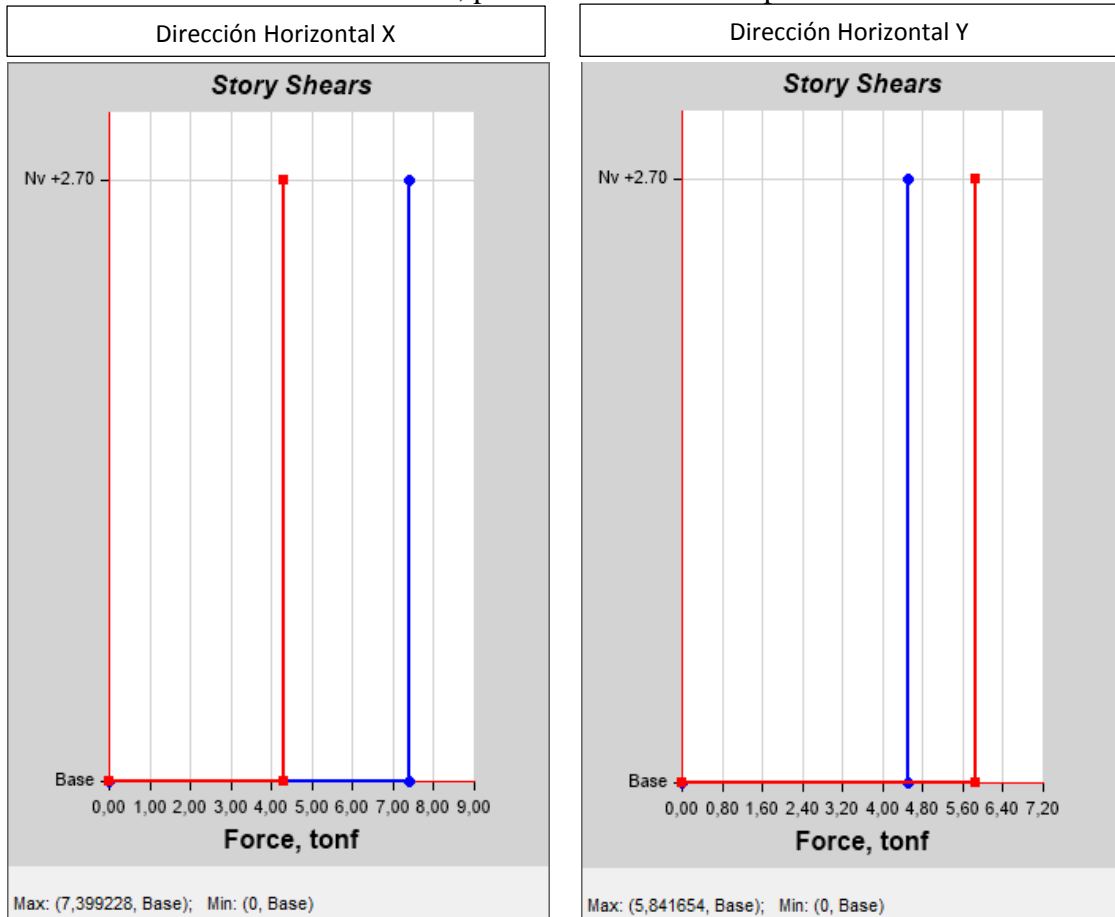
**Tabla 51:** Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro de la NEC-15 reducido, para la estructura de 1 piso

Story Forces <span style="float: right; color: red; font-weight: bold;">×</span>					
<span style="font-size: small;">                     ⏪ ⏩   1 de 4   Reload Apply                 </span> <span style="float: right; border: 1px solid gray; padding: 2px;">Story Forces</span>					
	Story	Load Case/Combo	Location	VX tonf	VY tonf
▶	Nv +2.70	Spectro X Max	Top	7,6049	4,2348
	Nv +2.70	Spectro X Max	Bottom	7,6049	4,2348
	Nv +2.70	Spectro Y Max	Top	4,4967	5,69
	Nv +2.70	Spectro Y Max	Bottom	4,4967	5,69

**Fuente:** ETABS 2016

## CORTANTES DINÁMICOS (Espectro Crítico)

**Figura 33:** Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro crítico reducido, para la estructura de 1 piso



**Fuente:** ETABS 2016

**Tabla 52:** Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro crítico reducido, para la estructura de 1 piso

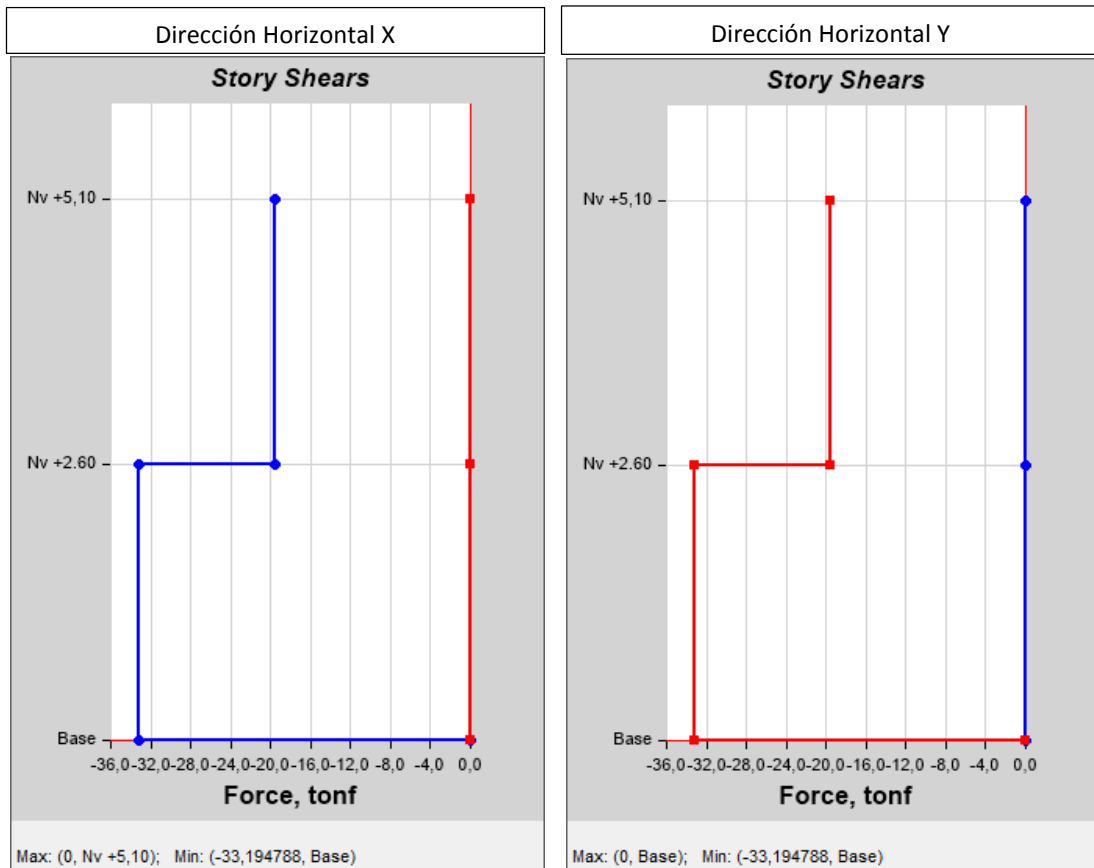
Story Forces					
Story	Load Case/Combo	Location	VX tonf	VY tonf	
Nv +2.70	Spectro X Max	Top	7,3992	4,2922	
Nv +2.70	Spectro X Max	Bottom	7,3992	4,2922	
Nv +2.70	Spectro Y Max	Top	4,5028	5,8417	
Nv +2.70	Spectro Y Max	Bottom	4,5028	5,8417	

**Fuente:** ETABS 2016

**Valores de los Cortantes Estáticos y Dinámicos para la estructura de 2 pisos**

**CORTANTES ESTÁTICOS**

**Figura 34:** Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 2 pisos



**Fuente:** ETABS 2016

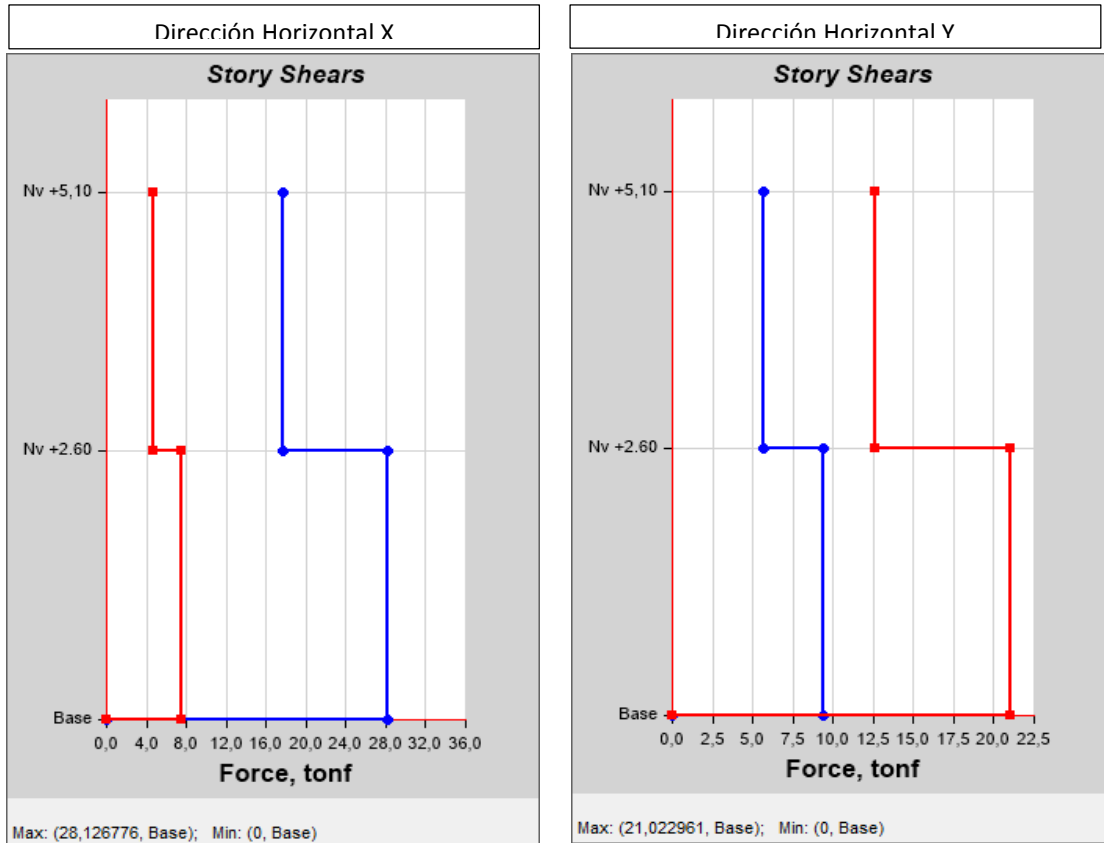
**Tabla 53:** Valores máximos de los cortantes estáticos para la estructura de 3 pisos

Story Stiffness				
	Story	Load Case	Shear X tonf	Shear Y tonf
▶	Nv +5,10	Sx	19,4979	0
	Nv +2.60	Sx	33,1948	0
	Nv +5,10	Sy	0	19,4979
	Nv +2.60	Sy	0	33,1948

**Fuente:** ETABS 2016

## CORTANTES DINÁMICOS (Espectro NEC 15)

**Figura 35:** Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro reducido de la NEC-15 para la estructura de 2 pisos



**Fuente:** ETABS 2016

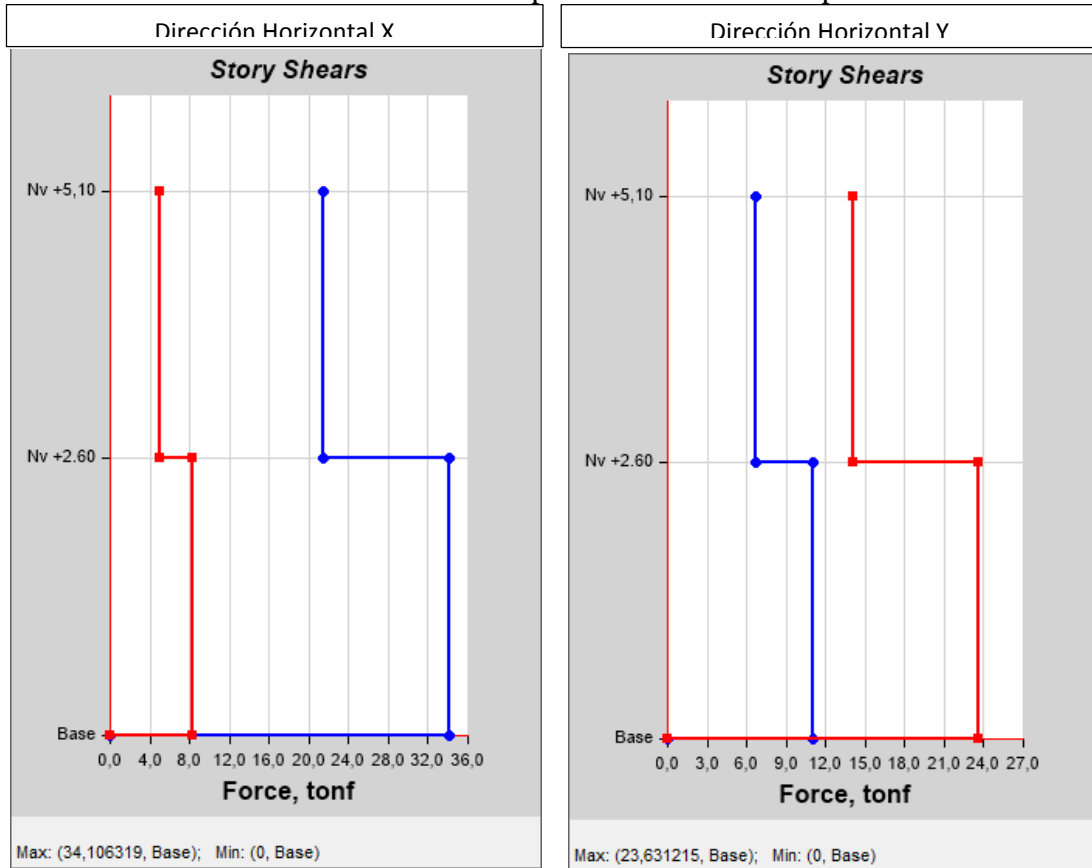
**Tabla 54:** Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro de la NEC-15 reducido, para la estructura de 3 pisos

Story Forces <span style="float: right;">x</span>					
<span style="font-size: small;">1 de 8</span>   <span style="font-size: small;">Reload Apply</span>   <span style="float: right; font-size: small;">Story Forces</span>					
	Story	Load Case/Combo	Location	VX tonf	VY tonf
▶	Nv +5,10	Spectro X Max	Top	17,7153	4,6396
	Nv +5,10	Spectro X Max	Bottom	17,7153	4,6396
	Nv +5,10	Spectro Y Max	Top	5,6958	12,6059
	Nv +5,10	Spectro Y Max	Bottom	5,6958	12,6059
	Nv +2.60	Spectro X Max	Top	28,1268	7,5663
	Nv +2.60	Spectro X Max	Bottom	28,1268	7,5663
	Nv +2.60	Spectro Y Max	Top	9,4132	21,023
	Nv +2.60	Spectro Y Max	Bottom	9,4132	21,023

**Fuente:** ETABS 2016

## CORTANTES DINÁMICOS (Espectro Crítico)

**Figura 36:** Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro determinístico reducido para la estructura de 2 pisos



**Fuente:** ETABS 2016

**Tabla 55:** Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro determinístico reducido, para la estructura de 3 pisos

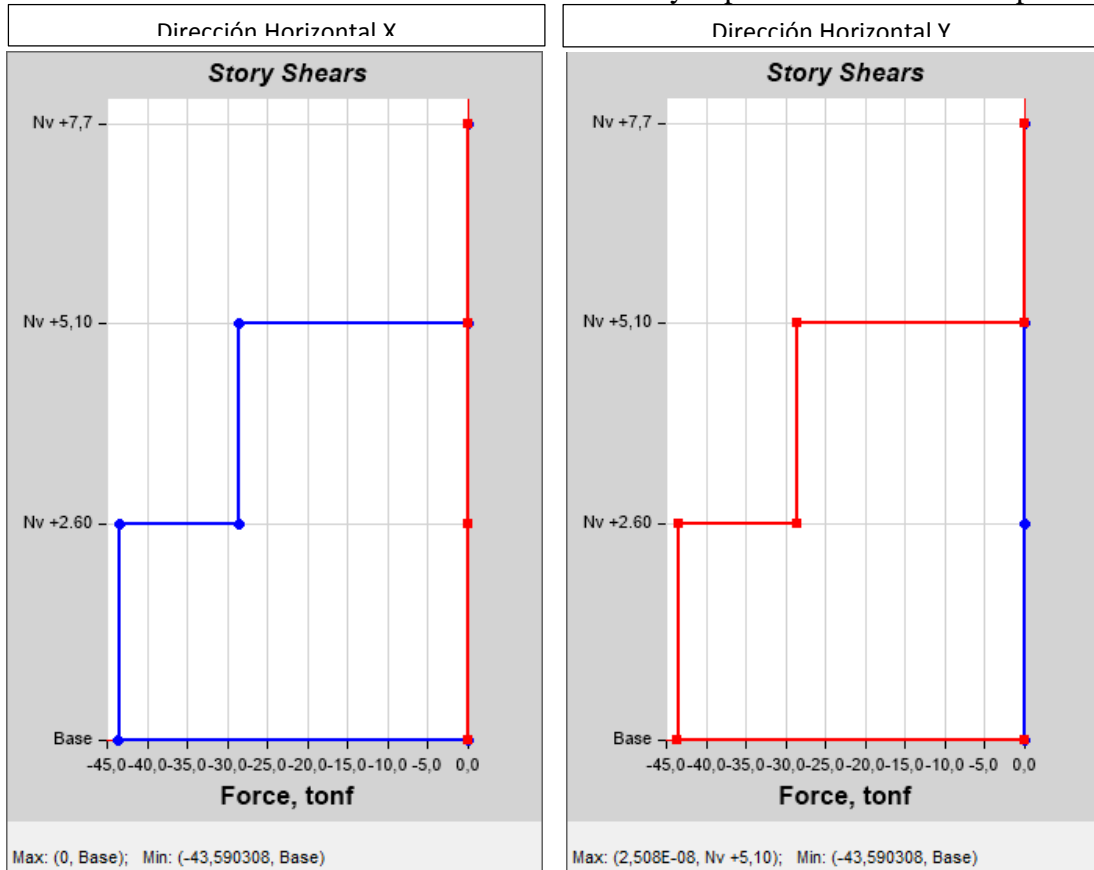
Story Forces <span style="float: right; color: red;">✕</span>					
<span style="font-size: small;">⏪ ⏩   1 de 8   Reload Apply</span> <span style="float: right; font-size: small;">Story Forces ▾</span>					
	Story	Load Case/Combo	Location	VX tonf	VY tonf
▶	Nv +5,10	Spectro X Max	Top	21,4142	5,0188
	Nv +5,10	Spectro X Max	Bottom	21,4142	5,0188
	Nv +5,10	Spectro Y Max	Top	6,7273	14,086
	Nv +5,10	Spectro Y Max	Bottom	6,7273	14,086
	Nv +2.60	Spectro X Max	Top	34,1063	8,26
	Nv +2.60	Spectro X Max	Bottom	34,1063	8,26
	Nv +2.60	Spectro Y Max	Top	11,0702	23,6312
	Nv +2.60	Spectro Y Max	Bottom	11,0702	23,6312

**Fuente:** ETABS 2016

Valores de los Cortantes Estáticos y Dinámicos para la estructura de 2 pisos

**CORTANTES ESTÁTICOS**

Gráfica 41. Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 2 pisos



Fuente: ETABS 2016

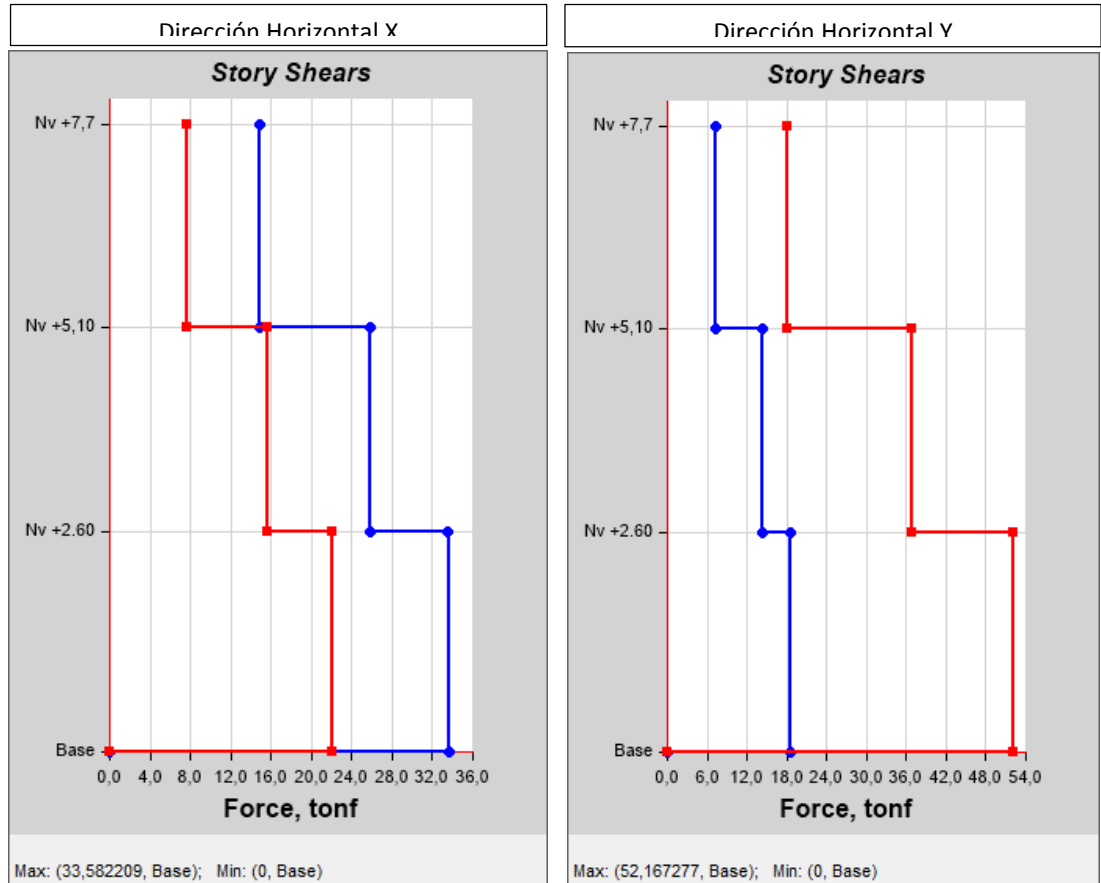
Tabla 56: Valores máximos de los cortantes estáticos para la estructura de 2 pisos

Story Stiffness				
Story	Load Case	Shear X tonf	Shear Y tonf	
Nv +7,7	Sx	0	0	
Nv +5,10	Sx	28,5733	0	
Nv +2,60	Sx	43,5903	0	
Nv +7,7	Sy	0	0	
Nv +5,10	Sy	0	28,5733	
Nv +2,60	Sy	0	43,5903	

Fuente: ETABS 2016

## CORTANTES DINÁMICOS (Espectro NEC 15)

Gráfica 42. Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro reducido de la NEC-15 para la estructura de 5 pisos



Fuente: ETABS 2016

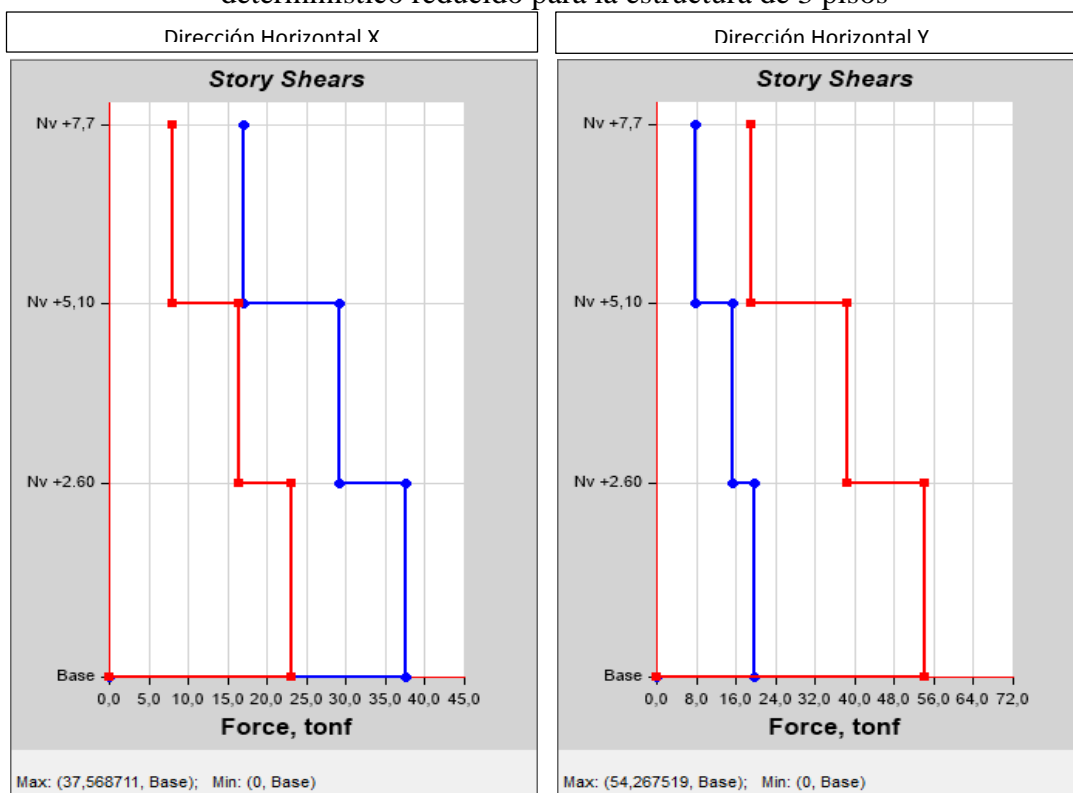
**Tabla 57:** Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro de la NEC-15 reducido, para la estructura de 3 pisos

Story Forces					
Story	Load Case/Combo	Location	VX tonf	VY tonf	
Nv +7,7	Spectro X Max	Top	14,9136	7,6312	
Nv +7,7	Spectro X Max	Bottom	14,9136	7,6312	
Nv +7,7	Spectro Y Max	Top	7,2554	18,0852	
Nv +7,7	Spectro Y Max	Bottom	7,2554	18,0852	
Nv +5,10	Spectro X Max	Top	25,7801	15,6998	
Nv +5,10	Spectro X Max	Bottom	25,7801	15,6998	
Nv +5,10	Spectro Y Max	Top	14,2267	36,8991	
Nv +5,10	Spectro Y Max	Bottom	14,2267	36,8991	
Nv +2,60	Spectro X Max	Top	33,5626	22,0096	
Nv +2,60	Spectro X Max	Bottom	33,5822	22,0235	
Nv +2,60	Spectro Y Max	Top	18,4863	52,1306	
Nv +2,60	Spectro Y Max	Bottom	18,4905	52,1673	

Fuente: ETABS 2016

## CORTANTES DINÁMICOS (Espectro Crítico)

Gráfica 43. Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro determinístico reducido para la estructura de 3 pisos



Fuente: ETABS 2016

**Tabla 58:** Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro crítico reducido, para la estructura de 5 pisos

Story Forces					
Story	Load Case/Combo	Location	VX tonf	VY tonf	
Nv +7,7	Spectro X Max	Top	17,1124	8,0317	
Nv +7,7	Spectro X Max	Bottom	17,1124	8,0317	
Nv +7,7	Spectro Y Max	Top	7,9043	18,9801	
Nv +7,7	Spectro Y Max	Bottom	7,9043	18,9801	
Nv +5,10	Spectro X Max	Top	29,0625	16,4234	
Nv +5,10	Spectro X Max	Bottom	29,0625	16,4234	
Nv +5,10	Spectro Y Max	Top	15,289	38,3812	
Nv +5,10	Spectro Y Max	Bottom	15,289	38,3812	
Nv +2.60	Spectro X Max	Top	37,5465	23,0215	
Nv +2.60	Spectro X Max	Bottom	37,5687	23,0361	
Nv +2.60	Spectro Y Max	Top	19,8175	54,2294	
Nv +2.60	Spectro Y Max	Bottom	19,8223	54,2675	

Fuente: ETABS 2016



Para realizar la verificación del análisis dinámico se utilizó la siguiente relación:

$$\frac{V_{\text{Dinámico}}}{V_{\text{Estático}}} * 100 \geq 85\%$$

Esta expresión debe ser mayor al 85% debido a que las 3 estructuras presentan formas irregulares en sus planas.

La tabla 59 muestra un resumen de los valores del cortante estático y dinámico a utilizar para la verificación del análisis dinámico de cada estructura, así como la configuración estructural de cada estructura.

**Tabla 59:** Cuadro resumen de los valores de  $V_E$  y  $V_D$

<b>ESTRUCTURA DE 1 PISO</b>						
ESPECTROS	Sentido X			Sentido Y		
	$V_{\text{Estático}}$	$V_{\text{Dinámico}}$	$V_{D/E}$	$V_{\text{Estático}}$	$V_{\text{Dinámico}}$	$V_{D/E}$
NEC-15	8,7878	7,6049	<b>86,54%</b>	8,7878	5,69	<b>64,75%</b>
CRÍTICO	8,7878	7,3992	<b>84,20%</b>	8,7878	5,84	<b>66,46%</b>
<b>ESTRUCTURA DE 2 PISOS</b>						
ESPECTROS	Sentido X			Sentido Y		
	$V_{\text{Estático}}$	$V_{\text{Dinámico}}$	$V_{D/E}$	$V_{\text{Estático}}$	$V_{\text{Dinámico}}$	$V_{D/E}$
NEC-15	33,1948	28,1268	<b>84,73%</b>	33,1948	21,023	<b>63,33%</b>
CRÍTICO	33,1948	34,1063	<b>102,75%</b>	33,1948	23,6312	<b>71,19%</b>
<b>ESTRUCTURA DE 3 PISOS</b>						
ESPECTROS	Sentido X			Sentido Y		
	$V_{\text{Estático}}$	$V_{\text{Dinámico}}$	$V_{D/E}$	$V_{\text{Estático}}$	$V_{\text{Dinámico}}$	$V_{D/E}$
NEC-15	43,5903	33,5822	<b>77,04%</b>	43,5903	22,0235	<b>50,52%</b>
CRÍTICO	43,5903	37,5687	<b>86,19%</b>	43,5903	54,2675	<b>124,49%</b>

**Elaborado por:** Maya Molina

En las 3 estructuras se puede notar una diferencia en los valores obtenidos tanto con el espectro reducido de la NEC-15 como con el espectro crítico reducido, y en ambos casos se requiere realizar un reajuste del cortante basal ya sea en una o en las dos direcciones horizontales de las 2 primeras estructuras, mientras que la estructura de 3 pisos solo requiere el reajuste en el espectro dado por la NEC-15.

### Derivas de Piso (Derivas Dinámicas)

Se comparó las derivas elásticas dinámicas obtenidas con los 2 espectros reducidos para las 3 estructuras.

Los valores de las derivas dinámicas obtenidas en el programa para cada estructura, se muestran en las siguientes tablas.

### ESTRUCTURA DE 1 PISO

**Tabla 60:** Derivas Elásticas Dinámicas (Espectro NEC-15)

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv +2.70	2.7	Top	0.000259	0.000347

**Fuente:** ETABS 2016

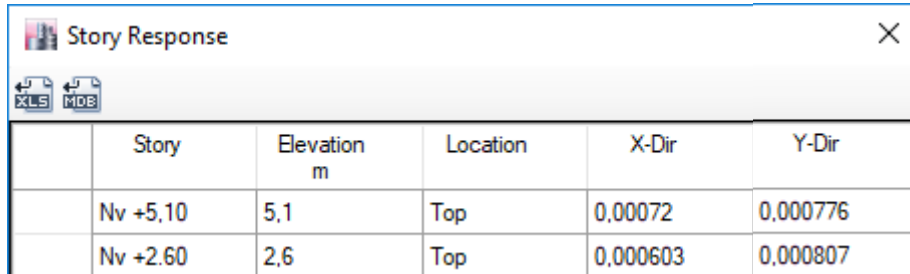
**Tabla 61:** Derivas Elásticas Dinámicas (Espectro Crítico)

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv +2.70	2.7	Top	0.0003	0.000404

**Fuente:** ETABS 2016

## ESTRUCTURA DE 2 PISOS

**Tabla 62:** Derivas Elásticas Dinámicas (Espectro NEC-15)

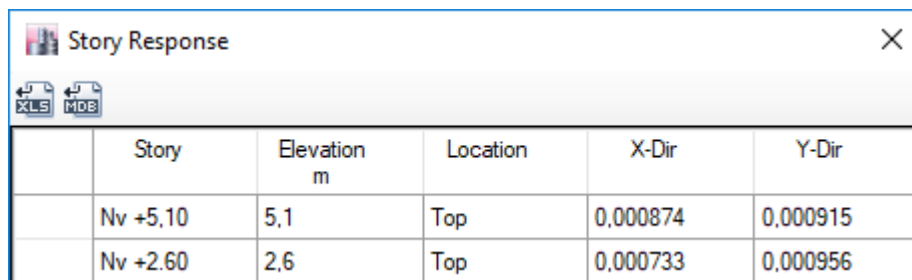


The screenshot shows a window titled "Story Response" with a close button (X) in the top right corner. Below the title bar are two icons: "XLS" and "MDB". The main content is a table with the following data:

	Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
	Nv +5.10	5.1	Top	0,00072	0,000776
	Nv +2.60	2,6	Top	0,000603	0,000807

**Fuente:** ETABS 2016

**Tabla 63:** Derivas Elásticas Dinámicas (Espectro Critico)



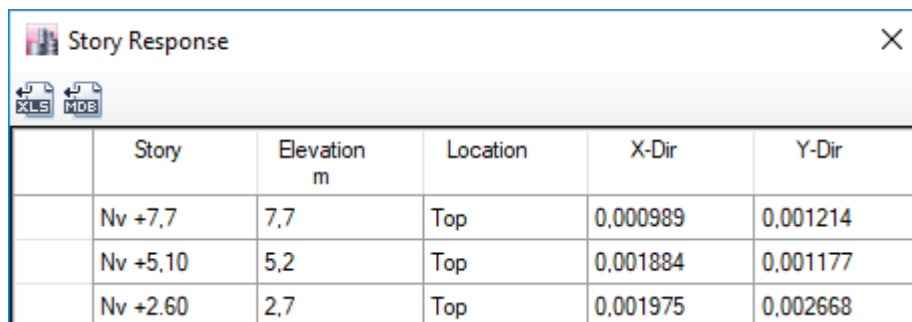
The screenshot shows a window titled "Story Response" with a close button (X) in the top right corner. Below the title bar are two icons: "XLS" and "MDB". The main content is a table with the following data:

	Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
	Nv +5.10	5.1	Top	0,000874	0,000915
	Nv +2.60	2,6	Top	0,000733	0,000956

**Fuente:** ETABS 2016

## ESTRUCTURA DE 3 PISOS

**Tabla 64:** Derivas Elásticas Dinámicas (Espectro NEC-15)



The screenshot shows a window titled "Story Response" with a close button (X) in the top right corner. Below the title bar are two icons: "XLS" and "MDB". The main content is a table with the following data:

	Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
	Nv +7,7	7,7	Top	0,000989	0,001214
	Nv +5,10	5,2	Top	0,001884	0,001177
	Nv +2,60	2,7	Top	0,001975	0,002668

**Fuente:** ETABS 2016

**Tabla 65:** Derivas Elásticas Dinámicas (Espectro Crítico)

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv +7.7	7.7	Top	0,001106	0,00127
Nv +5,10	5,2	Top	0,002016	0,00125
Nv +2.60	2,7	Top	0,002112	0,002767

**Fuente:** ETABS 2016

A continuación, se presenta un cuadro resumen con los valores de las derivas dinámicas conseguidas con el espectro de la NEC-15 y con el espectro determinístico, además de la diferencia porcentual entre estos valores.

**Tabla 66:** Derivas elásticas dinámicas obtenidas con los 2 espectros reducidos, para cada estructura tipo

ESTRUCTURA DE 1 PISO			
ESPECTRO NEC-15		ESPECTRO CRÍTICO	
Espectro X	Espectro Y	Espectro X	Espectro Y
$\Delta_E$	$\Delta_E$	$\Delta_E$	$\Delta_E$
0,000259	0,000347	0,0003	0,000404
ESTRUCTURA DE 2 PISOS			
ESPECTRO NEC-15		ESPECTRO CRÍTICO	
Espectro X	Espectro Y	Espectro X	Espectro Y
$\Delta_E$	$\Delta_E$	$\Delta_E$	$\Delta_E$
0,00072	0,000807	0,000874	0,000956
ESTRUCTURA DE 3 PISOS			
ESPECTRO NEC-15		ESPECTRO CRÍTICO	
Espectro X	Espectro Y	Espectro X	Espectro Y
$\Delta_E$	$\Delta_E$	$\Delta_E$	$\Delta_E$
0,001975	0,002668	0,002112	0,002767

**Elaborado por:** Maya Molina

En la tabla 66 se puede apreciar que existe una variación entre las derivas debido a los 2 espectros utilizados (determinista y NEC-15), por lo que se infiere que las derivas elásticas dinámicas se ven afectadas por el tipo de espectro que se ingresa al programa, teniendo mayor influencia las derivas pertenecientes al espectro crítico determinado en este estudio.

### **3.2 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS**

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

El espectro determinístico supera al espectro de la NEC-15 en un período de 0.10 seg a 0.55 seg en donde la aceleración máxima del modelo es de 1.54g, lo cual indica que las estructuras de aproximadamente 1 a 5 pisos tienen un nivel de amenaza significativa, debido a que las aceleraciones de la NEC-15 son menores a las aceleraciones esperadas con el espectro determinístico.

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

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- El espectro que generó la mayor respuesta fue el de la falla Totoras ya que esta falla presenta una distancia perpendicular a la zona de estudio de 1,14 Km siendo esta la de menor valor entre las fallas seleccionadas.
- En el área de estudio tenemos una velocidad media de onda cortante de 346.38m/s con un suelo de perfil tipo D.
- El área de estudio está comprendida por estructuras de 1 a 3 pisos de altura.
- De nuestro espectro determinista se podrán tener aceleraciones de hasta 1.54g, por lo que las estructuras en el área de estudio 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 0.55 seg.).
- Las fallas activas que se considera son Ambato con magnitud de 6.48 y distancia 2.81km, Huachi con magnitud de 6.32 y distancia 4.24km, Totoras con magnitud de 6.55 y distancia 1.14km, Samanga con magnitud de 6.85 y distancia 8.44km, y la falla de subducción con magnitud de 8.89 y distancia 296.38km, siendo la falla Totoras la de mayor peligro por encontrarse más cercana al área de estudio.

- Durante un periodo de 0.1seg a 0.55seg, el espectro determinista supera al espectro de la NEC 2105, con una aceleración máxima de 1.54g que representa una variación del 22.08% con respecto al NEC 2015. Con esto se determina que este espectro afecta a las estructuras de baja altura.
- Las estructuras no presentan un buen comportamiento con el primer modo de vibración, el cual debería ser traslacional y no rotacional.
- El periodo de vibración de la estructura de 3 pisos 0.513(T2) no está dentro del rango establecido  $T_1 \leq T_2 \leq 1.3T_1$  -  $0.345 < 0.513 > 0.449$
- Las derivas de piso en el análisis estático y dinámico están dentro de los rangos permitidos que son del 2%.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

- En las estructuras existentes se aconseja ejecutar la evaluación de comportamiento estructural en base al espectro determinista obtenido.
- Se recomienda que para las estructuras que serán construidas en el área de estudio, se utilice un espectro determinista, y verificar con el de la NEC 2015.
- Es de vital importancia contar con un mapa de zonificación sísmica donde se diferencien las diversas zonas de alto peligro sísmico, de esta manera se evitaría futuros desastres.
- Las ecuaciones de predicción de movimiento de suelo se encuentran constantemente actualizándose debido al incremento de los riesgos que existen en las estaciones sismológicas, por ende, se recomienda actualizar este tipo de investigaciones utilizando nuevos coeficientes

## C. MATERIALES DE REFERENCIA

### 1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Norma Ecuatoriana de la Construcción,» de NEC, 2015.
- [2] F. Cobos, El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi, Ambato, 2015.
- [3] D. Quizanga, «Espectros específicos para la ciudad de Quito en función de fallas ciegas inversas,» Politecnica Nacional, 2015. [En línea]. Available: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved>. [Último acceso: 22 enero 2018].
- [4] O. Oscar, «“Sismo tectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador”,» O. Oscar, “Sismo tectónica y peligrosida Tesis de Master, Universidad Complutense de Madrid, Madrid., [En línea]. Available: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf>. [Último acceso: 22 Enero 2018].
- [5] Notimerica, «El cinturón de fuego del pacifico, la amenaza sísmica de iberoamericana,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.notimerica.com/sociedad/noticia-cinturon-fuego-pacifico-amenaza-sismica-iberoamerica-20160418163956.html>. [Último acceso: 22 Enero 2018].
- [6] La Hora, «Ambato Necesita identificar zonas de alto riesgo,» 2002. [En línea]. Available: <https://lahora.com.ec/noticia/1000077460/ambato-necesita-identificar-zonas-de-alto-riesgo>. [Último acceso: 23 Enero 2018].
- [7] observatorio-ambato.blogspot.com., «¿Qué impacto de vulnerabilidad sísmica tiene Ambato?,» 2010. [En línea]. Available: [http://observatorio-ambato.blogspot.com/2010/03/blog-post\\_18.html](http://observatorio-ambato.blogspot.com/2010/03/blog-post_18.html). [Último acceso: 23 enero 2018].
- [8] L. Alva, Del Instante de la Creacion a la Formacion Y Estructura de la Tierra, Mexico: UNAM, 2005.



- [9] OXFORD, Diccionario de ciencias de la tierra, España - Madrid: Complutense, 2000, p. 736.
- [10] P. & W. Gass, Introducción a las ciencias de la tierra, España: Reverte, 1980.
- [11] H. Ramírez, Geografía General: Un enfoque interactivo para bachilleres, Mexico: Grupo Editorial Patria, 2015.
- [12] GMPE, «Movimientos del suelo ecuación de predicción,» [En línea]. Available: <https://www.globalquakemodel.org/what/>. [Último acceso: 23 Enero 2018].
- [13] B. Benito y L. Cabañas, «Revisión de modelos de movimiento fuerte del suelo y aplicación a la predicción de espectros de respuesta,» [En línea]. Available: [http://redgeomatica.rediris.es/sismo/pdf/pub\\_029.pdf](http://redgeomatica.rediris.es/sismo/pdf/pub_029.pdf). [Último acceso: 23 enero 2018].
- [14] INEN, «NTE INEN 0689,» [En línea]. Available: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0689.1982.pdf>. [Último acceso: 02 Julio 2018].
- [15] D. (. Gautam, «Correlación empírica entre la resistencia a la penetración estándar no corregida (N) y la velocidad de la onda de corte (Vs) para el Valle de Katmandú, Nepal.,» [En línea]. Available: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19475705.2016.1243588?needAccess=true>. [Último acceso: 02 Julio 2018].
- [16] I. & M. M. (. Pérez-Santisteban, «Correlaciones Empíricas entre la velocidad de propagación de las ondas S (Vs) y otros parámetros geotectónicos para los suelos de Madrid,» [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Alfonso\\_Munoz-Martin/publication/2338](https://www.researchgate.net/profile/Alfonso_Munoz-Martin/publication/2338). [Último acceso: 02 Julio 2018].
- [17] C. S. N.-U. d. Chile, «Sismicidad y Terremotos en Chile.,» [En línea]. Available: [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). [Último acceso: 06 Julio 2018].

[18] D. A. G. (. Boore, «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]. Available: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWA>. [Último acceso: 07 Julio 2018].

[19] S. B. J. (. Akkar, «Ecuaciones empíricas para la predicción de PGA, PGV y aceleraciones espectrales en Europa, la región mediterránea y Oriente Medio.,» [En línea]. Available: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWA13hnzW5flbESek5QhU>. [Último acceso: 08 Julio 2018].

[20] e. a. (. Kanno, «Una nueva relación de atenuación para el movimiento de tierra fuerte en Japón en base a los datos registrados,» [En línea]. Available: Kanno, et al. (2006). Una nueva relación de atenuación [https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWA13hn1IXV4-eIrg40\\_L](https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWA13hn1IXV4-eIrg40_L). [Último acceso: 09 Julio 2018].

[21] S. (. Youngs. R. Chiou, «Relaciones de atenuación de movimiento en el suelo para los terremotos de la zona de subducción,» [En línea]. Available: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWA13hn4gnM77MzaKiUEd>. [Último acceso: 10 julio 2018].

[22] e. a. (. Zhao, «Relaciones de atenuación del movimiento del suelo fuerte en Japón usando la clasificación del sitio basada en el período predominante.,» [En línea]. Available: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWA13hn8sIjIBi8cjpGfy>. [Último acceso: 11 Julio 2018].

## 2. ANEXOS

### ANEXO A: FOTOGRAFÍAS



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



Fotografía 2: Ensayo de penetración estándar (SPT).





Fotografía 3: Ensayo de penetración estándar (SPT).



Fotografía 4: Tamices utilizados para determinar la granulometría (Laboratorios FICM).



Fotografía 5: Muestra tamizada (Laboratorios FICM).





Fotografía 6: Estructura de 2 pisos ubicada en el lugar de estudio.



Fotografía 7: Estructura de 3 pisos ubicada en el lugar de estudio.

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

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

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

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

<b>PERÍODO</b>	<b>c 1</b>	<b>c 2</b>	<b>c 3</b>	<b>h</b>
0.010	-0.66220	0.12000	-0.01151	1.35
0.020	-0.66600	0.12280	-0.01151	1.35
0.030	-0.69010	0.12830	-0.01151	1.35
0.050	-0.71700	0.13170	-0.01151	1.35
0.075	-0.72050	0.12370	-0.01151	1.55
0.10	-0.70810	0.11170	-0.01151	1.68
0.15	-0.69610	0.09884	-0.01113	1.86
0.20	-0.58300	0.04273	-0.00952	1.98
0.25	-0.57260	0.02977	-0.00837	2.07
0.30	-0.55430	0.01955	-0.00750	2.14
0.40	-0.64430	0.04394	-0.00626	2.24
0.50	-0.69140	0.06080	-0.00540	2.32
0.75	-0.74080	0.07518	-0.00409	2.46
1.0	-0.81830	0.10270	-0.00334	2.54
1.5	-0.83030	0.09793	-0.00255	2.66
2.0	-0.82850	0.09432	-0.00217	2.73
3.0	-0.78440	0.07282	-0.00191	2.83
4.0	-0.68540	0.03758	-0.00191	2.89
5.0	-0.50960	-0.02391	-0.00191	2.93
7.5	-0.37240	-0.06568	-0.00191	3.00
10.0	-0.09824	-0.13800	-0.00191	3.04

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



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

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

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

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

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

TABLE 1 (continued)												
Coefficients of Equations 1 and 2 for Prediction of Pseudo-Spectral Accelerations												
<i>T</i>	<i>b</i> <sub>1</sub>	<i>b</i> <sub>2</sub>	<i>b</i> <sub>3</sub>	<i>b</i> <sub>4</sub>	<i>b</i> <sub>5</sub>	<i>b</i> <sub>6</sub>	<i>b</i> <sub>7</sub>	<i>b</i> <sub>8</sub>	<i>b</i> <sub>9</sub>	<i>b</i> <sub>10</sub>	$\sigma_1$	$\sigma_2$
2.35	-7.94704	2.85328	-0.18539	-1.57428	0.09077	7.61956	0.32071	0.14321	-0.04963	-0.02342	0.2815	0.1632
2.40	-7.96679	2.85363	-0.18561	-1.57833	0.09288	7.59643	0.31801	0.14301	-0.04910	-0.02570	0.2826	0.1645
2.45	-7.97878	2.84900	-0.18527	-1.57728	0.09428	7.50338	0.31401	0.14324	-0.04812	-0.02643	0.2825	0.1665
2.50	-7.88403	2.81817	-0.18320	-1.60381	0.09887	7.53947	0.31104	0.14332	-0.04710	-0.02769	0.2818	0.1681
2.55	-7.68101	2.75720	-0.17905	-1.65212	0.10680	7.61893	0.30875	0.14343	-0.04607	-0.02819	0.2818	0.1688
2.60	-7.72574	2.82043	-0.18717	-1.88782	0.14049	8.12248	0.31122	0.14255	-0.05106	-0.02966	0.2838	0.1741
2.65	-7.53288	2.74824	-0.18142	-1.89525	0.14356	7.92236	0.30935	0.14223	-0.05024	-0.02930	0.2845	0.1759
2.70	-7.41587	2.69012	-0.17632	-1.87041	0.14283	7.49999	0.30688	0.14074	-0.04887	-0.02963	0.2854	0.1772
2.75	-7.34541	2.65352	-0.17313	-1.86079	0.14340	7.26668	0.30635	0.14052	-0.04743	-0.02919	0.2862	0.1783
2.80	-7.24561	2.61028	-0.16951	-1.85612	0.14444	7.11861	0.30534	0.13923	-0.04731	-0.02751	0.2867	0.1794
2.85	-7.07107	2.56123	-0.16616	-1.90422	0.15127	7.36277	0.30508	0.13933	-0.04522	-0.02776	0.2869	0.1788
2.90	-6.99332	2.52699	-0.16303	-1.89704	0.15039	7.45038	0.30362	0.13776	-0.04203	-0.02615	0.2874	0.1784
2.95	-6.95669	2.51006	-0.16142	-1.90132	0.15081	7.60234	0.29987	0.13584	-0.03863	-0.02487	0.2872	0.1783
3.00	-6.92924	2.45899	-0.15513	-1.76801	0.13314	7.21950	0.29772	0.13198	-0.03855	-0.02469	0.2876	0.1785

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

**ANEXO D-2:** Coeficientes de regresión para el modelo de eventos superficiales de PGA, PGV y espectros de respuesta de aceleración amortiguada del 5%. Modelo Kanno (2006).

PERÍODO	a1	b1	c1	d1	ε1	p	q
0	0,56	-0,0031	0,26	0,0055	0,37	-0,55	1,35
0,05	0,54	-0,0035	0,48	0,0061	0,37	-0,32	0,80
0,06	0,54	-0,0037	0,57	0,0065	0,38	-0,26	0,65
0,07	0,53	-0,0039	0,67	0,0066	0,38	-0,24	0,60
0,08	0,52	-0,004	0,75	0,0069	0,39	-0,26	0,64
0,09	0,52	-0,0041	0,8	0,0071	0,4	-0,29	0,72
0,1	0,52	-0,0041	0,85	0,0073	0,4	-0,32	0,78
0,11	0,5	-0,004	0,96	0,0061	0,4	-0,35	0,84
0,12	0,51	-0,004	0,93	0,0062	0,4	-0,39	0,94
0,13	0,51	-0,0039	0,91	0,0062	0,4	-0,43	1,04
0,15	0,52	-0,0038	0,89	0,006	0,41	-0,53	1,28
0,17	0,53	-0,0037	0,84	0,0056	0,41	-0,61	1,47
0,2	0,54	-0,0034	0,76	0,0053	0,4	-0,68	1,65
0,22	0,54	-0,0032	0,73	0,0048	0,4	-0,72	1,74
0,25	0,54	-0,0029	0,66	0,0044	0,4	-0,75	1,82
0,3	0,56	-0,0026	0,51	0,0039	0,39	-0,80	1,96
0,35	0,56	-0,0024	0,42	0,0036	0,4	-0,85	2,09
0,4	0,58	-0,0021	0,26	0,0033	0,4	-0,87	2,13
0,45	0,59	-0,0019	0,13	0,003	0,41	-0,89	2,18
0,5	0,59	-0,0016	0,04	0,0022	0,41	-0,91	2,25

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

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

**ANEXO E-1:** Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral (5% de amortiguación) para sismos de subducción. Modelo Youngs (1997).

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

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

**ANEXO F:** Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria. Modelo Zhao (2006)

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

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

**ANEXO F-1:** Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción. Modelo Zhao (2006).

CH	C1	C2	C3	C4	Ck	$\sigma$	$\tau$	$\sigma T$
0,293	1,111	1,344	1,355	1,420	1,355	0,604	0,398	0,723
0,939	1,684	1,793	1,747	1,814	1,747	0,640	0,444	0,779
1,499	2,061	2,135	2,031	2,082	2,031	0,694	0,490	0,849
1,462	1,916	2,168	2,052	2,113	2,052	0,702	0,460	0,839
1,280	1,669	2,085	2,001	2,030	2,001	0,692	0,423	0,811
1,121	1,468	1,942	1,941	1,937	1,941	0,682	0,391	0,786
0,852	1,172	1,683	1,808	1,770	1,808	0,670	0,379	0,770
0,365	0,655	1,127	1,482	1,397	1,482	0,659	0,390	0,766

-0,207	0,071	0,515	0,934	0,955	0,934	0,653	0,389	0,760
-0,705	-0,429	-0,003	0,394	0,559	0,394	0,653	0,401	0,766
-1,144	-0,866	-0,449	-0,111	0,188	-0,111	0,652	0,408	0,769
-1,609	-1,325	-0,928	-0,620	-0,246	-0,620	0,647	0,418	0,770
-2,023	-1,732	-1,349	-1,066	-0,643	-1,066	0,653	0,411	0,771
-2,451	-2,152	-1,776	-1,523	-1,084	-1,523	0,657	0,410	0,775
-3,243	-2,923	-2,542	-2,327	-1,936	-2,327	0,660	0,402	0,773
-3,888	-3,548	-3,169	-2,979	-2,661	-2,979	0,664	0,408	0,779
-4,783	-4,410	-4,039	-3,871	-3,640	-3,871	0,669	0,414	0,787
-5,444	-5,049	-4,698	-4,496	-4,341	-4,496	0,671	0,411	0,786
-5,839	-5,431	-5,089	-4,893	-4,758	-4,893	0,667	0,396	0,776
-6,598	-6,181	-5,882	-5,698	-5,588	-5,698	0,647	0,382	0,751
-6,752	-6,347	-6,051	-5,873	-5,798	-5,873	0,643	0,377	0,745

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