



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL**

**TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

**Tema:**

---

**“ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR HUACHI LORETO UBICADO EN LA AVENIDA LAS AMÉRICAS, AVENIDA DEL REY, AVENIDA BOLIVARIANA Y CAMINO DEL REY”**

---

**AUTORA:** Talía Alexandra Cevallos Pilco

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

**Ambato - Ecuador**

**2018**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

YO, Ing. Mg. Santiago Medina, certifico que el presente trabajo bajo el tema: ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR HUACHI LORETO UBICADO EN LA AVENIDA LAS AMÉRICAS, AVENIDA DEL REY, AVENIDA BOLIVARIANA Y CAMINO DEL REY, es de autoría de la Srta. Talía Alexandra Cevallos Pilco, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, mayo del 2018

---

Ing. Mg. Santiago Medina

## **AUTORÍA**

Yo, Talía Alexandra Cevallos Pilco con C.I: 180437528-3, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR HUACHI LORETO UBICADO EN LA AVENIDA LAS AMÉRICAS, AVENIDA DEL REY, AVENIDA BOLIVARIANA Y CAMINO DEL REY, es de mi completa autoría.

Ambato, mayo del 2018

---

Talía Alexandra Cevallos Pilco

## **DERECHOS DE AUTOR**

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

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

Ambato, mayo del 2018

Autor

---

Talía Alexandra Cevallos Pilco

180437528-3

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR HUACHI LORETO UBICADO EN LA AVENIDA LAS AMÉRICAS, AVENIDA DEL REY, AVENIDA BOLIVARIANA Y CAMINO DEL REY”, de la egresada Talía Alexandra Cevallos Pilco, de la Facultad de ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, mayo del 2018

Para constancia firman

---

Ing. Mg. Carlos Navarro.

---

Ing. Mg. Maritza Ureña.

## **DEDICATORIA**

A Dios por haberme dado la oportunidad de vivir y luchar cada sueño y propósito que me he planteado.

A mis padres Germán y Maritza que siempre han sido mi apoyo incondicional y ejemplo a seguir.

A mis hermanos Kevin y Belén que con su amor infinito me han acompañado en todo momento.

A mi familia quienes han sabido ser un pilar fundamental a lo largo de mi vida brindándome su apoyo y confianza.

Talía.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por regalarme la vida y las fuerzas para seguir adelante cumpliendo mis sueños.

A mis padres que desde siempre con su inmenso amor me apoyaron y tuvieron las palabras indicadas para mostrarme el camino y las decisiones correctas que debía seguir.

A mis tíos Luis y María que siempre me brindaron su apoyo incondicional.

A mi familia por sus consejos y palabras de aliento, que han sido motor fundamental para nunca rendirme.

A Diego por apoyarme incondicionalmente en todo momento.

A la Universidad Técnica de Ambato por haberme permitido formar parte de tan grandiosa institución y por las facilidades brindadas para la ejecución de esta investigación.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por permitirme alcanzar la mejor decisión que he tomado en mi vida, ser Ingeniera Civil.

Al Ing. Mg. Santiago Medina que con sus vastos conocimientos impartidos contribuyó durante mi formación profesional y por el tiempo dedicado a la realización y culminación de este trabajo de investigación.

Talía.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### A. PÁGINAS PRELIMINARES

<b>PORTADA</b> .....	<b>I</b>
<b>CERTIFICACIÓN DEL TUTOR</b> .....	<b>II</b>
<b>AUTORÍA</b> .....	<b>III</b>
<b>DERECHOS DE AUTOR</b> .....	<b>IV</b>
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO</b> .....	<b>V</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>VI</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	<b>XVI</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	<b>XVIII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XIX</b>

### B. CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>XIX</b>
<b>1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4. OBJETIVOS</b> .....	<b>5</b>
1.4.1.    Objetivo General.....	<b>5</b>
1.4.2.    Objetivos Específicos.....	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>6</b>
2.1.1.    Capas de la Tierra.....	<b>6</b>
2.1.2.    Tectónica de Placas.....	<b>9</b>
2.1.3.    Tipos de Fallas.....	<b>14</b>
2.1.4.    Ondas Sísmicas.....	<b>17</b>
2.1.5.    Tipos de Terremotos.....	<b>20</b>
2.1.6.    Peligro Sísmico.....	<b>22</b>



2.1.7.	Zonas Sísmicas del Ecuador.....	25
2.1.8.	Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (GMPE's).....	30
2.1.9.	Metodología de Diseño Sismorresistente.....	36
<b>2.2.</b>	<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.</b>	<b>SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....</b>	<b>41</b>
2.3.1.	Variable Dependiente.....	41
2.3.2.	Variable Independiente.....	41
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>42</b>
<b>3.1.</b>	<b>NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA.....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.</b>	<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....</b>	<b>47</b>
3.3.1.	Variable Independiente.....	47
3.3.2.	Variable Dependiente.....	48
<b>3.4.</b>	<b>PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>49</b>
<b>3.5.</b>	<b>PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....</b>	<b>50</b>
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>51</b>
<b>4.1.</b>	<b>RECOLECCIÓN DE DATOS.....</b>	<b>51</b>
4.1.1.	Régimen Tectónico.....	51
4.1.2.	Selección de las Fallas Geológicas.....	57
4.1.3.	Caracterización del Suelo.....	62
4.1.4.	Velocidad Media de Onda de Cortante ( $V_{S30}$ ).....	81
4.1.5.	Ecuaciones de Atenuación para Régimen Cortical Intraplaca.....	91
4.1.6.	Ecuaciones de Atenuación para Régimen de Subducción.....	102
<b>4.2.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>111</b>
4.2.1.	Magnitud de Momento Sísmico.....	111
4.2.2.	Cálculo de Espectros.....	113
4.2.3.	Espectros de todos los modelos comparados con la NEC-15.....	135
4.2.4.	Espectro Determinista a partir de una envolvente de aceleraciones comparado con la NEC-15.....	136
4.2.5.	Evaluación del comportamiento estructural de las estructuras tipo en el sitio de análisis.....	138
<b>4.3.</b>	<b>VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....</b>	<b>183</b>

<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>184</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>184</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>188</b>
<b>C. MATERIALES DE REFERENCIA.</b>	
<b>1. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>189</b>
<b>2. ANEXOS.....</b>	<b>197</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura de la Tierra. ....	6
<b>Figura 2.</b> Supercontinente Pangea.....	9
<b>Figura 3.</b> Mosaico de las placas rígidas de la Tierra y los tipos de Límites. ....	10
<b>Figura 4.</b> Subducción de Placas. ....	11
<b>Figura 5.</b> Obducción o colisión Continental. ....	12
<b>Figura 6.</b> Límite Divergente.....	13
<b>Figura 7.</b> Límite Transformante. ....	13
<b>Figura 8.</b> Falla Normal.....	14
<b>Figura 9.</b> Falla Inversa. ....	15
<b>Figura 10.</b> Falla Transformante.....	15
<b>Figura 11.</b> Falla de Despegue.....	16
<b>Figura 12.</b> Falla de Deslizamiento Horizontal. ....	16
<b>Figura 13.</b> Escarpes producidos por una Falla de Deslizamiento Vertical. ....	17
<b>Figura 14.</b> Ondas P.....	18
<b>Figura 15.</b> Ondas S.....	18
<b>Figura 16.</b> Ondas Rayleigh.....	19
<b>Figura 17.</b> Ondas Love.....	20
<b>Figura 18.</b> Sismología. ....	21
<b>Figura 19.</b> Fuentes sísmicas de tipo Subducción. ....	26
<b>Figura 20.</b> Fuentes sísmicas de tipo Corticales. ....	26
<b>Figura 21.</b> Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z.....	27
<b>Figura 22.</b> Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño. ....	29
<b>Figura 23.</b> Área de análisis.....	45
<b>Figura 24.</b> Zonificaciones para Régimen Cortical. ....	54
<b>Figura 25.</b> Zonificaciones para Subducción Interplaca.....	56
<b>Figura 26.</b> Zonificaciones para Subducción Intraplaca.....	56
<b>Figura 27.</b> Fallas geológicas en Ecuador, Corticales y de Subducción.....	57
<b>Figura 28.</b> Fallas geológicas en Tungurahua. ....	59
<b>Figura 29.</b> Fallas geológicas en Ambato.....	59

<b>Figura 30.</b> Fallas geológicas cerca del área de estudio. ....	60
<b>Figura 31.</b> Distancia perpendicular desde la falla más cercana al área de estudio. ..	61
<b>Figura 32.</b> Vista 3D Edificación Tipo I.....	141
<b>Figura 33.</b> Vista en planta Nv. +2.88 y Nv. +5.58.....	141
<b>Figura 34.</b> Vista en planta del tapagradas Nv. +8.28. ....	142
<b>Figura 35.</b> Vista en elevación Pórtico 4. ....	142
<b>Figura 36.</b> Vista en elevación Pórtico A. ....	143
<b>Figura 37.</b> Período de vibración Estructura Tipo I.....	144
<b>Figura 38.</b> Vista 3D Edificación Tipo II. ....	156
<b>Figura 39.</b> Vista en planta Nv. +3.24. ....	157
<b>Figura 40.</b> Vista en planta Nv. +6.48, Nv. +9.72, Nv. +12.96.....	158
<b>Figura 41.</b> Vista en elevación Pórtico 3. ....	158
<b>Figura 42.</b> Vista en elevación Pórtico A. ....	159
<b>Figura 43.</b> Período de vibración Estructura Tipo II. ....	160
<b>Figura 44.</b> Vista 3D Edificación Tipo III. ....	171
<b>Figura 45.</b> Vista en planta Nv. +3.96, Nv. 6.84, Nv. +9.72 y Nv. +12.60.....	171
<b>Figura 46.</b> Vista en planta del tapagradas Nv. +15.00. ....	172
<b>Figura 47.</b> Vista en elevación Pórtico 1. ....	172
<b>Figura 48.</b> Vista en elevación Pórtico C. ....	173
<b>Figura 49.</b> Período de vibración Estructura Tipo III. ....	174

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Relaciones empíricas entre magnitud, longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y desplazamiento de superficie. ....	31
<b>Tabla 2.</b> Resultados de regresiones para relaciones entre longitud de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento para Eventos Interfase. ....	32
<b>Tabla 3.</b> Resultados de regresiones para relaciones entre longitud de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento para Eventos Intraplaca. ....	32
<b>Tabla 4.</b> Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura. ....	41
<b>Tabla 5.</b> Ecuaciones de atenuación utilizadas. ....	43
<b>Tabla 6.</b> Coordenadas de los Ensayos SPT. ....	46
<b>Tabla 7.</b> Operacionalización de la Variable Independiente.....	47
<b>Tabla 8.</b> Operacionalización de la Variable Dependiente. ....	48
<b>Tabla 9.</b> Plan de recolección de información. ....	49
<b>Tabla 10.</b> Intensidades sentidas en la ciudad de Ambato.....	52
<b>Tabla 11.</b> Eventos sísmicos asociados al Régimen de Subducción. ....	53
<b>Tabla 12.</b> Fallas Tectónicas.....	60
<b>Tabla 13.</b> Clasificación de los perfiles de suelo. ....	62
<b>Tabla 14.</b> Resultados SPT (P1). ....	65
<b>Tabla 15.</b> Resultados SPT (P2). ....	66
<b>Tabla 16.</b> Resultados SPT (P3). ....	67
<b>Tabla 17.</b> Resultados SPT (P4). ....	68
<b>Tabla 18.</b> Resultados SPT (P5). ....	69
<b>Tabla 19.</b> Clasificación de los suelos SUCS. ....	71
<b>Tabla 20.</b> Análisis Granulométrico (P1). ....	72
<b>Tabla 21.</b> Análisis Granulométrico (P2). ....	74
<b>Tabla 22.</b> Análisis Granulométrico (P3). ....	76
<b>Tabla 23.</b> Análisis Granulométrico (P4). ....	78
<b>Tabla 24.</b> Análisis Granulométrico (P5). ....	80
<b>Tabla 25.</b> Correlaciones existentes entre Vs y N. ....	82
<b>Tabla 26.</b> Número de Golpes.....	83
<b>Tabla 27.</b> Resultados de las Ecuaciones para Arenas.....	83
<b>Tabla 28.</b> Valores de la Media y Desviación Estándar. ....	84

<b>Tabla 29.</b> Resultados ordenados y Distribución Normal. ....	84
<b>Tabla 30.</b> $V_{STOTAL}$ del Pozo 1.....	86
<b>Tabla 31.</b> $V_{STOTAL}$ del Pozo 2.....	87
<b>Tabla 32.</b> $V_{STOTAL}$ del Pozo 3.....	88
<b>Tabla 33.</b> $V_{STOTAL}$ del Pozo 4.....	89
<b>Tabla 34.</b> $V_{STOTAL}$ del Pozo 5. ....	90
<b>Tabla 35.</b> $V_s$ Media. ....	90
<b>Tabla 36.</b> Variables ficticias para los diferentes tipos de fallas. ....	93
<b>Tabla 37.</b> Valores utilizados en el Modelo Boore &Atkinson. ....	96
<b>Tabla 38.</b> Coeficientes del tipo de suelo. ....	99
<b>Tabla 39.</b> Coeficientes del tipo de falla.....	99
<b>Tabla 40.</b> Valores utilizados en el Modelo de Akkar & Bommer.....	99
<b>Tabla 41.</b> Valores utilizados en el Modelo de Kanno. ....	102
<b>Tabla 42.</b> Coeficientes para Suelo Profundo.....	104
<b>Tabla 43.</b> Coeficientes para Suelo poco profundo. ....	104
<b>Tabla 44.</b> Valores utilizados en el Modelo de Youngs. ....	105
<b>Tabla 45.</b> Clases del Suelo. ....	106
<b>Tabla 46.</b> Valores utilizados en el Modelo de Zhao.....	107
<b>Tabla 47.</b> Valores utilizados en el Modelo de Atkinson & Boore. ....	111
<b>Tabla 48.</b> Magnitud de Momento para las Fallas seleccionadas. ....	113
<b>Tabla 49.</b> Porcentajes del descenso de la Aceleración.....	115
<b>Tabla 50.</b> Porcentajes del descenso de la Aceleración.....	116
<b>Tabla 51.</b> Porcentajes del descenso de la Aceleración.....	117
<b>Tabla 52.</b> Aceleraciones Máximas y su variación porcentual.....	121
<b>Tabla 53.</b> Porcentajes de descenso de la Aceleración.....	123
<b>Tabla 54.</b> Porcentajes de descenso de la Aceleración.....	124
<b>Tabla 55.</b> Porcentajes de descenso de la Aceleración.....	125
<b>Tabla 56.</b> Porcentajes del descenso de la Aceleración.....	126
<b>Tabla 57.</b> Porcentajes del descenso de la Aceleración.....	127
<b>Tabla 58.</b> Aceleraciones Máximas y su variación porcentual.....	127
<b>Tabla 59.</b> Parámetros para la determinación del espectro NEC-15.....	128
<b>Tabla 60.</b> Variación de la Aceleración respecto a la NEC-15.....	130
<b>Tabla 61.</b> Variación de la Aceleración respecto a la NEC-15.....	131

<b>Tabla 62.</b> Variación de la Aceleración respecto a la NEC-15.....	132
<b>Tabla 63.</b> Variación de la Aceleración respecto a la NEC-15.....	133
<b>Tabla 64.</b> Variación de la Aceleración respecto a la NEC-15.....	134
<b>Tabla 65.</b> Valores para Espectro envolvente de máximas aceleraciones. ....	136
<b>Tabla 66.</b> Variación de la Aceleración entre la NEC-15 y el Espectro Determinista. .....	137
<b>Tabla 67.</b> Descripción Estructural Edificación 3 Pisos. ....	140
<b>Tabla 68.</b> Períodos de Vibración. ....	144
<b>Tabla 69.</b> Porcentajes de Torsión. ....	145
<b>Tabla 70.</b> Porcentaje del cortante basal V. ....	148
<b>Tabla 71.</b> Porcentajes de Cortante Basal Corregidos. ....	148
<b>Tabla 72.</b> Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas. ....	150
<b>Tabla 73.</b> Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas. ....	152
<b>Tabla 74.</b> Porcentajes de Participación Modal de la Masa.....	154
<b>Tabla 75.</b> Descripción Estructural Edificación 4 Pisos. ....	155
<b>Tabla 76.</b> Períodos de Vibración. ....	160
<b>Tabla 77.</b> Porcentajes de Torsión. ....	161
<b>Tabla 78.</b> Porcentaje del cortante basal V. ....	163
<b>Tabla 79.</b> Porcentajes de Cortante Basal Corregidos. ....	164
<b>Tabla 80.</b> Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas. ....	165
<b>Tabla 81.</b> Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas. ....	167
<b>Tabla 82.</b> Porcentajes de Participación Modal de la Masa.....	169
<b>Tabla 83.</b> Descripción Estructural Edificación 5 Pisos. ....	170
<b>Tabla 84.</b> Períodos de Vibración. ....	174
<b>Tabla 85.</b> Porcentajes de Torsión. ....	175
<b>Tabla 86.</b> Porcentaje del cortante basal V. ....	177
<b>Tabla 87.</b> Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas. ....	178
<b>Tabla 88.</b> Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas. ....	180
<b>Tabla 89.</b> Porcentajes de Participación Modal de la Masa.....	182

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Campana de Gauss para Vs.....	85
<b>Gráfico 2.</b> Espectros de aceleración Modelo D. Boore y G. Atkinson (2008).....	115
<b>Gráfico 3.</b> Espectros de aceleración Modelo S. Akkar y J. Bommer (2010). ....	116
<b>Gráfico 4.</b> Espectros de aceleración Modelo T. Kanno, et al. (2006). ....	117
<b>Gráfico 5.</b> Espectro de aceleración Modelo R. Youngs, et al. (1997).....	118
<b>Gráfico 6.</b> Espectro de aceleración Modelo X. Zhao, et al. (2006).....	119
<b>Gráfico 7.</b> Espectro de aceleración Modelo G. Atkinson & D. Boore (2003). ....	120
<b>Gráfico 8.</b> Espectros de aceleración Falla Ambato. ....	122
<b>Gráfico 9.</b> Espectros de aceleración Falla Huachi.....	123
<b>Gráfico 10.</b> Espectros de aceleración Falla Totoras.....	124
<b>Gráfico 11.</b> Espectros de aceleración Falla Samanga. ....	125
<b>Gráfico 12.</b> Espectros de aceleración Falla de Subducción. ....	126
<b>Gráfico 13.</b> Espectros de aceleración obtenidos con los modelos de Boore & Atkinson, Akkar & Bommer, Kanno y Espectro NEC-15 para la Falla Ambato. ...	130
<b>Gráfico 14.</b> Espectros de aceleración obtenidos con los modelos de Boore & Atkinson, Akkar & Bommer, Kanno y Espectro NEC-15 para la Falla Huachi.....	131
<b>Gráfico 15.</b> Espectros de aceleración obtenidos con los modelos de Boore & Atkinson, Akkar & Bommer, Kanno y Espectro NEC-15 para la Falla Totoras. ....	132
<b>Gráfico 16.</b> Espectros de aceleración obtenidos con los modelos de Boore & Atkinson, Akkar & Bommer, Kanno y Espectro NEC-15 para la Falla Samanga...	133
<b>Gráfico 17.</b> Espectros de aceleración obtenidos con los modelos de Youngs, Zhao y Atkinson & Boore y Espectro NEC-15 para la Falla de Subducción. ....	134
<b>Gráfico 18.</b> Espectros de aceleración obtenidos con todos los modelos a partir de las fallas corticales y de subducción y Espectro NEC-15. ....	135
<b>Gráfico 19.</b> Espectro Específico Determinista comparado con el Espectro NEC-15. .....	137
<b>Gráfico 20.</b> Determinación de $S_a(T_a)$ – Estructura Tipo I.....	146
<b>Gráfico 21.</b> Derivas Elásticas causadas por Cortantes Estáticos.....	149
<b>Gráfico 22.</b> Derivas Inelásticas causadas por Cortantes Estáticos. ....	151
<b>Gráfico 23.</b> Derivas Elásticas causadas por Cortantes Dinámicos.....	152
<b>Gráfico 24.</b> Derivas Inelásticas causadas por Cortantes Dinámicos. ....	153



<b>Gráfico 25.</b> Determinación de $S_a(T_a)$ – Estructura Tipo II.....	162
<b>Gráfico 26.</b> Derivas Elásticas causadas por Cortantes Estáticos.....	165
<b>Gráfico 27.</b> Derivas Inelásticas causadas por Cortantes Estáticos. ....	166
<b>Gráfico 28.</b> Derivas Elásticas causadas por Cortantes Dinámicos.....	167
<b>Gráfico 29.</b> Derivas Inelásticas causadas por Cortantes Dinámicos. ....	168
<b>Gráfico 30.</b> Determinación de $S_a(T_a)$ – Estructura Tipo III. ....	176
<b>Gráfico 31.</b> Derivas Elásticas causadas por Cortantes Estáticos.....	178
<b>Gráfico 32.</b> Derivas Inelásticas causadas por Cortantes Estáticos. ....	179
<b>Gráfico 33.</b> Derivas Elásticas por Cortantes Dinámicos. ....	180
<b>Gráfico 34.</b> Derivas Inelásticas causadas por Cortantes Dinámicos. ....	181

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

**TEMA: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR HUACHI LORETO UBICADO EN LA AVENIDA LAS AMÉRICAS, AVENIDA DEL REY, AVENIDA BOLIVARIANA Y CAMINO DEL REY”**

**Autora:** Talía Alexandra Cevallos Pilco

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

### RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo de investigación se encontró un espectro específico para el sector Huachi Loreto determinando los parámetros necesarios en aceleración mediante la utilización de las Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo GMPE's para los regímenes que predominan el área de estudio (Régimen Cortical y Subducción). Dichas ecuaciones están basadas fundamentalmente en las características sísmicas más representativas como son: Velocidad de Onda de Cortante  $V_{s30}$ , Tipo de Falla, Magnitud de Momento Sísmico  $M_w$ , Profundidad Focal y la Distancia Joyner-Boore que es la distancia más cercana a la proyección de superficie de la falla  $R_{JB}$ . Una vez obtenidos los diferentes espectros se generó una envolvente la cual recoge los valores de aceleraciones máximas calculadas en los distintos períodos, que fueron comparados con los establecidos por la NEC-15 para después analizar los intervalos críticos en los que el Espectro Determinista supera a los de la normativa.

Posteriormente se analizó la incidencia del Espectro Específico encontrado para el sitio de estudio en el comportamiento estructural de 3 edificaciones tipo construidas en dicha zona, comparando los resultados obtenidos con la normativa (NEC-15).

## **ABSTRACT**

In the present research work, a specific spectrum was found for Huachi Loreto sector determining the parameters needed in acceleration by using the Ground Movement Prediction Equations GMPE's for the regimes that dominate the study area (Cortical Regime and Subduction). These equations are based fundamentally on the most representative seismic characteristics such as: Cutting Wave Speed  $V_{s30}$ , Type of Fault, Seismic Moment Magnitude  $M_w$ , Focal Depth and Joyner-Boore Distance which is the closest distance to the surface projection of the fault  $R_{JB}$ . Once the different spectra were obtained, an envelope was generated which collects the maximum acceleration values calculated in the different periods, which were compared with those established by the NEC-15 to later analyze the critical intervals in which the Deterministic Spectrum exceeds the of the regulations.

Subsequently, the incidence of the Specific Spectrum found for the study site was analyzed in the structural behavior of 3 buildings built in that area, comparing the results obtained with the regulations (NEC-15).

# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES**

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

“ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR HUACHI LORETO UBICADO EN LA AVENIDA LAS AMÉRICAS, AVENIDA DEL REY, AVENIDA BOLIVARIANA Y CAMINO DEL REY”.

### **1.2. ANTECEDENTES.**

Los sismos o también conocidos como movimientos telúricos, son fenómenos de sacudida brusca y pasajera originados en la corteza terrestre, debido a la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas, los más frecuentes son producidos por la actividad de fallas geológicas. [1]

Ecuador se encuentra dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, por lo que su territorio tiene una actividad sísmica alta, de ahí que ha experimentado eventos sísmicos relevantes como el de 1906 en Esmeraldas, que tuvo una magnitud de 8.8 Mw con epicentro en el Océano Pacífico y frente a la frontera Ecuador-Colombia, el cual es uno de los sismos más grandes registrados en la historia del mundo. [8]

Otro de los eventos sísmicos importantes en nuestro país es el del 5 de agosto de 1949, en la ciudad de Ambato, el cual tuvo una magnitud de 6.8 Mw; con una profundidad menor a 15 km; fue el mayor sismo en el hemisferio occidental en más de cinco años. En dónde ciudades como Patate, Pelileo, Píllaro y Guano fueron destruidas, pero Ambato sufrió el daño más severo. [9] [10]

El 16 de abril del 2016, la provincia de Manabí sucumbió ante un movimiento sísmico, con epicentro entre Cojimés y Pedernales con una magnitud de 7.8 Mw; el mismo que afectó a varias localidades cercanas. [1]

Con el propósito de ayudar a prevenir desastres y calamidades ante la ocurrencia de eventos sísmicos, se hace indispensable la realización y el uso de metodologías como la microzonificación sísmica, cuyo principal fin es determinar el comportamiento de los suelos frente a movimientos sísmicos, y de ésta manera establecer una reglamentación local para el diseño y construcción sismorresistente de estructuras. [11]

De acuerdo al mapa de zonificación sísmica que nos presenta la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), nos muestra que la ciudad de Ambato se encuentra en la quinta zona sísmica, con un valor de factor  $Z$  igual a 0.4; correspondiente a un valor de peligro sísmico alto. Cabe recalcar que dicho mapa es el resultado del estudio de peligro sísmico para una probabilidad del 10% de excedencia en 50 años. [4]

Hoy en día existen amenazas geológicas en todo el país, tanto de sismicidad interplaca como intraplaca. Es por eso que el estudio del peligro sísmico es importante, ya que su principal objetivo es definir lo más exacto posible, los niveles de movimiento del terreno que deberá soportar una estructura específica, lo que exige que el nivel de demanda sísmica esté ligado a un nivel de desempeño de la estructura determinado previamente; de tal manera que los daños que puedan provocar un evento sísmico sean controlables. [3]

Debido a que no se puede predecir un evento sísmico futuro, es que se hace importante manejar las diferentes incertidumbres que se presentan en este fenómeno, y por tal razón se recurre a las ecuaciones de atenuación sísmica para evaluar el peligro sísmico en base al área de análisis para determinar los espectros de respuesta en aceleración que se generarán a partir de los diferentes segmentos de las fallas seleccionadas y de tal manera reducir el riesgo sísmico. [3]

### **1.3. JUSTIFICACIÓN.**

El Cinturón de Fuego del Pacífico o también conocido como Anillo de Fuego del Pacífico se encuentra ubicado en las costas del Océano Pacífico, se destaca por ser una zona en la cual se generan los eventos de subducción más relevantes del mundo; lo que origina una intensa actividad sísmica y volcánica en las zonas que comprende. [1]

Ecuador está localizado en el cinturón de fuego del Pacífico, al noroccidente de Sudamérica. Siendo uno de los países más densamente poblados de la región, muestra actividad sísmica producida primordialmente por el proceso de subducción de la Placa Oceánica de Nazca y la presencia de un complejo sistema de fallas activas locales. [2]

Nuestro país se encuentra dentro de un particular movimiento tectónico. Un sector del territorio forma parte de la microplaca denominada “Bloque Andino”, la cual pertenece a la Placa Sudamericana. La medida del movimiento en esta zona tiene un intervalo aproximado de 50-60 mm/año, mientras que la Placa Continental el intervalo de movimiento se encuentra entre 2-5 mm/año. Por otro lado; la parte sur del Ecuador, está en interacción entre la Placa Sudamericana y la Placa de Nazca. Ésta dinámica de placas ha derivado que en el Ecuador se presenten tres diversas inclinaciones de la subducción de la placa de Nazca en la placa Continental. [3]

Dicho comportamiento dinámico de la región ha originado un sistema de fallas denominado Sistema Mayor Dextral; el cual presenta una mayor concentración de fallas y pliegues en la región de la sierra ecuatoriana. Este sistema de fallas, en conjunto con la subducción presentada en la costa del país, simbolizan las principales fuentes generadoras de sismos; razón por la cual el diseño de las construcciones en áreas de riesgo sísmico debe ser calculado considerando un sismo de diseño de ocurrencia raro, que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años con un período de retorno de 475 años. [3] [4]

Dado que la ciudad de Ambato se encuentra atravesada por varias fallas geológicas, se ha podido decir que es una ciudad de alto riesgo sísmico en el país, según el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, lo que determina la existencia de suelos vulnerables y por ende si las edificaciones no tienen recomendaciones técnicas pueden conllevar a graves consecuencias. [5]

Se conoce que nuestra ciudad no cuenta con un estudio técnico de las fallas geológicas presentes, por ésta razón el presente trabajo de investigación establecerá el tipo de estratigrafía del sector en estudio, la magnitud máxima que puede generarse en las fallas seleccionadas en el área, para de tal manera tratar de disminuir el peligro sísmico y la vulnerabilidad de las construcciones.

Se deben prevenir los desastres evitando que la colectividad construya edificaciones de forma empírica, sin consulta técnica y dirección adecuada, o en lugares de topografía y geología no adecuada. [5]

Para determinar el grado en que se atenúa o disminuye la onda sísmica en la corteza terrestre se utilizarán las ecuaciones de atenuación o ecuaciones de predicción de movimiento fuerte, las cuales se han obtenido basándose en métodos de regresiones matemáticas (métodos numéricos), que a partir de mediciones conocidas buscan obtener ecuaciones relacionando términos y variables que permitan conseguir valores cercanos a dicha medición conocida. [6]

La falta de catálogos sísmicos completos, o en muchos casos la poca información relacionada con el tema, hace que sea imprescindible un estudio del peligro sísmico, de manera que sea posible considerar las distintas incertidumbres que se presentan en el proceso de cálculo. [3]

Es por eso que se hace también importante el estudio y análisis de la vulnerabilidad sísmica de una estructura ante un evento sísmico, ya que está relacionada directamente con las características del diseño y la construcción de la estructura, y es independiente de la peligrosidad del lugar. [7]

## **1.4. OBJETIVOS.**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Realizar el estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras del Cantón Ambato sector Huachi Loreto ubicado en La Avenida Las Américas, Avenida del Rey, Avenida Bolivariana y Camino del Rey.

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- Seleccionar las fallas activas que abarca el Régimen Tectónico en base al área de estudio.
- Verificar el comportamiento estructural de tres estructuras tipo del área de análisis.
- Comparar los espectros deterministas obtenidos de las estructuras diseñadas con el espectro de la NEC.



## CAPÍTULO II

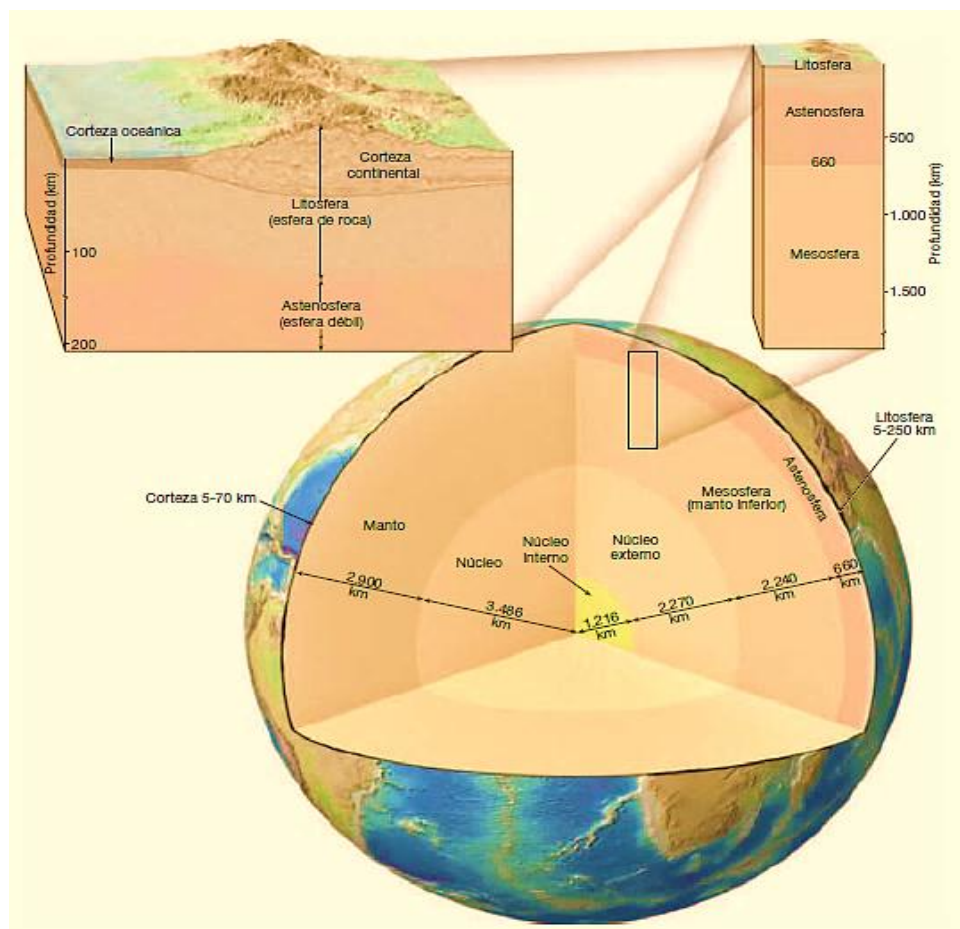
### FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

##### 2.1.1. Capas de la Tierra.

La Tierra está formada por tres capas definidas por su composición química: la corteza, el manto y el núcleo. Además de estas tres capas de diferente composición, la Tierra se puede dividir en capas en función de sus propiedades físicas. Las propiedades físicas utilizadas para definir estas zonas son de tipo sólido o líquido y cuán dúctiles o resistentes son. [20]

**Figura 1.** Estructura de la Tierra.



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

El conocimiento de ambos tipos de estructuras en capas es esencial para la comprensión de los procesos geológicos básicos, como el vulcanismo, los terremotos y la formación de cadenas montañosas. [20]

- **Capas definidas por su Composición.**

- a) **Corteza.**

La corteza es la capa rocosa externa comparativamente fina de la Tierra, se divide en corteza oceánica y corteza continental. [20]

La corteza oceánica tiene alrededor de 7 km de grosor y está compuesta principalmente de rocas ígneas, las mismas que tienen una densidad aproximada de  $3.0 \text{ gr/cm}^3$ . [20]

Por el contrario, la corteza continental tiene un grosor medio de entre 35 y 40 km, pero puede superar los 70 km en algunas zonas montañosas. Tiene una composición química relativamente homogénea y consta de muchos tipos de rocas, el nivel superior de la corteza continental tiene una composición media de granodiorita, mientras que el nivel inferior tiene una composición parecida al basalto. Las rocas continentales tienen una densidad media de  $2.7 \text{ gr/cm}^3$ . [20]

- b) **Manto.**

El manto es una envoltura rocosa sólida que se extiende hasta una profundidad de 2900 km y ocupa más del 82% del volumen de la Tierra. El límite entre el manto y la corteza representa un cambio de composición química, en la parte superior del manto el tipo de roca dominante es peridotita con una densidad de  $3.3 \text{ gr/cm}^3$ , la cual se incrementa a medida que aumenta la profundidad ya que la roca se hace más compacta. [20]

- c) **Núcleo.**

Posee una parte interna y otra externa, el núcleo interno es una sección sólida que está suspendida en el centro del planeta por la sección externa del núcleo fundido en estado líquido. Se piensa que la composición del núcleo interno es una aleación de hierro y níquel con pequeñas cantidades de oxígeno, azufre y silicio. [20]

- **Capas definidas por sus Propiedades Físicas.**

La Tierra se divide en cinco capas principales en función de sus propiedades físicas y por tanto según su resistencia mecánica. [20]

**a) Litosfera.**

La estructura de la litosfera es bastante rígida y tiene un espesor medio de unos 100 km, pero puede alcanzar 250 km de grosor debajo de las porciones más antiguas de los continentes, se conoce sobre su rigidez a tales profundidades ya que la velocidad de las ondas sísmicas aumenta constantemente en función de la profundidad. Y se encuentra dividida en distintas placas litosféricas o tectónicas que se van moviendo de manera continua. [20] [31]

**b) Astenosfera.**

Es una capa que corresponde a la mayor parte del manto superior. En ella existen corrientes de convección, es decir que se producen cambios en la densidad de los materiales. Tiene gran importancia en la tectónica. [31]

**c) Mesosfera o Manto Inferior.**

Esta capa se encuentra a profundidades de entre 660 y 2900 km, forma parte del manto inferior y parte del núcleo externo de la Tierra. [31]

**d) Endosfera.**

Está conformada por un núcleo externo que es una capa líquida de 2270 km de grosor, y un núcleo interno que es una esfera con un radio de 1216 km. [20]

### 2.1.2. Tectónica de Placas.

En un inicio el astrónomo y meteorólogo Alfred Wegener propuso que los continentes en el pasado geológico estuvieron unidos en un supercontinente llamado Pangea, que posteriormente se separó por deriva continental. [14]

**Figura 2.** Supercontinente Pangea.



**Fuente.** CENAPRED

La Tectónica de Placas es una teoría geológica que explica la forma en que está estructurada la litósfera.

Dicha teoría explica que la litósfera está dividida en varios grandes segmentos relativamente estables de roca rígida, denominados placas las cuales encajan entre sí y varían en grosor según su composición ya sea corteza oceánica, continental o mixta. Estas placas se extienden a profundidades de 100 a 200 km y se desplazan

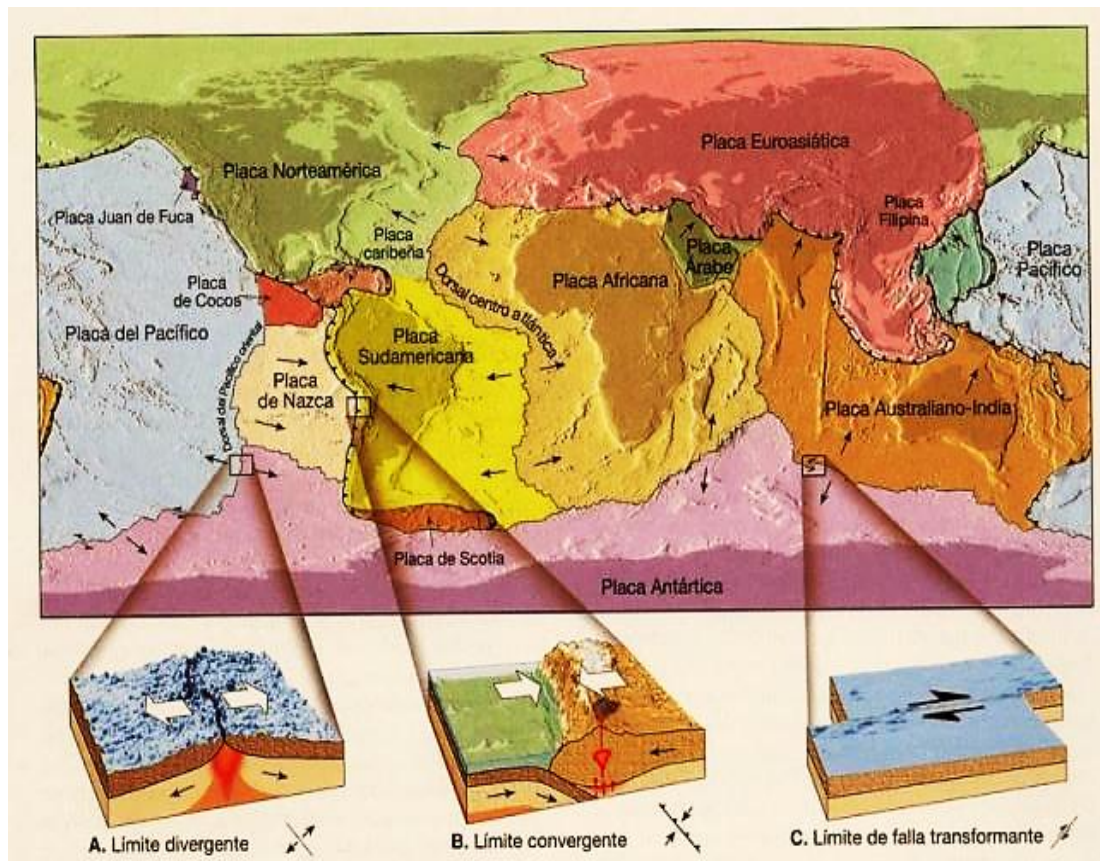
pasivamente unas respecto a otras con velocidades de 2.5 cm/año gracias a las corrientes de convección. Más del 70% del área de las placas cubren los grandes océanos tales como el Pacífico, el Atlántico y el Índico. [13] [14] [15]

El concepto básico de la teoría de la tectónica de placas es simple y se basa en que: el aire caliente asciende por encima del aire frío y las corrientes de agua caliente flotan por encima de las de agua fría. [16]

### 2.1.2.1. Límites de Placas.

El movimiento de las placas crea tres tipos de límites tectónicos: Límites Convergentes, donde las placas se acercan unas a otras, Límites Divergentes, donde se separan, y Límites Transformantes, donde las placas se mueven de lado en relación unas a otras. [17]

**Figura 3.** Mosaico de las placas rígidas de la Tierra y los tipos de Límites.



**Fuente:** W. B. Hamilton, U.S. Geological Survey.

- **Límites Convergentes o Bordes Destructivos.**

También conocidos como bordes activos. Son límites en los que una placa choca contra otra, formando una zona de subducción. [13]

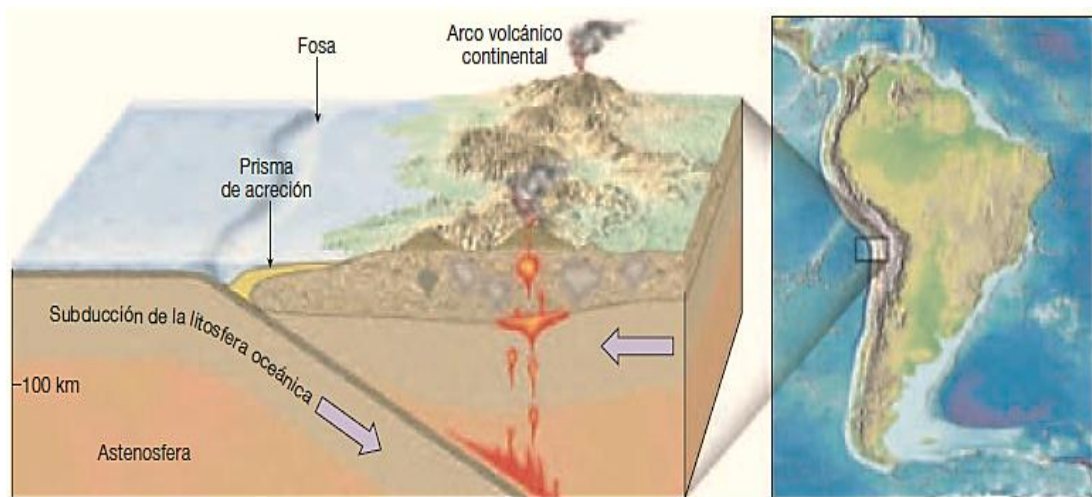
Se sitúan generalmente cerca de los bordes de los continentes, y coinciden con las zonas geológicas. Estas pueden clasificarse en dos tipos de zonas: [13] [17]

**a) Zonas de subducción.**

En estas zonas una placa oceánica más densa se introduce (subduce) por debajo de otra placa, oceánica o continental. A medida que la placa oceánica va descendiendo, se va calentando y fundiendo y sus materiales se incorporan al manto. Las zonas de subducción coinciden con fosas marinas de mucha profundidad. [18]

En estas zonas se producen numerosos terremotos, debido a los enormes empujes y roces que sufre la placa descendente. [18]

**Figura 4.** Subducción de Placas.



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

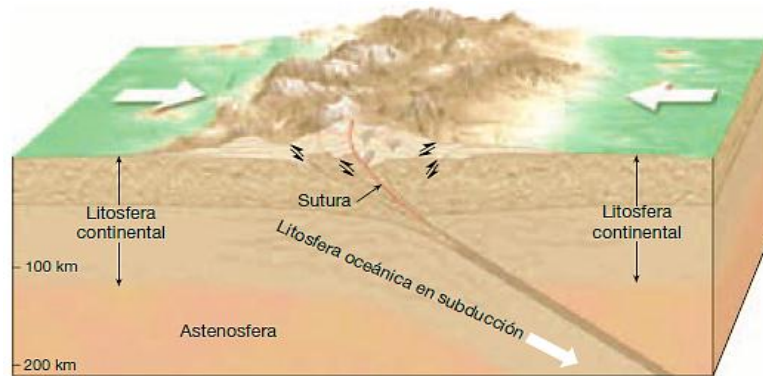
**b) Zonas de Obducción.**

Son áreas de colisión entre continentes, es decir, representa un conjunto de procesos que llevan a las placas de corteza exclusivamente continental a colisionar,

incrustándose una en otra y creciendo en extensión; lo cual origina cadenas montañosas. [19]

La obducción hace crecer a los continentes como un mosaico, al adherirse diferentes placas continentales a lo largo del tiempo. [19]

**Figura 5.** Obducción o colisión Continental.



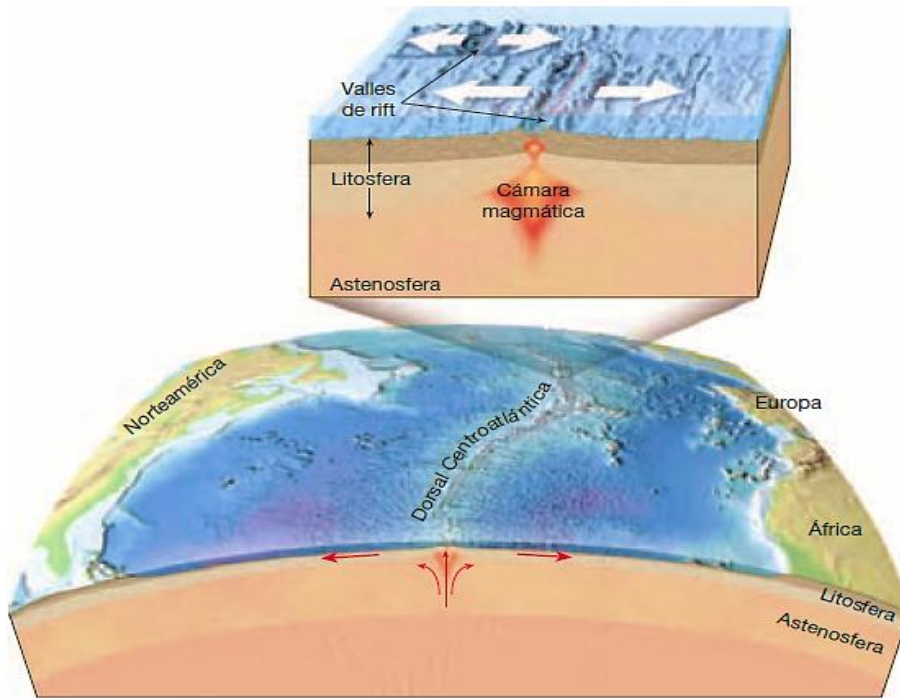
**Fuente:** Tarbuck, E. y Lutgens, F. "Ciencias de la Tierra".

- **Límites Divergentes o Bordes Constructivos.**

Son límites en los que las placas se separan unas de otras debido a movimientos que las alejan y, por lo tanto, emerge magma desde regiones más profundas del manto de la Tierra. [13] [15]



**Figura 6. Límite Divergente.**

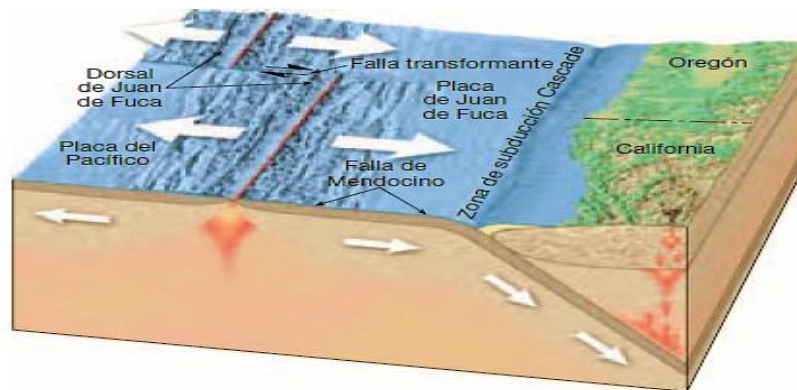


**Fuente:** Tarbuck, E. y Lutgens, F. "Ciencias de la Tierra".

- **Límites Transformantes o Bordes Pasivos.**

Son límites donde los bordes de las placas se deslizan una con respecto a la otra a lo largo de una falla de transformación. Estos Límites no crean fenómenos espectaculares como océanos o montañas, sin embargo, pueden provocar terremotos. [13] [17]

**Figura 7. Límite Transformante.**



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



### 2.1.3. Tipos de Fallas.

Una falla es una grieta en la corteza terrestre. Generalmente las fallas están asociadas o forman los límites entre las placas tectónicas de la Tierra.

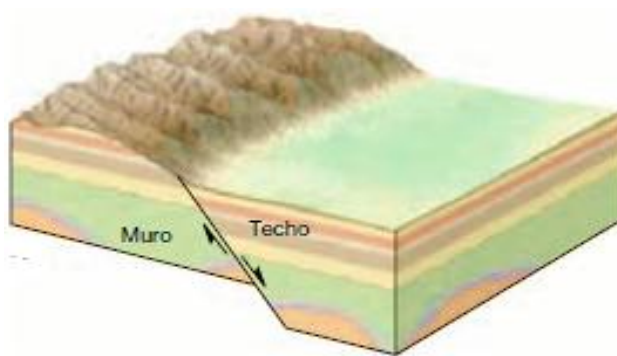
En una falla activa las piezas de la corteza se mueven a lo largo de la falla con el transcurrir del tiempo. El movimiento de estas rocas puede generar terremotos.

Las fallas inactivas son las que tuvieron movimiento en algún momento a lo largo de ella, pero ya no se desplazan. [26]

- **Falla Normal.**

Falla en la cual la roca situada por encima del plano de falla se ha movido hacia abajo en relación con la roca situada por debajo. [20]

**Figura 8.** Falla Normal.

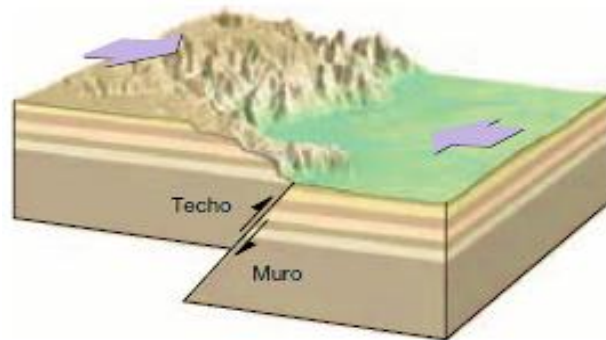


**Fuente:** Tarbuck, E. y Lutgens, F. "Ciencias de la Tierra".

- **Falla Inversa.**

Falla en la cual el material situado encima del plano de falla asciende en relación con el material situado debajo. [20]

**Figura 9.** Falla Inversa.

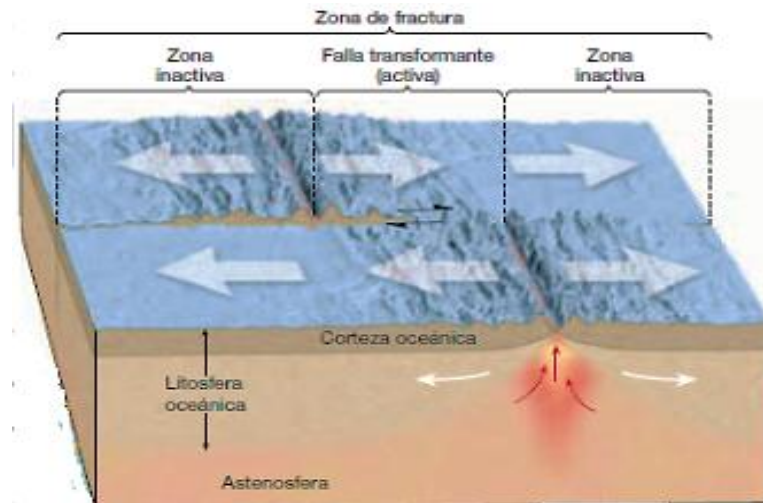


**Fuente:** Tarbuck, E. y Lutgens, F. "Ciencias de la Tierra".

- **Falla Transformante.**

Gran falla de desplazamiento horizontal que atraviesa la litósfera y acomoda el movimiento entre dos placas. [20]

**Figura 10.** Falla Transformante.

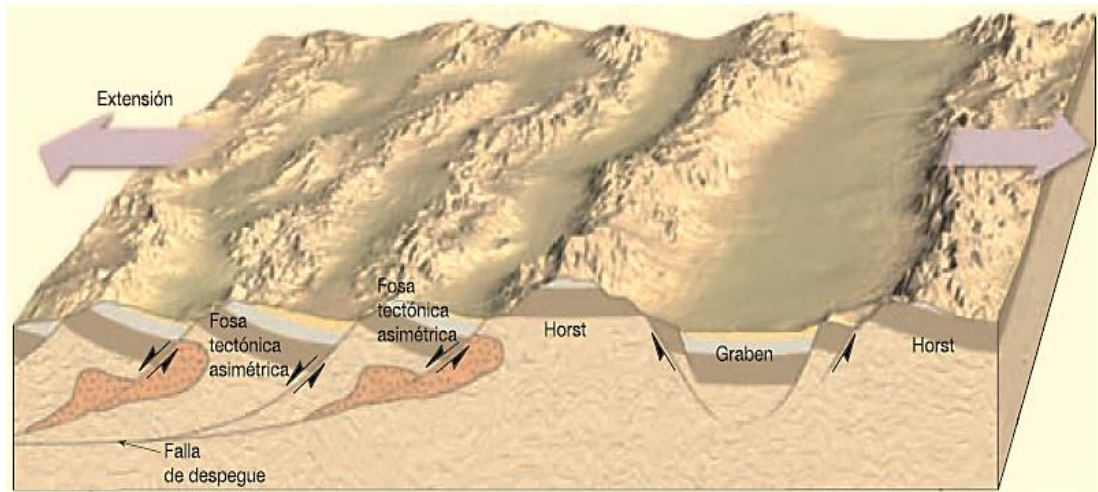


**Fuente:** Tarbuck, E. y Lutgens, F. "Ciencias de la Tierra".

- **Falla de Despegue.**

Es una falla casi horizontal que puede extenderse centenares de kilómetros por debajo de la superficie. Este tipo de fallas representa un límite entre las rocas que exhiben deformación dúctil y las rocas que exhiben deformación frágil. [20]

**Figura 11.** Falla de Despegue.

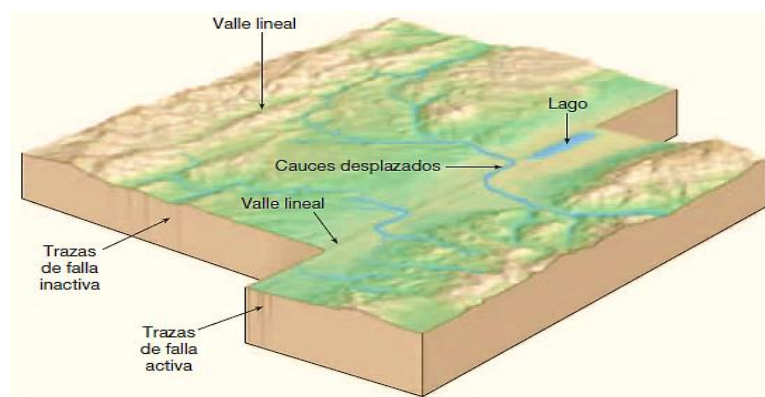


**Fuente:** Tarbuck, E. y Lutgens, F. "Ciencias de la Tierra".

- **Falla de Deslizamiento Horizontal.**

Es una falla a lo largo de la cual el movimiento es horizontal. Debido a su gran tamaño y a su naturaleza lineal, muchas fallas de deslizamiento horizontal tienen una traza visible a lo largo de una gran distancia. [20]

**Figura 12.** Falla de Deslizamiento Horizontal.

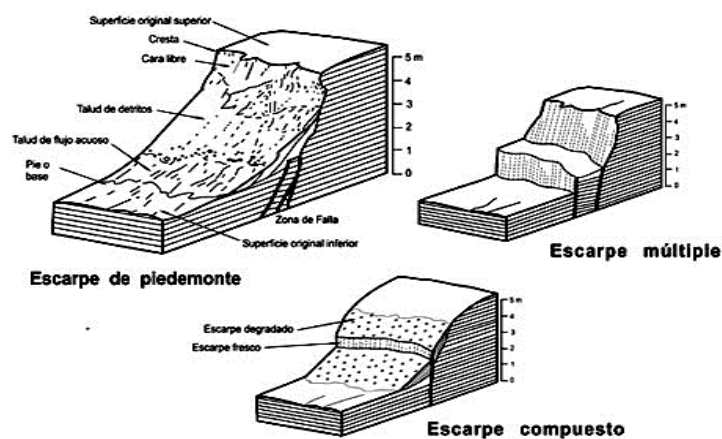


**Fuente:** Tarbuck, E. y Lutgens, F. "Ciencias de la Tierra".

- **Falla de Deslizamiento Vertical.**

Es una falla en la cual el movimiento es paralelo al buzamiento de la falla. Este tipo de movimiento puede producir pequeños escarpes de falla. [20]

**Figura 13.** Escarpes producidos por una Falla de Deslizamiento Vertical.



**Fuente:** Stewart y Hancock.

#### 2.1.4. Ondas Sísmicas.

Las ondas sísmicas son energía elástica que irradia en todas las direcciones desde el foco del foco, además son de gran utilidad para determinar la localización y magnitud de los terremotos. [20]

El deslizamiento de una masa de roca genera dos grupos principales de ondas sísmicas. El primero corresponde a las ondas Superficiales las cuales viajan por la parte externa de la Tierra y el segundo son las ondas de Cuerpo y son aquellas que viajan a través del interior de la Tierra. [20]

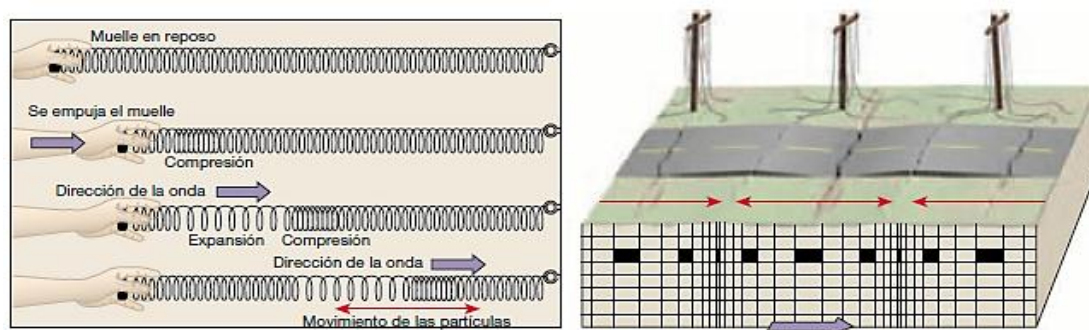
- **Ondas de Cuerpo.**

Estas ondas se dividen a su vez en dos tipos que se denominan ondas primarias o P y ondas secundarias o S. Las ondas de cuerpo se clasifican en ondas P y S debido a su modo de viajar a través de los materiales. [20]

### a) Ondas P.

Son ondas que empujan (comprimen) y tiran (expanden) de las rocas en la dirección de propagación de la onda, cambian transitoriamente el volumen del material por el que viajan por tal razón pueden atravesar los sólidos, líquidos y gases. Estas ondas son las primeras en llegar a la estación de registro ya que viajan aproximadamente 1.7 veces más rápido que las ondas S. [20]

**Figura 14.** Ondas P.

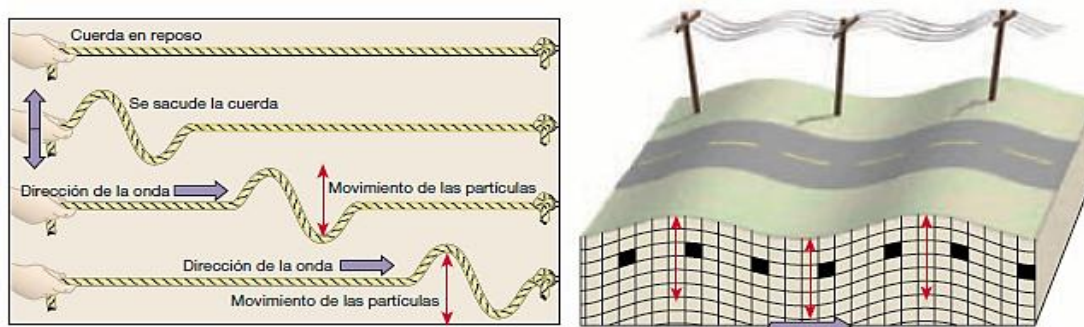


**Fuente:** Tarbuck, E. y Lutgens, F. "Ciencias de la Tierra".

### b) Ondas S.

Son aquellas ondas que sacuden las partículas en ángulo recto con respecto a la dirección en la que viajan, cambian transitoriamente la forma del material que las transmite los líquidos y gases no responden elásticamente a cambios en su forma y por tal razón no transmitirán las ondas S. [20]

**Figura 15.** Ondas S.



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

- **Ondas Superficiales.**

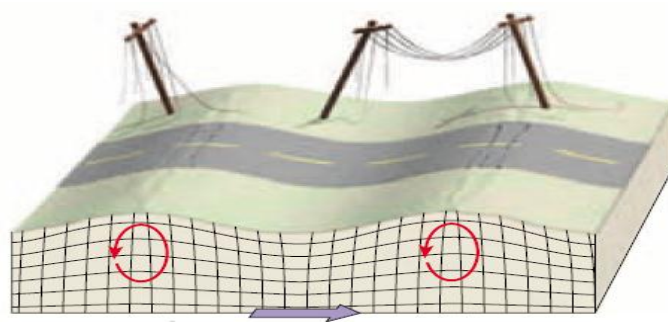
El movimiento de estas ondas es algo más complejo, ya que a medida que viajan a lo largo del suelo provocan que éste se mueva y todo lo que descansa sobre él. Además de su movimiento ascendente y descendente las ondas superficiales tienen un movimiento lateral parecido a una onda S orientada en un plano horizontal. Este último movimiento es sumamente peligroso para los cimientos de las estructuras y son las que causan mayor destrucción. [20]

Las ondas superficiales tienen períodos más largos y se suele hacer referencia a ellas como ondas largas u ondas L. [20]

**a) Ondas Rayleigh.**

Estas ondas se forman en la superficie de la Tierra en donde tienen su máxima amplitud, la cual decrece exponencialmente con la profundidad y hacen que las partículas se desplacen según una trayectoria elíptica retrógrada en el plano de propagación de la onda. [32] [33]

**Figura 16.** Ondas Rayleigh.

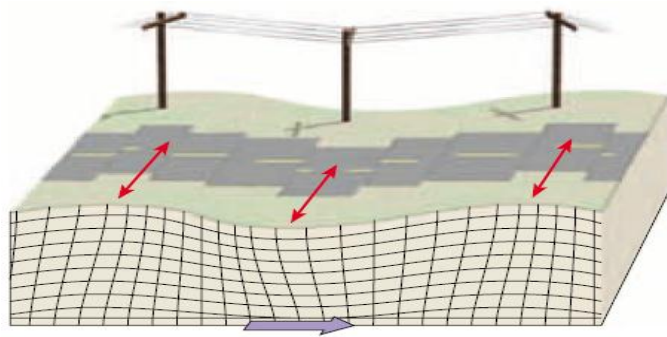


**Fuente:** Tarbuck, E. y Lutgens, F. "Ciencias de la Tierra".

**b) Ondas Love.**

Se originan en la interfase de dos medios con propiedades mecánicas diferentes, se propagan con un movimiento de las partículas perpendicular a la dirección de propagación. [32] [33]

**Figura 17.** Ondas Love.



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

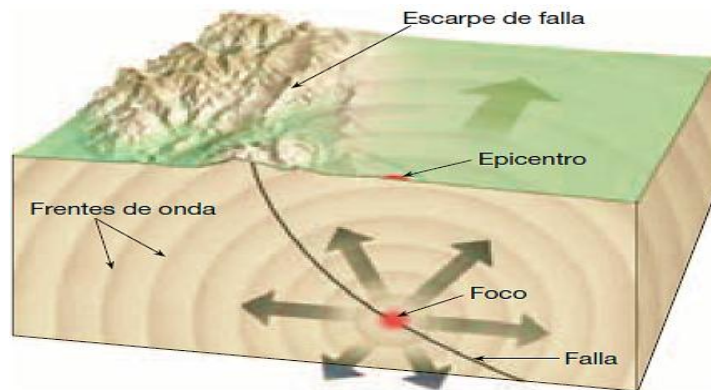
### 2.1.5. Tipos de Terremotos.

Un terremoto es la vibración de la Tierra ocasionada por una rápida liberación de energía. Lo más probable es que los terremotos se produzcan por el deslizamiento de la corteza terrestre a lo largo de una falla. [20]

El hipocentro o también conocido como foco es el punto donde se produce la liberación de energía que produce un terremoto. Por otro lado, el epicentro es el lugar en la superficie terrestre que se ubica exactamente sobre el hipocentro. [27]



**Figura 18.** Sismología.



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

A continuación, se citan algunos tipos de terremotos:

- **Terremotos Tectónicos.**

Son aquellos producidos por la ruptura súbita, choques o uniones de las rocas que componen las placas tectónicas. Desprendiendo así una gran cantidad de energía desde el interior de la falla la cual es liberada en forma de un movimiento sísmico, ocasionando movimientos de la corteza terrestre y con ellos la aparición de fallas o zonas propensas a temblores o terremotos. Este tipo de terremoto es considerado como uno de los más devastadores por su brusquedad y violencia, así como por su frecuencia e intensidad. [21] [22]

- **Terremotos Volcánicos.**

Estos terremotos tienen su origen en las erupciones volcánicas o en zonas afectadas por la actividad volcánica, provocado por la acumulación de energía próxima al magma. Cabe recalcar que estos terremotos suelen tener una intensidad y magnitud mucho menor. [21] [22]

Se pueden identificar dos tipos:

- a) **Tectónico.**

Son los generados por la ruptura de rocas debido a cambios de densidad. [21]



## **b) Explosivos.**

Originados por la explosión del magma. [21]

- **Terremoto Perimétrico**

Son aquellos producidos en las placas continentales y oceánicas por una liberación de energía que proviene de zonas profundas de las cavidades de las placas. [21]

- **Micro sismos.**

Son terremotos de poca intensidad que se desarrollan en las zonas con mayor profundidad de la litósfera o en la zona del manto con mayor altura. En la mayoría de casos provienen de procesos espontáneos. [23]

- **Terremoto de Colapso.**

Este terremoto ocurre tras un movimiento brusco de la tierra, de rocas o cuando sucede un hundimiento de tierra. [24]

- **Terremotos Artificiales.**

Son aquellos producidos por el hombre mediante explosiones convencionales o nucleares, con fines de exploración, investigación o explotación de bancos de minerales para la industria. [25]

- **Maremoto.**

Son terremotos desarrollados en las profundidades del mar, ya sea dentro de alguna falla tectónica submarina o en algún punto variable de la placa submarina. [23]

### **2.1.6. Peligro Sísmico.**

La ocurrencia de terremotos desastrosos nos ratifica la importancia del análisis del peligro sísmico para estimar las consecuencias de estos eventos. Aun cuando en los últimos años se han logrado grandes avances en la predicción sísmica, el tiempo de

ocurrencia, la magnitud o la ubicación de un terremoto no pueden ser predichos con certeza. [12]

La NEC-15 menciona que el peligro sísmico es la probabilidad de excedencia de que se produzcan movimientos del suelo dentro de un período específico de tiempo y dentro de una región o zona determinada, cuyos parámetros tales como la aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados. [4]

El Análisis de Peligro Sísmico involucra la estimación cuantitativa de la amenaza sísmica en un determinado lugar. Este peligro sísmico puede ser analizado determinísticamente, asumiendo un determinado terremoto escenario, o probabilísticamente, considerando explícitamente las incertidumbres en el tamaño, ubicación y tiempo de ocurrencia de los terremotos. [12]

Existen dos métodos para el análisis de peligrosidad sísmica:

- **Método Determinista.**

Este método de análisis involucra el desarrollo de un terremoto escenario sobre el cual se basa la evaluación del peligro del movimiento sísmico en un lugar. Dicho escenario consiste en la ocurrencia de un terremoto de tamaño especificado en una ubicación determinada. [12]

El peligro sísmico determinista puede ser descrito mediante los siguientes parámetros:

- a) Identificación y caracterización de todas las fuentes sismogénicas capaces de producir movimientos sísmicos significativos en el sitio de interés, la caracterización de la fuente incluye la definición de la geometría de cada fuente y su potencial sísmico.
- b) Selección del parámetro de distancia fuente-a-sitio para cada fuente, consiste en seleccionar la menor distancia entre la fuente y el sitio de análisis.
- c) Selección del terremoto dominante, es decir, el terremoto que se espera que produzca los mayores niveles de movimiento.

d) El peligro en el sitio es formalmente definido, usualmente en términos del movimiento sísmico producido en el sitio por el terremoto dominante. Sus características son descritas por valores picos de aceleración, velocidades y ordenadas del espectro de respuesta, parámetros que son obtenidos mediante relaciones de predicción, basadas fundamentalmente en ecuaciones de atenuación de ondas.

Esté método es bastante simple, ya que proporciona directamente la evaluación del movimiento sísmico para las condiciones más severas. Sin embargo, no provee información sobre la probabilidad de ocurrencia del terremoto dominante, ni de la probabilidad de que éste ocurra en la ubicación asumida. Tampoco provee información sobre los niveles del movimiento sísmico que pueden ser esperados en un determinado periodo de tiempo, ni de los efectos de las incertidumbres de los parámetros asumidos en el proceso de estimar las características del movimiento sísmico. [12]

- **Método Probabilístico.**

En los últimos años el uso de conceptos probabilísticos ha permitido considerar explícitamente el uso de las incertidumbres en el tamaño, ubicación y tasa de recurrencia de los sismos, así como en la variación de las características del movimiento sísmico con el tamaño y ubicación del terremoto.

Éste método de análisis permite identificar, cuantificar y combinar en una manera racional estas incertidumbres, proporcionando una evaluación más completa de la amenaza sísmica. [12]

De igual manera el análisis de peligro sísmico probabilístico puede ser descrito mediante los siguientes parámetros que tienen un grado de similitud con el método determinista:

a) Identificación y caracterización de todas las fuentes sismogénicas además definir la distribución de probabilidad de la ubicación potencial de las rupturas dentro de la fuente.

- b) Caracterizar la sismicidad o distribución temporal de la recurrencia sísmica.
- c) Mediante relaciones de predicción, determinar el movimiento sísmico que puede ser producido en el sitio por terremotos de cualquier tamaño posible que ocurran en cualquier punto de la fuente.
- d) Combinar las incertidumbres en la ubicación, tamaño y en los parámetros de predicción del movimiento sísmico para obtener la probabilidad de que el parámetro del movimiento sísmico sea excedido durante un periodo de tiempo particular.

#### **2.1.7. Zonas Sísmicas del Ecuador.**

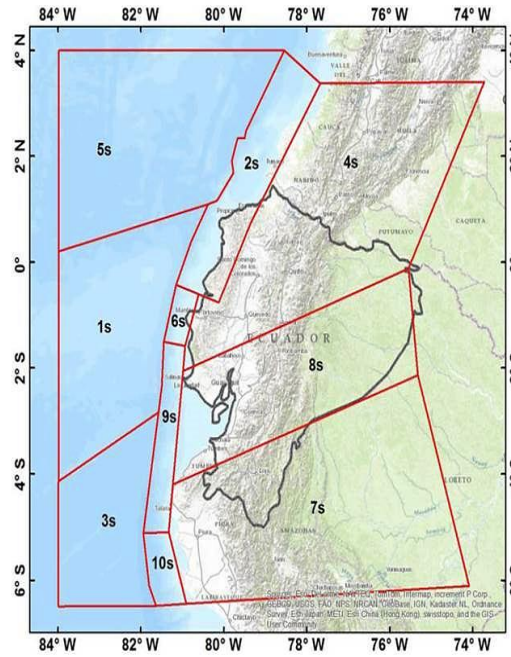
El peligro sísmico en Ecuador está regido principalmente por dos tipos de fuentes sísmicas: subducción (interplaca e intraplaca), y de tipo corticales (superficiales). En cada una de estas fuentes se lleva a cabo un proceso de acumulación y liberación de energía independiente del que ocurre en las demás fuentes. [3]

Los sismos interplaca tienen una profundidad menor a 40 km. Y corresponden a aquellos que se generan por el roce entre la placa de Nazca que subduce bajo la placa Sudamericana a lo largo de su zona de convergencia.

Los sismos intraplaca tienen una profundidad entre 40 y 300 km. Y corresponden a los sismos de falla normal de profundidad intermedia, localizados dentro de la placa Oceánica de Nazca que subduce bajo la placa continental Sudamericana.

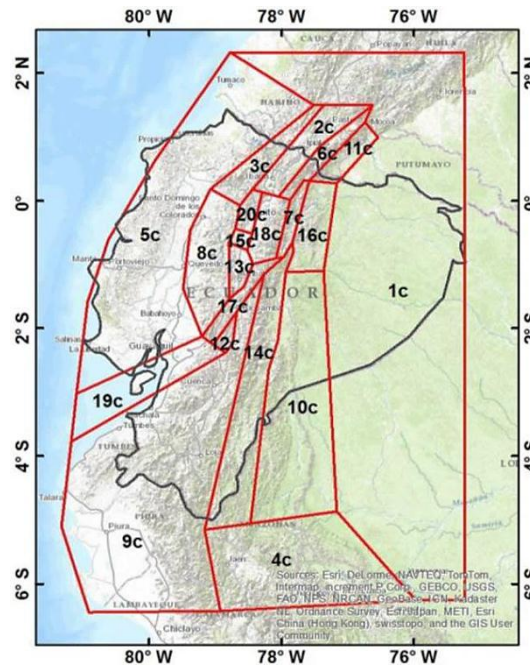
Los sismos corticales tienen una profundidad menor a 40 km. Y corresponden a los sismos someros que ocurren dentro de la placa Sudamericana.

**Figura 19.** Fuentes sísmicas de tipo Subducción.



**Fuente:** Alvarado, A. Neotectónica y cinemática de la deformación continental en Ecuador.

**Figura 20.** Fuentes sísmicas de tipo Corticales.



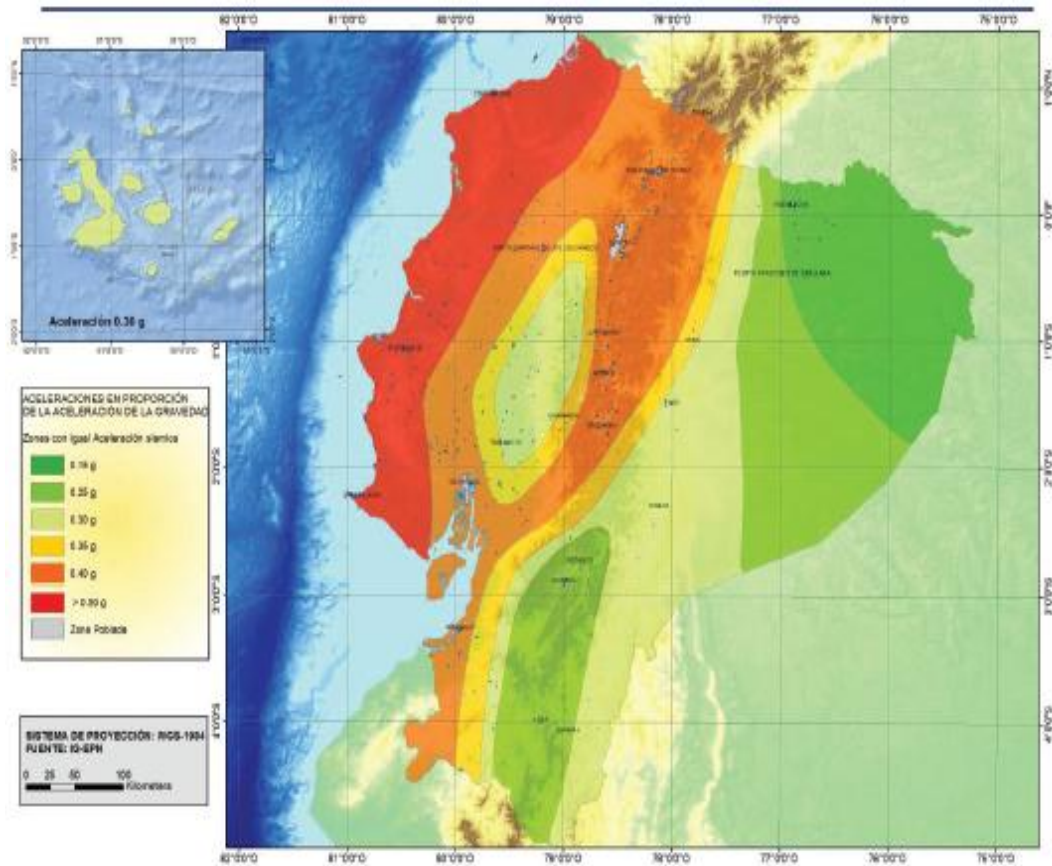
**Fuente:** Alvarado, A. Neotectónica y cinemática de la deformación continental en Ecuador.

### 2.1.7.1. Zonificación Sísmica en Ecuador.

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

Es necesario conocer que el mapa de zonas sísmicas proviene de un estudio completo de peligro sísmico en Ecuador, además se confirma que la principal fuente de generación de energía sísmica en el país se debe al proceso subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana, a todo este comportamiento geodinámico se suma un complejo sistema de fallas locales superficiales, las mismas que producen sismos importantes en gran parte del territorio de Ecuador. [4]

**Figura 21.** Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z.



**Fuente:** NEC-SE-DS (2015).

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

- La evaluación de los eventos principales históricos acompañada de un estudio moderno de re-evaluación de la magnitud y localización de dichos eventos utilizando el método de Bakun & Wentworth (Beauval et. al, 2010). [4]
- El estudio de las principales fuentes sísmicas conocidas (corticales y de subducción) y sus mecanismos focales, que junto con la sismicidad y neotectónica, permitió modelar la geometría de las fuentes sismogénicas y sus parámetros sismológicos (rumbo, buzamiento, magnitud mínima de homogeneidad, tasa media de actividad sísmica, magnitud máxima probable y tasas de recurrencia). [4]
- La utilización de las ecuaciones de predicción, validadas por el Global Earthquake Model, para las fuentes intraplaca (entre ellas Boore y Atkinson, 2008; Akkar y Boomer, 2010; Kanno et. al., 2006; Bindi et. al., 2009) y para las fuentes de subducción (Youngs et. el., 1997; Atkinson y Boore, 2003; Kanno et. al., 2006; McVerry et. at., 2006; Lin y Lee, 2008; Zhao et. al., 2006). [4]

#### **2.1.7.2. Espectro Elástico Horizontal de Diseño en Aceleraciones.**

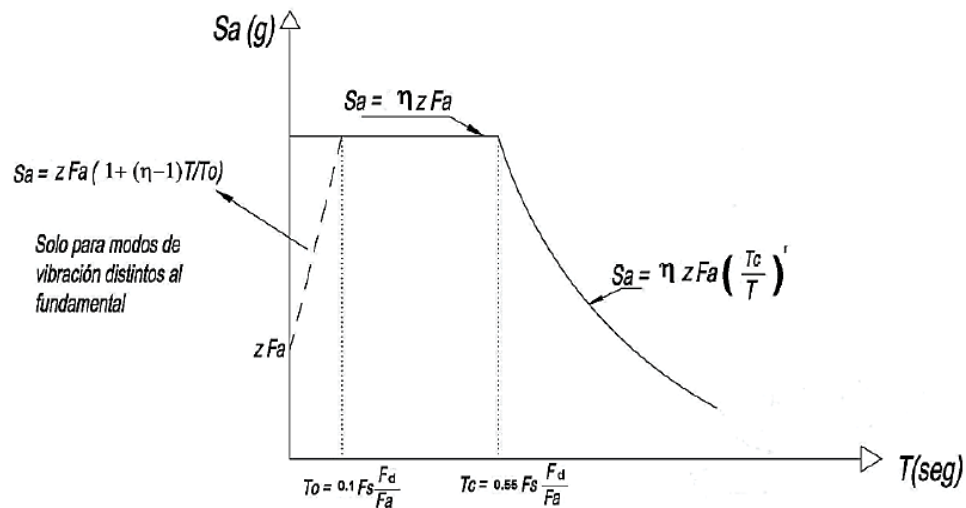
El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura. [4]

Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño. [4]

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones  $S_a$ , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para nivel del sismo de diseño, consistente con: [4]

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

**Figura 22.** Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.



**Fuente:** NEC-SE-DS (2015).

### 2.1.7.3. Período de Vibración.

Es el tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico ondulatorio, o vibratorio, para que el sistema vibratorio vuelva a su posición original considerada luego de un ciclo de oscilación. [4]

### 2.1.7.4. Período de Vibración Fundamental.

Es el mayor período de vibración de la estructura en la dirección horizontal de interés. [4]

### 2.1.7.5. PGA (Peak Ground Acceleration).

Aceleración sísmica máxima en el terreno. [4]



### **2.1.8. Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (GMPE's)**

Al producirse un terremoto existe liberación de energía la cual es transportada por las ondas sísmicas y es disipada de tal modo que el medio vuelva a su estado de equilibrio. Una forma de entender los efectos que causan los eventos sísmicos en las estructuras es la determinación de la aceleración registrada en los suelos, ya que en la evaluación del peligro sísmico los parámetros como los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento, duración de movimiento y frecuencias, etc., desempeñan un papel importante. [28]

Las Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo “Ground Movement Prediction Equation” (GMPE's) o conocidas comúnmente como relaciones de atenuación sísmica consisten en la determinación de relaciones que promedian el comportamiento del movimiento del suelo en función de la distancia y magnitud de los eventos sísmicos. [28]

Es necesario saber que no se deben extrapolar entre regiones de diferentes características, ya que conduciría a errores en la predicción. Un buen criterio se basa en introducir relaciones de atenuación regionales que concuerden con las características sísmicas regionales y con datos propios del sitio de estudio. [28]

- **Atenuación Sísmica.**

Es la disminución de la amplitud de las ondas sísmicas debido a su transmisión a través del interior y por la superficie de la Tierra. Las leyes de atenuación describen la variación de la intensidad del movimiento del terreno en función de la distancia epicentral y la magnitud, estas leyes están en términos de la aceleración máxima (PGA), la misma que se define como el valor máximo absoluto de un registro temporal de la aceleración sísmica del suelo y también en términos de las ordenadas espectrales del espectro de aceleraciones ( $S_a$ ), dada por una magnitud y una distancia epicentral. [28]

- **Magnitud de Momento ( $M_w$ ).**

Escala logarítmica para medir la cantidad de energía liberada por un sismo a partir del momento sísmico, específicamente la magnitud de momento se refiere a la

cantidad de movimiento de roca, es decir la distancia del movimiento a lo largo de una falla o fractura y el área de la falla o superficie de fractura. [28] [29]

- **Magnitud de Momento Sísmico para Fallas Corticales.**

Para el presente estudio la magnitud de momento se obtendrá en base a las expresiones establecidas por Wells, D. y Coppersmith, K. quienes mencionan que los análisis deterministas como probabilistas requieren una evaluación del futuro potencial del terremoto en una determinada región. Por tal razón, el futuro potencial sísmico de un fallo se evalúa a partir de estimaciones de parámetros de ruptura de falla que a su vez están relacionados con la magnitud de momento. [30]

**Tabla 1.** Relaciones empíricas entre magnitud, longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y desplazamiento de superficie.

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

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

**Fuente:** Wells, D. y Coppersmith, K.

- **Magnitud de Momento Sísmico para Fallas de Subducción.**

El cálculo de la Magnitud de Momento en función de la Longitud de Ruptura ( $L$ ), Ancho de Ruptura ( $W$ ), Área de Ruptura ( $A$ ) y Magnitud de Momento ( $M_w$ ), se deriva de las relaciones de escala de la fuente entre las dimensiones de ruptura y magnitud del momento para terremotos en la zona de subducción, separando entre eventos de interfase que ocurren en el contacto de la subducción y las placas tectónicas de primer orden, y eventos intraplaca, que ocurren dentro de la placa de subducción.

Estas relaciones se comparan con las relaciones de escala existentes que se basan predominantemente en datos de eventos de la corteza. [34]

**Tabla 2.** Resultados de regresiones para relaciones entre longitud de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento para Eventos Interfase.

TABLE 1							
Regression results for relations between rupture dimensions, rupture area, and moment magnitude, for interface events. s.e. denotes the standard error of the coefficient under consideration, $R^2$ the coefficient of multiple determination, and $N$ the total number of points used in the regression.							
	$a$	s.e. ( $a$ )	$b$	s.e. ( $b$ )	$\sigma$	$R^2$	$N$
$\log_{10}(L) = a + b \times M_w$	-2.477	0.222	0.585	0.029	0.180	0.814	95
$\log_{10}(W) = a + b \times M_w$	-0.882	0.226	0.351	0.029	0.173	0.634	85
$\log_{10}(A) = a + b \times M_w$	-3.476	0.397	0.952	0.051	0.304	0.805	85
$M_w = a + b \times \log_{10}(L)$	4.868	0.141	1.392	0.069	0.277	0.814	95
$M_w = a + b \times \log_{10}(W)$	4.410	0.277	1.805	0.151	0.392	0.634	85
$M_w = a + b \times \log_{10}(A)$	4.441	0.179	0.846	0.046	0.286	0.805	85

**Fuente:** F. O. Strasser, M. C. Arango, and J. J. Bommer.

**Tabla 3.** Resultados de regresiones para relaciones entre longitud de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento para Eventos Intraplaca.

TABLE 2							
Regression results for relations between rupture dimensions, rupture area, and moment magnitude, for intraslab events. s.e. denotes the standard error of the coefficient under consideration, $R^2$ the coefficient of multiple determination, and $N$ the total number of points used in the regression.							
	$a$	s.e. ( $a$ )	$b$	s.e. ( $b$ )	$\sigma$	$R^2$	$N$
$\log_{10}(L) = a + b \times M_w$	-2.350	0.453	0.562	0.064	0.146	0.813	20
$\log_{10}(W) = a + b \times M_w$	-1.058	0.217	0.356	0.031	0.067	0.893	18
$\log_{10}(A) = a + b \times M_w$	-3.225	0.598	0.890	0.085	0.184	0.874	18
$M_w = a + b \times \log_{10}(L)$	4.725	0.274	1.445	0.164	0.234	0.813	20
$M_w = a + b \times \log_{10}(W)$	3.407	0.317	2.511	0.217	0.178	0.893	18
$M_w = a + b \times \log_{10}(A)$	4.054	0.288	0.981	0.093	0.193	0.874	18

**Fuente:** Fuente: F. O. Strasser, M. C. Arango, and J. J. Bommer.

### 2.1.8.1. Ecuaciones para Sismos Intraplaca.

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

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \varepsilon\sigma_T \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

$Y$ : Aceleración espectral, expresada en gals.

$F_M, F_D, F_S$ : Coeficientes que representan la escala de magnitud, la función de distancia y la amplificación del sitio. (Ver Anexo B).

$R_{JB}$ : Distancia Joyner-Boore, es la distancia más cercana a la proyección de superficie de la falla.

$M$ : Magnitud de Momento.

$V_{S30}$ : Velocidad media de la onda de cortante.

$\varepsilon$ : Desviación estándar.

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

$$\log(PSA) = b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M)\log\sqrt{R^2_{jb} + b_6^2} + b_7S_S + b_8S_A + b_9F_N + b_{10}F_R + \varepsilon\sigma \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde:

$b_{1-10}$ : Coeficientes para la predicción de pseudoaceleración espectral. (Ver Anexo C).

$F_N$ : Mecanismo de Falla Normal.

$F_R$ : Mecanismo de Falla Inversa.

$M$ : Magnitud de Momento.

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

$S_A$ : Suelo Rígido.

$S_S$ : Suelo Suave.

$\sigma$ : Desviación estándar. (Ver Anexo C).

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

Si  $D \leq 30 \text{ Km}$ :

$$\log pre = a_1 M_W + b_1 X - \log(X + d_1 10^{e_1 M_W}) + c_1 + \varepsilon_1 \quad (\text{Ec. 3})$$

Si  $D > 30 \text{ Km}$ :

$$\log pre = a_2 M_W + b_2 X - \log(X) + c_2 + \varepsilon_2 \quad (\text{Ec. 4})$$

Dónde:

$D$ : Profundidad focal.

$a, b, c, d$ : Coeficientes de regresión. (Ver Anexo D).

$M_W$ : Magnitud de Momento.

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

$e_1$ : Distancia agregada ( $e_1 = 0.5$ ).

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ : Errores entre los valores observados y predichos. (Ver Anexo D).

### 2.1.8.2. Ecuaciones para Sismos de Subducción.

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

$$\ln Y = -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \ln(R + 1.097e^{0.617M}) + 0.00648H + 0.3643Z_T \quad (\text{Ec. 5})$$

Dónde:

$Y$ : Aceleración espectral, expresada en g.

$C_{1-3}$ : Coeficientes de relación de atenuación. (Ver Anexo E).

$M$ : Magnitud de Momento.

$R$ : Distancia más cercana a la ruptura en (km).

$H$ : Profundidad focal.

$Z_T$ : Tipo de fuente, 0 para interface, 1 para intraplaca.

- **Modelo de Zhao (2006).**

$$\log Y = aM_W + bx - \log(r) + e(h - h_c)\delta_h + F_R + S_I + S_S + S_{SL} \log(x) + C_k \quad (\text{Ec. 6})$$

Dónde:

**Y:** Aceleración espectral amortiguada al 5% en  $cm/s^2$ .

**M:** Magnitud de Momento.

**a, b, e:** Coeficientes para condiciones de origen y trayectoria. (Ver Anexo F).

**x:** Distancia a la fuente en (km).

**h:** Profundidad focal.

**h<sub>c</sub>:** Constante. (Ver Anexo F).

**C<sub>k</sub>:** Clase de sitio. (Ver Anexo F).

**F<sub>R</sub>:** Aplicado solo a eventos de falla inversa.

**S<sub>I</sub>:** Parámetro del tipo de fuente tectónica. (Ver Anexo F).

**S<sub>S</sub>:** Parámetro aplicable solo a eventos intraplaca. (Ver Anexo F).

**S<sub>SL</sub>:** Parámetro de modificación de trayectoria para eventos de subducción. (Ver Anexo F).

- **Modelo de Atkinson y Boore (2003).**

$$\log Y = fn(M) + c_3h + c_4R - g \log R + c_5 sl S_C + c_6 sl S_D + c_7 sl S_E \quad (\text{Ec. 7})$$

Dónde:

**Y:** Aceleración máxima del suelo.

**M:** Magnitud de Momento.

**h:** Profundidad focal.

**g:** Coeficiente para eventos interplaca e intraplaca.

**S<sub>C</sub>, S<sub>D</sub>, S<sub>E</sub>:** Coeficientes en función del tipo de suelo.

**c<sub>3-7</sub>:** Coeficientes para eventos interplaca. (Ver Anexo G).

### **2.1.9. Metodología de Diseño Sismorresistente.**

Una vez obtenido el espectro específico para el sitio de análisis mediante el estudio de peligro sísmico determinista, se verificará si las estructuras construidas en el sector cumplen con las disposiciones sismorresistentes mínimas establecidas por la NEC-15 y su metodología de un adecuado diseño sismorresistente, comparando los resultados con los obtenidos mediante el espectro de sitio mencionado.

#### **2.1.9.1. Categoría de edificio y Coeficiente de Importancia.**

Es el coeficiente relativo a las consecuencias de un daño estructural y al tipo de ocupación cuyo objetivo es incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de un evento sísmico. [4]

Estos valores se indican en la **Tabla 6:** Tipo de uso, destino e importancia de la estructura. Capítulo de Peligro Sísmico (NEC-SE-DS).

#### **2.1.9.2. Ajuste del Corte Basal de los resultados obtenidos por el Análisis Dinámico.**

El valor del cortante dinámico total en la base obtenido por cualquier método de análisis, no debe ser: [4]

- < 80% del cortante basal  $V$  obtenido por el método estático (estructuras regulares). [4]
- < 85% cortante basal  $V$  obtenido por el método estático (estructuras irregulares). [4]

#### **2.1.9.3. Límites permisibles de las derivas de piso.**

Se define como deriva de piso al desplazamiento lateral relativo de un piso con respecto al piso consecutivo, medido en dos puntos ubicados en la misma línea vertical de la estructura. [4]

La deriva máxima para cualquier estructura no excederá los límites de deriva inelástica establecidos en la **Tabla 7**: Valores de  $\Delta_M$  máximos, expresados como fracción de la altura de piso. Capítulo de Peligro Sísmico (NEC-SE-DS). [4]

La deriva de piso se calcula restando del desplazamiento del extremo superior el desplazamiento de extremo inferior del piso, mediante la siguiente fórmula: [4]

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_E \quad (\text{Ec. 8})$$

Dónde:

$\Delta_M$ : Deriva máxima inelástica.

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

$R$ : Factor de reducción de resistencia.

Se debe verificar:

$$\Delta_M < \Delta_M \text{máxima}$$

#### 2.1.9.4. Configuración Estructural.

- **Configuraciones a privilegiar.**

Se procurará que la configuración de la estructura sea simple y regular de tal manera que se logre un adecuado desempeño sísmico, para lo cual se tomarán en cuenta las recomendaciones de la **Tabla 11**: Configuraciones estructurales recomendadas. Capítulo de Peligro Sísmico (NEC-SE-DS). [4]



- **Configuraciones más complejas.**

Se evitarán cambios abruptos de rigidez y resistencia con el fin de impedir concentración de daños en los elementos estructurales y se produzca deterioro de la ductilidad global del sistema. [4]

Al utilizar una configuración similar a las no recomendadas, se seguirán los lineamientos especificados en la **Tabla 12: Configuraciones estructurales no recomendadas**. Capítulo de Peligro Sísmico (NEC-SE-DS).

#### **2.1.9.5. Regularidad en planta y elevación.**

Se considera a una estructura como regular en planta y elevación cuando no presenta ninguna de las condiciones de irregularidad descritas en la **Tabla 12** y **Tabla 13** Capítulo de Peligro Sísmico (NEC-SE-DS).

#### **2.1.9.6. Irregularidades y coeficientes de configuración estructural.**

Las estructuras irregulares tanto en planta como en elevación, serán penalizadas con coeficientes de configuración estructural en el diseño, con fines de tomar en cuenta dichas irregularidades las cuales son causantes de un comportamiento estructural deficiente ante la ocurrencia de un evento sísmico. [4]

Los coeficientes de configuración estructural incrementan el valor del cortante de diseño, con la intención de otorgar mayor resistencia a la estructura; mas no evita el posible comportamiento sísmico deficiente de la estructura. Por tal razón es importante evitar la presencia de dichas irregularidades. [4]

La **Tabla 13** y **Tabla 14** del Capítulo de Peligro Sísmico (NEC-SE-DS) se describen las tipologías de irregularidades que se pueden presentar con mayor frecuencia en las estructuras.

### 2.1.9.7. Cortante Basal de Diseño.

Es la fuerza total de diseño por cargas laterales aplicada en la base de la estructura que es el resultado de la acción del sismo de diseño con o sin reducción. [4]

El cortante basal de diseño se determinará mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{I * S_a * (T_a)}{R * \phi_P * \phi_E} * W$$

(Ec. 9)

Dónde:

$S_a(T_a)$ : Espectro de diseño en aceleración.

$\phi_P$  y  $\phi_E$ : Coeficientes de configuración en planta y elevación.

$I$ : Coeficiente de importancia.

$R$ : Factor de reducción de resistencia sísmica.

$W$ : Carga sísmica reactiva.

$T_a$ : Período de vibración.

- **Determinación del período de vibración ( $T$ ).**

Se define como período de vibración al tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico ondulatorio o vibratorio, para que el sistema regrese a su posición inicial. [4]

El período de vibración se calculará mediante la siguiente expresión:

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

(Ec. 10)

Dónde:

$T$ : Período de vibración.

$C_t$ : Coeficiente que depende del tipo de edificio. (**Tabla:** Coeficiente que depende del tipo de edificio e Impedencia del semiespacio. Capítulo de Peligro Sísmico (NEC-SE-DS)).

$h_n$ : Altura máxima del edificio de  $n$  pisos, medida en metros desde la base de la estructura.

$\alpha$ : Impedencia del semiespacio. (**Tabla:** Coeficiente que depende del tipo de edificio e Impedencia del semiespacio. Capítulo de Peligro Sísmico (NEC-SE-DS)).

- **Ductilidad y Factor de Reducción de Resistencia Sísmica ( $R$ ).**

El factor  $R$  permite una reducción de las fuerzas sísmicas de diseño, esto es permitido cuando las estructuras y sus conexiones se diseñen para diseñar un mecanismo de falla previsible y con ductilidad adecuada, en donde se concentre el daño en secciones detalladas especialmente para funcionar como rótulas plásticas. [4]

Los factores de reducción de resistencia sísmica dependen de algunas variables tales como:

- a) Tipo de estructura.
- b) Tipo de suelo.
- c) Período de vibración considerado.
- d) Factores de ductilidad, sobre resistencia, redundancia y amortiguamiento de una estructura en condiciones límite.

Los grupos estructurales de acuerdo con  $R$  se describen en la **Tabla 15:** Coeficiente  $R$  para sistemas estructurales dúctiles. y **Tabla 16:** Coeficiente  $R$  para sistemas estructurales de ductilidad limitada. Capítulo de Peligro Sísmico (NEC-SE-DS).

- **Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura ( $T$ ).**

Determinación de  $k$ :

**Tabla 4.** Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura.

Valores de T (s)	k
$\leq 0.5$	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75 + 0.50 T$
$> 2.5$	2

**Fuente:** NEC-SE-DS (2015).

## **2.2.HIPÓTESIS.**

El estudio de peligro sísmico determinista influye en el comportamiento de las estructuras del Cantón Ambato Sector Huachi Loreto ubicado en la Avenida Las Américas, Avenida del Rey, Avenida Bolivariana y Camino del Rey.

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

### **2.3.1. Variable Dependiente.**

Nivel de amenaza de las estructuras del Cantón Ambato Sector Huachi Loreto ubicado en la Avenida Las Américas, Avenida del Rey, Avenida Bolivariana y Camino del Rey.

### **2.3.2. Variable Independiente.**

Peligro sísmico determinista.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

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

La metodología que se utilizará para el desarrollo del presente trabajo de investigación consiste en reunir información publicada por diferentes fuentes y autores relacionados a peligro sísmico.

Los tipos de investigación que serán utilizados en el presente trabajo son: Exploratorio y de Laboratorio.

- Exploratorio ya que no se ha realizado el peligro sísmico para las estructuras del Cantón Ambato – Sector Huachi Loreto, la metodología consiste en comparar los espectros de respuesta de los sistemas de fallas seleccionadas con el espectro propuesto por la NEC-15.
- De laboratorio porque la obtención de datos se llevará a cabo mediante ensayos y pruebas que permitan determinar el tipo de suelo para lo cual se utilizarán el SPT (Ensayo de Penetración Estándar) y el Ensayo de Granulometría, los mismos que permitirán conseguir una aproximación de los parámetros de respuesta sísmica del suelo en la zona de investigación. Se utilizará el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Además, se realizará el análisis dinámico de tres edificaciones tipo del sector utilizando el programa computacional de simulación ETABS que permitirá evaluar la conducta de una edificación ante un evento sísmico.

### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.

- **Población.**

El estudio del Peligro Sísmico Determinista se lo realizará para las estructuras del Cantón Ambato Sector Huachi Loreto ubicado entre la Avenida Las Américas, Avenida del Rey, Avenida Bolivariana y Camino del Rey (Figura 16). Para lo cual es necesario conocer las características geotectónicas del suelo y aplicar las Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo que se utilizarán para la investigación.

- **Muestra.**

Son tres las estructuras que serán evaluadas.

Para el análisis de suelos se realizarán 5 Ensayos de Penetración Estándar (SPT), los cuales están distribuidos a lo largo de la zona de estudio (Figura 16).

Las Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPE's) a ser utilizadas son las siguientes:

**Tabla 5.** Ecuaciones de atenuación utilizadas.

<b>CORTICALES</b>	<b>SUBDUCCIÓN</b>
Boore y Atkinson (2008)	Youngs (1997)
Akkar y Bommer (2010)	Zhao (2006)
Kanno (2006)	Atkinson y Boore (2003)

**Elaborado por:** Talía Cevallos.



**Figura 23.** Área de análisis.



**Fuente:** Google Earth Pro.



Las coordenadas de los puntos donde se realizaron los ensayos SPT (Ensayo de Penetración Estándar) se muestran a continuación:

**Tabla 6.** Coordenadas de los Ensayos SPT.

<b>Punto</b>	<b>Coordenadas (Zona 17 M)</b>	
	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
1	765257	9861342
2	765111	9861624
3	764928	9862390
4	765208	9862808
5	764956	9863133

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

#### 3.3.1. Variable Independiente.

Peligro Sísmico Determinista.

**Tabla 7.** Operacionalización de la Variable Independiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Es la probabilidad de ocurrencia de sismos durante un período específico de tiempo y dentro de una región determinada con movimientos del suelo cuyos parámetros de aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados.	- Magnitud de Momento.	- Longitud de ruptura superficial.	- ¿Cuál es la longitud de ruptura superficial?	- Experimental. - Bibliográfica.
	- Distancia a la fuente.	- Distancia de Joyner-Boore.	- ¿Cuál es la distancia de Joyner-Boore?	- Experimental. - Bibliográfica.
	- Velocidad de la onda media de cortante.	- Correlación empírica (Nspt).	- ¿Cuál es la correlación empírica empleada?	- Experimental. - Bibliográfica.
	- Fuentes sísmicas.	- Fallas geológicas.	- ¿Cuáles son las fallas geológicas cercanas al área de estudio?	- Experimental. - Bibliográfica.
	- Ecuaciones de Atenuación.	- Aceleración	- ¿Cuál es la aceleración esperada?	- Experimental. - Bibliográfica.

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

### 3.3.2. Variable Dependiente.

Comportamiento de las estructuras del Cantón Ambato Sector Huachi Loreto ubicado en la Avenida Las Américas, Avenida del Rey, Avenida Bolivariana y Camino del Rey.

**Tabla 8.** Operacionalización de la Variable Dependiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Las estructuras son diseñadas para soportar cargas estáticas y cargas dinámicas, por ende ante la ocurrencia de un evento sísmico las estructuras deben favorecer a un comportamiento dúctil que permita el desplazamiento de la estructura sin que colapse, esto lo permitirá la formación de grietas localizadas en la base de las columnas, en los extremos de las vigas o en la base de los muros de tal manera que la estructura se deforme y se adapte a los desplazamientos que requiere el sismo.	- Configuración estructural.	- Derivas.	- ¿Cuáles son las derivas máximas obtenidas?	- Experimental. - Bibliográfica.
		- Cortantes estáticos.	- ¿Cuáles son los cortantes estáticos obtenidos?	- Experimental. - Bibliográfica.
		- Cortantes dinámicos.	- ¿Cuáles son los cortantes dinámicos obtenidos?	- Experimental. - Bibliográfica.
		- Períodos de vibración.	- ¿Cuáles son los períodos de vibración de las estructuras?	- Experimental. - Bibliográfica.

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

### 3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

**Tabla 9.** Plan de recolección de información.

<b>Preguntas Básicas</b>	<b>Explicación</b>
<b>1. ¿Para qué?</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Para evaluar el peligro en las estructuras del Cantón Ambato Sector Huachi Loreto ubicado en la Avenida Las Américas, Avenida del Rey, Avenida Bolivariana y Camino del Rey.</li></ul>
<b>2. ¿De qué personas u objetos?</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Régimen tectónico, Fallas seleccionadas y Tipo de Suelos en el área de estudio.</li></ul>
<b>3. ¿Sobre qué objetos?</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Influencia del peligro sísmico determinista para las estructuras.</li></ul>
<b>4. ¿Quién?</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Talía Alexandra Cevallos Pilco.</li></ul>
<b>5. ¿Dónde?</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Cantón Ambato Sector Huachi Loreto ubicado en la Avenida Las Américas, Avenida del Rey, Avenida Bolivariana y Camino del Rey.</li><li>– Laboratorios de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.</li></ul>
<b>6. ¿Cómo?</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Investigación bibliográfica.</li><li>– Ensayos in situ.</li><li>– Ensayos de laboratorio.</li><li>– NEC-15.</li></ul>

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

### 3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.

El proceso a seguir se realizará de la siguiente manera:

- Reconocer el régimen tectónico en base al área de estudio.
- Seleccionar las fallas más relevantes que inciden en el área de estudio, a partir de los datos establecidos por el Catálogo Homogenizado del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN).
- Identificar mediante los resultados del Ensayo de Penetración Estándar (SPT) el tipo de perfil de suelo que prevalece en el área de estudio en base a las disposiciones de la NEC-15.
- Determinar la velocidad de onda cortante  $V_S$ .
- Estimar la magnitud de momento sísmico mediante las ecuaciones de Strasser (2010) para el régimen de subducción y Wells-Coppersmith (1994) para el régimen cortical.
- Utilizar las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPE's) para el cálculo de la aceleración máxima del suelo de cada una de las fallas seleccionadas de acuerdo al régimen tectónico.
- Obtener el espectro determinista a partir de valores pico generados por los espectros de cada una de las fallas.
- Realizar la modelación estructural de tres estructuras tipo correspondientes al área de estudio mediante la utilización del software ETABS.
- Verificar los cortantes, derivas y períodos mediante el uso del espectro determinista y el espectro de la NEC-15.
- Analizar el comportamiento de las estructuras ante las solicitaciones del espectro determinista y el espectro establecido por la NEC-15.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

#### 4.1.RECOLECCIÓN DE DATOS.

##### 4.1.1. Régimen Tectónico.

El sector Huachi Loreto ubicado entre la Avenida Las Américas, Avenida del Rey, Avenida Bolivariana y Camino del Rey de la ciudad de Ambato se encuentra en la región Interandina del Ecuador en la hoya del río Patate, atravesada por el río Ambato a una altitud de 2580 m.s.n.m. La ciudad pertenece a la provincia de Tungurahua y está ubicada en una zona sísmica y volcánica.

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

Ecuador está ubicado en la región noroccidente de América del Sur es un territorio sísmicamente activo que históricamente ha sido afectado por numerosos terremotos destructivos, entre los que se pueden citar están el terremoto de Esmeraldas en el año 1906 con  $M_w = 8.8$ , terremoto de Ambato en 1949 con  $M_w = 6.8$ , Reventador en 1987 con  $M_w = 6.1$  y  $6.9$ , Bahía de Caráquez en 1998  $M_w = 7.2$  y el más reciente en Pedernales en 2016  $M_w = 7.8$ . [38]

Ambato a lo largo de su historia ha sido afectada por eventos sísmicos pero el que causó más daños fue el del 5 de agosto de 1949 el cual tuvo una magnitud de 8 en la escala de Richter, originándose a una profundidad de 40 km. Las ciudades cercanas de Guano, Patate, Pelileo y Píllaro fueron destruidas, sufriendo la ciudad de Ambato el daño más severo. [9]

El terremoto de 1949, inicialmente siguió un cruce de varias fallas de noroeste a sureste en el Valle Interandino, que fueron creados por la subducción de la dorsal de Carnegie. Hoy en día esas amenazas geológicas existen en todo el país tanto de sismicidad interplaca como intraplaca. [9]

A continuación, se muestra una tabla de los sismos de mayor intensidad que se han sentido en la ciudad:

**Tabla 10.** Intensidades sentidas en la ciudad de Ambato.

<b>Evento</b>	<b>Año</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Escala</b>
Terremoto de Lima-Perú.	1687	VIII	MSK
Terremoto de Riobamba-Ambato.	1698	IX	MSK
Terremoto de Riobamba.	1797	X	MSK
Sismo de Ambato-Pelileo.	1949	X	MSK
Sismo de Pedernales.	2016	V	MSK

**Fuente:** IGEPN.

El origen de los eventos sísmicos en Ecuador tiene dos fuentes principales:

- Debido al fallamiento cortical que afecta al Bloque Norandino y a la placa Sudamericana y,
- Debido a procesos de subducción de la placa oceánica Nazca bajo el bloque Norandino y la placa Sudamericana. [36]

En nuestro país el principal comportamiento tectónico es el choque entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental Sudamericana debido a este enfrentamiento se produce el fenómeno de subducción, por el cual la placa de Nazca al ser más rígida y fuerte se introduce por debajo de la placa Sudamericana y continúa moviéndose hacia el manto a una velocidad de 60 mm/año con una dirección aproximada Este-Oeste, se hunde con un ángulo entre 25° y 35° y es discontinua a una profundidad cercana a los 200 km. Convirtiéndose así este fenómeno en una fuente generadora de sismos y erupciones volcánicas. [35] [37] [38]

Entre todos los fenómenos asociados a una zona de subducción los que representan más peligro son los terremotos, ya que se estima una liberación de energía alrededor de un 80% en dichas zonas. [37]

**Tabla 11.** Eventos sísmicos asociados al Régimen de Subducción.

<b>Lugar</b>	<b>Magnitud (Mw)</b>	<b>Año</b>	<b>Epicentro</b>
Esmeraldas	8.8	1906	Costas afuera de Mompiche
Manabí	7.8	1942	Pedernales
Manabí	7.8	1958	Pedernales
Esmeraldas	8.1	1979	Costas afuera de San Lorenzo
Manabí	7.8	2016	Pedernales

**Fuente:** IGEPN.

#### **4.1.1.1.1. Fuentes Sísmicas.**

Las zonas sismogénicas se han definido combinando distintos tipos de información geofísica e identificando los límites de zonas agrupadas en tres regímenes tectónicos: [39]

- **Cortical.**

Se localiza a partir del margen continental hacia el este y se encuentra constituida por la placa continental y el Bloque Norandino, este último tendría una dirección de movimiento Noreste posiblemente a través de un sistema de fallas activo. Se considera que el proceso de subducción sería un factor influyente en la geomorfología de la corteza, identificándose dentro de esta a tres subzonas: [38]

- a) **Zona Costera** que alcanzaría una profundidad de 40 km. [38]
- b) **Zona de Cordillera** cuyo espesor alcanzaría de 50 a 75 km de profundidad.
- c) **Zona Oriental** que conforma la cuenca alta del Amazonas. [38]

- **Subducción Interplaca.**



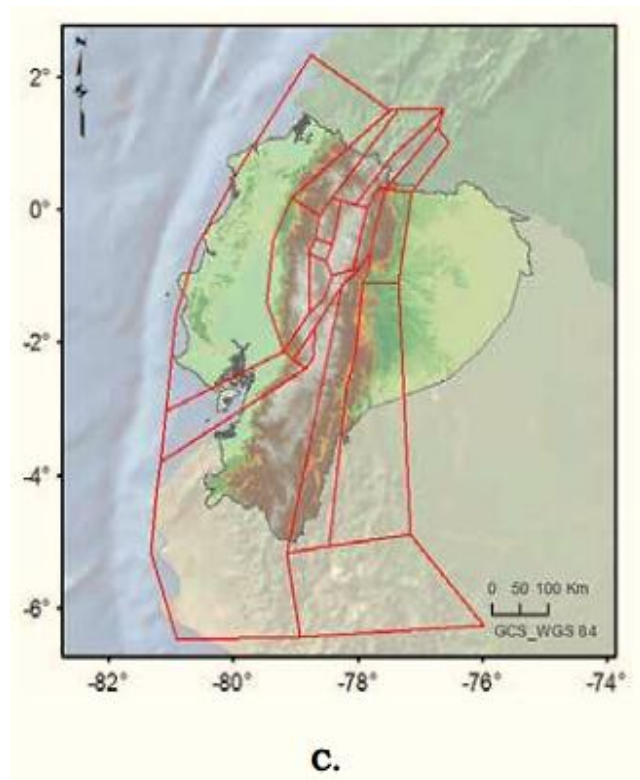
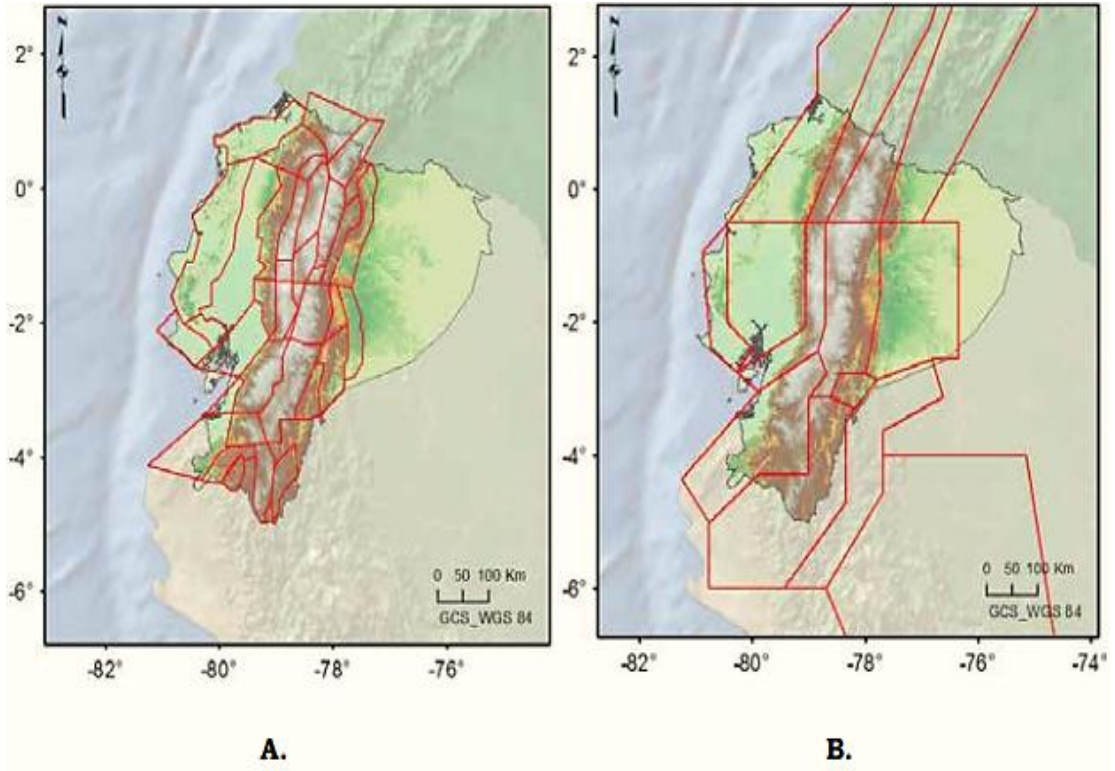
Comienza en el límite Nazca-Sudamericana y se extiende hasta aproximadamente 40-70 km. Se diferencia de la zona de subducción más profunda en los siguientes aspectos: [38]

- a) En esta zona es donde se bloquea parte del movimiento de Nazca, lo que ocasionaría la deformación de la placa más densa que subduce, junto a la acreción del margen continental y una mayor acumulación de tensión. [38]
- b) El ángulo de inmersión del techo de la placa oceánica ( $4^{\circ}$ - $10^{\circ}$ ) es menor al de la subducción más profunda, extendiéndose hasta una distancia de 100-120 km al este de la fosa, que marcaría el inicio de la fuente sísmica intraplaca. [38]

- **Subducción Intraplaca.**

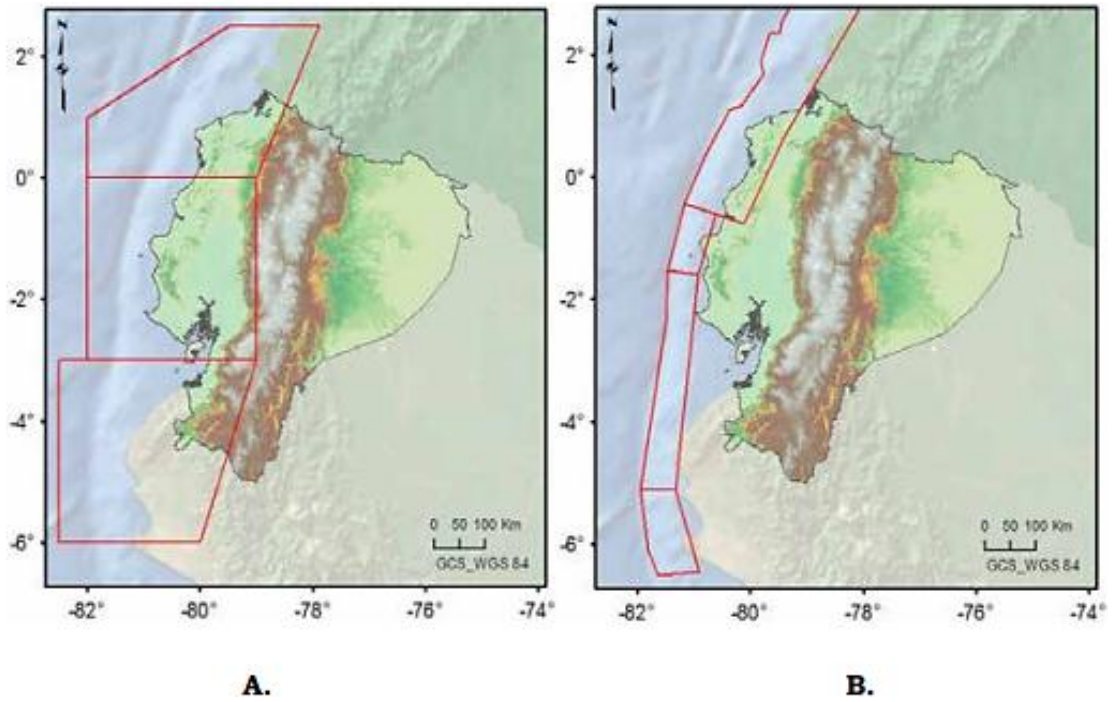
Se extendería desde el límite de la subducción interplaca hasta 400-500 km al este de la trinchera y a una profundidad aproximada de 200 km. Su dinámica se manifiesta por la ocurrencia de sismicidad a diferentes niveles de profundidad y por la presencia de un amplio arco volcánico adakítico en los Andes ecuatorianos. La pendiente de la placa presenta una mayor inclinación que la subducción interplaca, cuyo ángulo varía en el rango de  $17^{\circ}$ - $35^{\circ}$ , siendo más superficial al sur del Ecuador y más inclinada y profunda al centro y norte del país. [38]

**Figura 24.** Zonificaciones para Régimen Cortical.



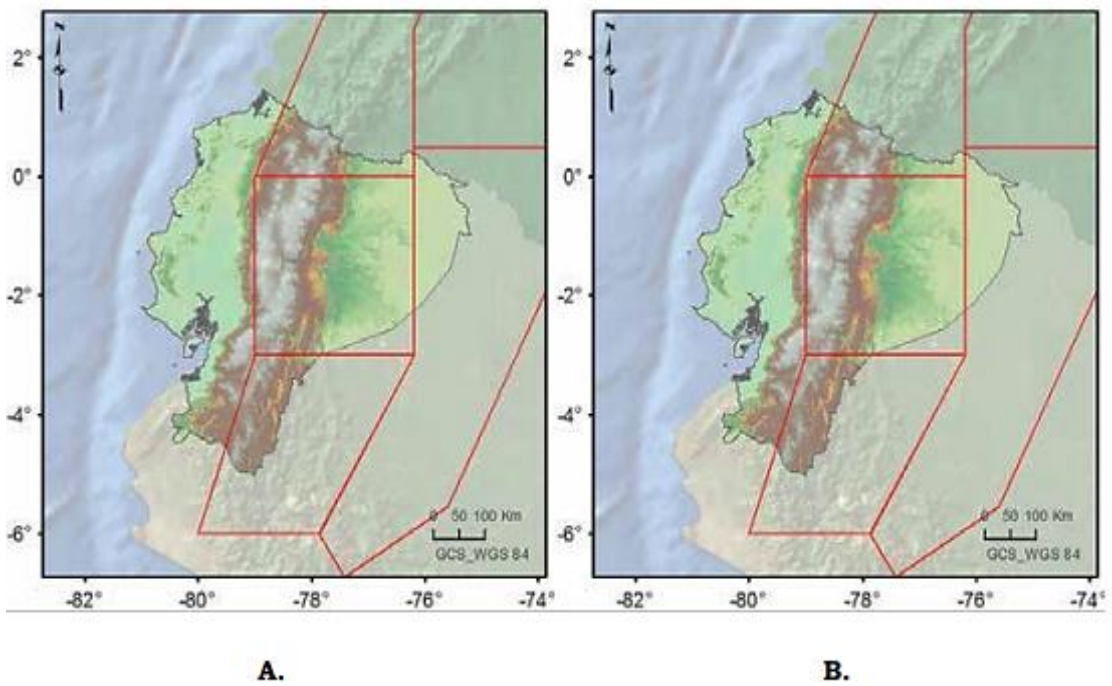
**Fuente:** Estimación de la Peligrosidad Sísmica en Ecuador continental.

**Figura 25.** Zonificaciones para Subducción Interplaca.



**Fuente:** Estimación de la Peligrosidad Sísmica en Ecuador continental.

**Figura 26.** Zonificaciones para Subducción Intraplaca.



**Fuente:** Estimación de la Peligrosidad Sísmica en Ecuador continental.

#### **4.1.2. Selección de las Fallas Geológicas.**

El criterio para la selección de fallas geológicas que afectan al área de estudio se basa en la longitud y distancia de la fuente al sitio de análisis. Se utilizarán los datos que nos proporciona la página del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

A continuación, se muestran las imágenes obtenidas de la página del IGEPN, detallando las fallas existentes en Ecuador, Tungurahua, Ambato y en el sector de Huachi Loreto ubicado entre la Avenida Las Américas, Avenida del Rey, Avenida Bolivariana y Camino del Rey respectivamente.

**Figura 27.** Fallas geológicas en Ecuador, Corticales y de Subducción.



### Leyenda

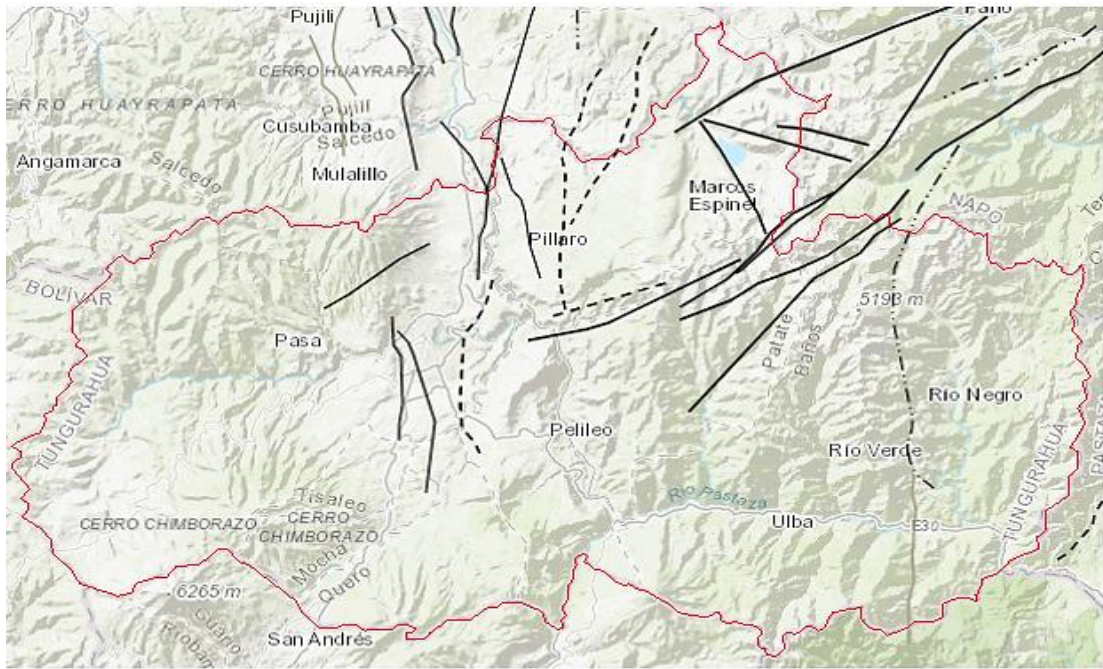
#### Falla tectónica

- |   |       |                               |
|---|-------|-------------------------------|
| — | ---   | transcurrente dextra          |
| — | -·-·- | transcurrente dextra inversa  |
| — | ---   | transcurrente inversa         |
| — | ---   | transcurrente inversa ciega   |
| — | —     | transcurrente normal          |
| — | -·-·- | transcurrente senestra        |
| — | ---   | transcurrente senestra normal |
| — |       | eje anticlinal                |
| — |       | inversa                       |
| — |       | inversa ciega                 |
| — |       | normal                        |
| — |       | normal dextra                 |
| — |       | transcurrente                 |

**Fuente:** Catálogo del IGEPN.

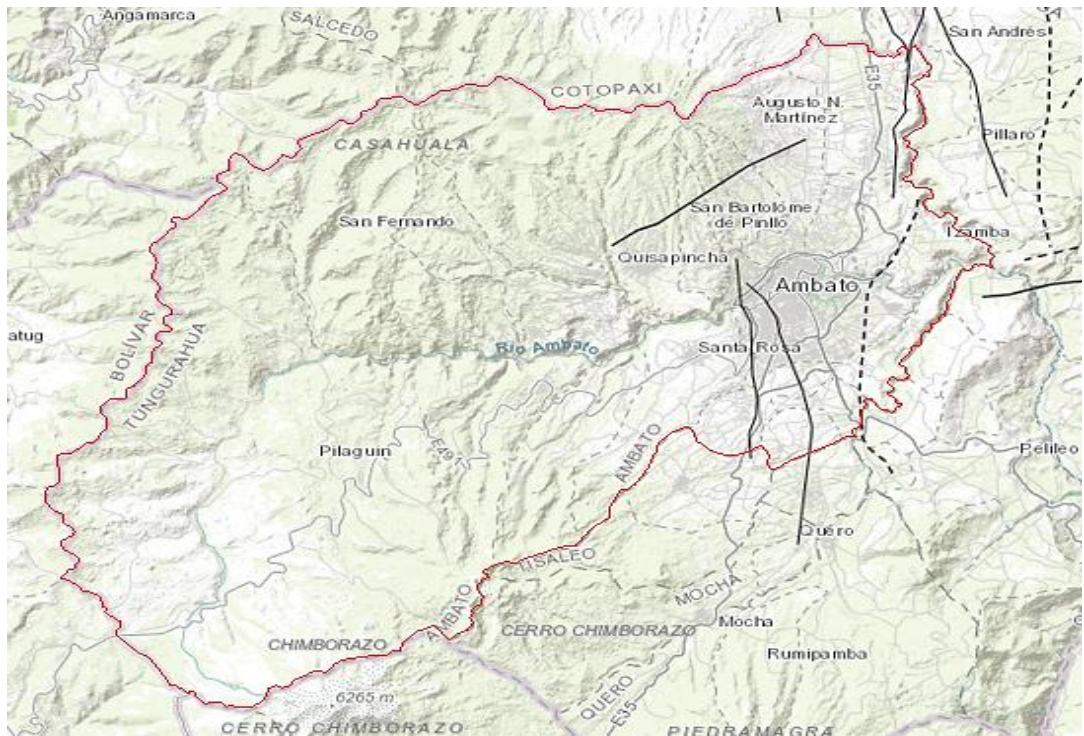


**Figura 28.** Fallas geológicas en Tungurahua.



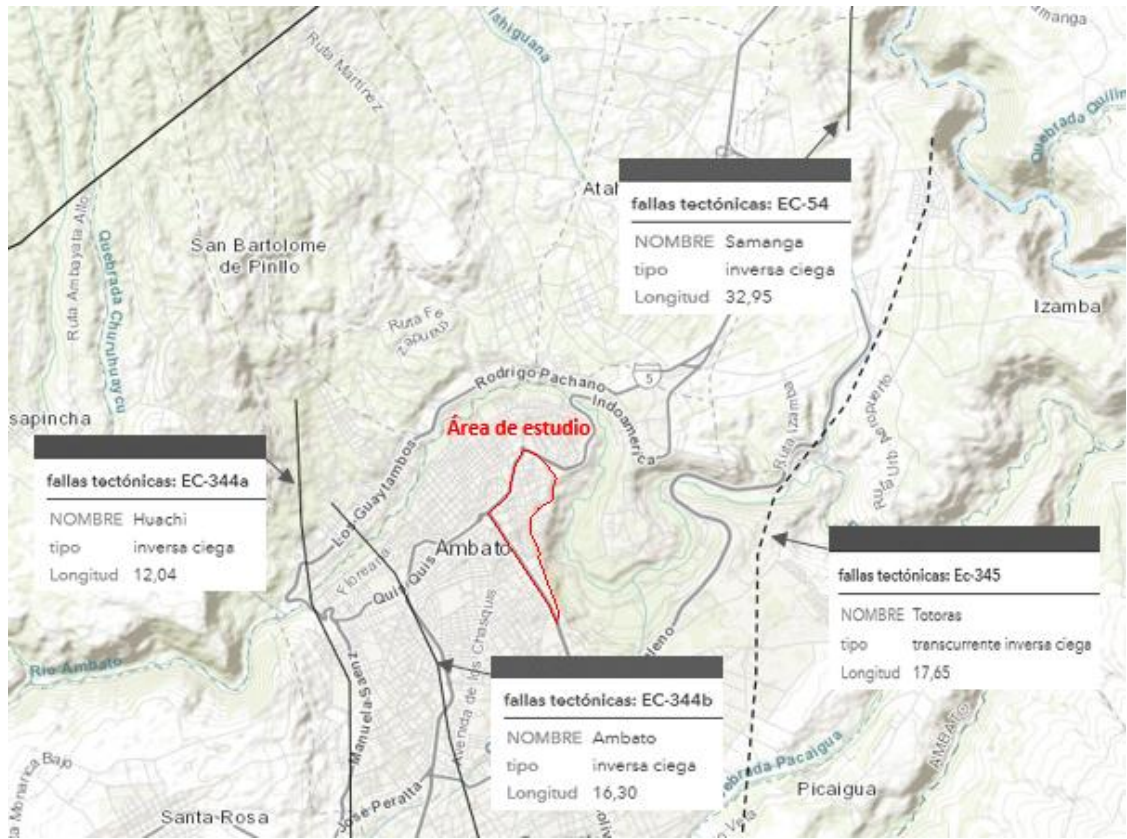
**Fuente:** Catálogo del IGEPN.

**Figura 29.** Fallas geológicas en Ambato.



**Fuente:** Catálogo del IGEPN.

**Figura 30.** Fallas geológicas cerca del área de estudio.



**Fuente:** Catálogo del IGEPN.

En la siguiente tabla se especifican las fallas tectónicas seleccionadas cerca al área de estudio con su respectiva distancia y longitud al sitio de análisis.

**Tabla 12.** Fallas Tectónicas.

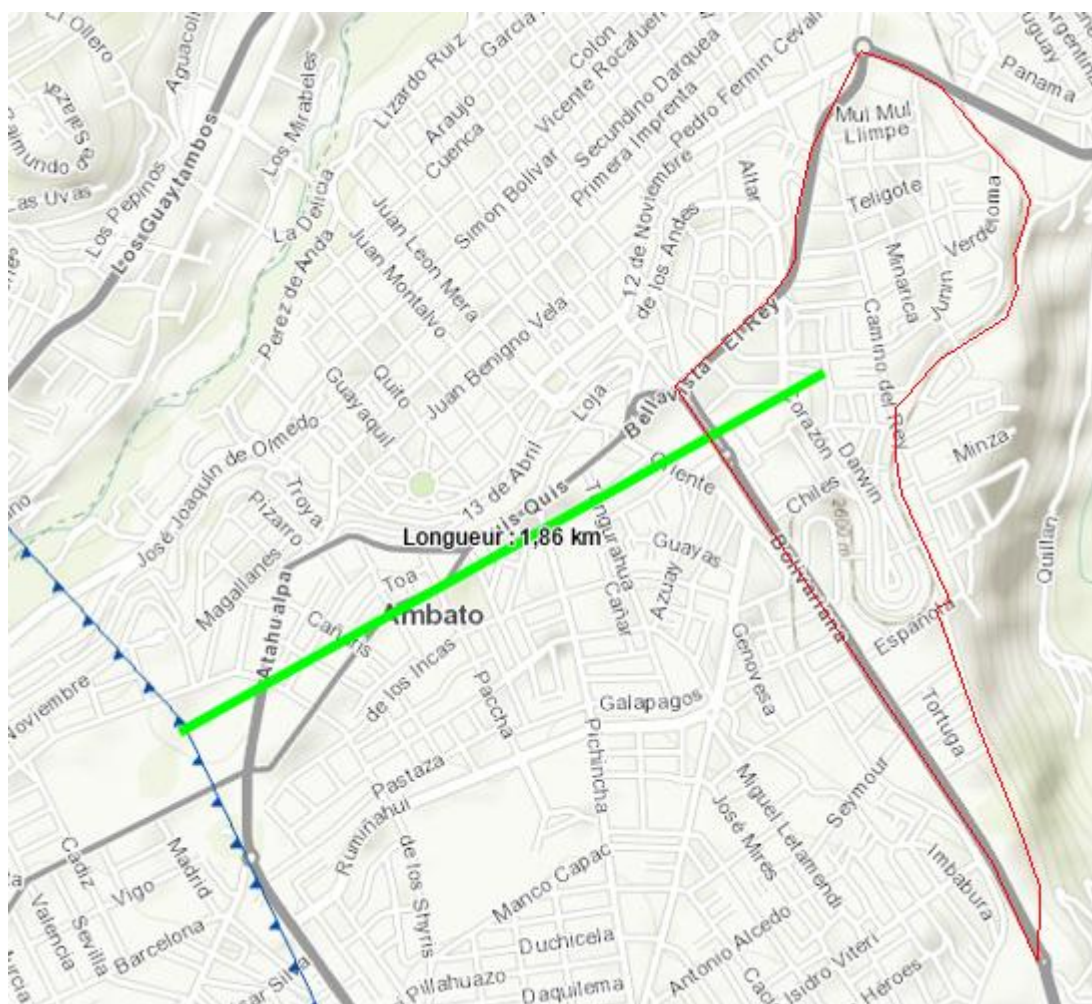
<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Longitud (Km)</b>	<b>Distancia (Km)</b>
EC-54	Samanga	Inversa Ciega	32.95	6.93
EC-344a	Huachi	Inversa Ciega	12.04	3.03
EC-344b	Ambato	Inversa Ciega	16.30	1.86
EC-345	Totoras	Transcurrente Inversa Ciega	17.65	3.46
EC-223	Subducción	Inversa	1536.49	307.83

**Fuente:** Catálogo del IGEPN.



La falla tectónica más cercana al área de estudio es la falla Ambato, así que se tomó un punto medio en el sector y se midió una distancia horizontal perpendicular a dicha falla para determinar la distancia mínima a la proyección de la superficie del plano de ruptura establecida por Joyner-Boore ( $R_{JB}$ ).

**Figura 31.** Distancia perpendicular desde la falla más cercana al área de estudio.



**Fuente:** Catálogo del Neo Tec.



#### 4.1.3. Caracterización del Suelo.

Desde el punto de vista ingenieril, el suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras del que importan las propiedades físico-químicas, pero sobretodo las propiedades mecánicas. Estas propiedades hacen posible la determinación del tipo de suelo y la interpretación de cuál es su interacción con las estructuras ante un evento sísmico.

##### 4.1.3.1. Tipos de perfiles de suelos.

La NEC-15 clasifica el perfil de los suelos en base a los siguientes parámetros: Velocidad de onda cortante ( $V_s$ ), Número medio de golpes del ensayos SPT para cualquier tipo de perfil ( $N$ ) tanto para suelos cohesivos como para suelos no cohesivos; o la consideración del Número medio de golpes del SPT para estratos no cohesivos ( $N_{ch}$ ) y la Resistencia al corte no drenado para suelos cohesivos ( $S_u$ ). [4]

Para el presente trabajo de investigación se clasificará el perfil de suelo mediante el número de golpes del ensayo SPT para cualquier tipo de perfil ( $N$ ).

**Tabla 13.** Clasificación de los perfiles de suelo.

<b>TIPO DE PERFIL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
<b>A</b>	Perfil de roca competente.	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
<b>B</b>	Perfil de roca de rigidez media.	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
<b>C</b>	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios.	$N \geq 50.0 \text{ } S_u \geq 100 \text{ Kpa}$
<b>D</b>	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$

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

**Fuente:** NEC-SE-DS (2015).

- **Ensayo de Penetración Estándar (SPT).**

El Ensayo de Penetración Estándar es un método de ensayo para determinar indirectamente el grado de resistencia del suelo in situ. El cual consiste en contar el número de golpes necesarios para hincar el muestreador una determinada longitud, mediante un peso determinado que cae de una altura establecida. [41]

La recuperación de la muestra de suelo obtenida que ingresa al muestreador proporciona el material necesario para su descripción en el campo y para verificar sus propiedades físico-mecánicas en el laboratorio. [41]

Es necesario conocer que este ensayo debe hacerse en cada cambio de estrato o con intervalos no mayores de un metro en capas homogéneas. [41]

El procedimiento para la ejecución de este ensayo es el siguiente:

- a) Apoyar el muestreador en el sitio determinado para el ensayo y proceder a hincarlo mediante golpes del martinete lanzado en caída libre desde una altura de  $75 \pm 5$  cm sobre la cabeza del golpe. Para levantar el martinete debe hacérselo con cabo de manila o similar, y en caso de ser accionado mecánicamente, el cabo no debe enrollarse más de dos vueltas en el malacate. [41]
- b) Mantener perfectamente vertical la barra rígida de acero que sirve de guía en la caída del martinete, con el propósito de asegurar que la energía de los golpes no disminuya por efectos de la fricción. [41]
- c) Penetrar el muestreador 15 cm al inicio, este proceso necesario sirve como preparación y ajuste del ensayo, dado que el número de golpes para este primer tramo tiene únicamente un valor relativo de orientación. [41]
- d) Registrar separadamente en tramos de 15 cm el número de golpes necesarios para penetrar el muestreador una longitud de 30 cm. Si al hincar este tramo sobrepasan los 50 golpes, sin que hubiera penetrado la totalidad de la medida indicada, se debe anotar el número de golpes efectuados y la fracción o longitud de penetración del muestreador. [41]
- e) Luego del hincado y antes de extraer el muestreador a la superficie debe girarse por lo menos dos revoluciones, a fin de cortar la muestra en el fondo, después se procederá a extraer el muestreador, se lo abre y se determina la longitud de la muestra extraída, se retira la muestra, desechando la parte superior que no se considera representativa. [41]
- f) La muestra obtenida se debe guardar y cerrar herméticamente con su respectiva identificación para su posterior análisis en el laboratorio. [41]

La investigación subterránea se realizó mediante ensayos mecánicos SPT con cinco perforaciones estratégicas como se indica en la **Figura 23**, las cuales tuvieron como

objetivo principal determinar los tipos de suelos que conforman el área en estudio, arrojando la siguiente información:

**Tabla 14.** Resultados SPT (P1).

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>NSPT (parcial)</b>	<b>NSPT (total)</b>
55	Limpieza	23
70	7	
85	10	
100	13	
120	23	54
135	26	
150	28	
170	27	70
185	32	
200	38	
220	34	60
235	31	
250	29	
270	32	42
285	21	
300	21	
320	29	53
335	27	
350	26	
370	28	Rechazo
385	50	

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 15.** Resultados SPT (P2).

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>NSPT (parcial)</b>	<b>NSPT (total)</b>
55	Limpieza	19
70	8	
85	8	
100	11	
120	13	30
135	14	
150	16	
170	16	37
185	18	
200	19	
220	24	59
235	29	
250	30	
270	30	47
285	25	
300	22	
320	23	41
335	21	
350	20	
370	24	57
385	31	
400	26	
420	35	Rechazo
435	45	

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 16.** Resultados SPT (P3).

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>NSPT (parcial)</b>	<b>NSPT (total)</b>
55	Limpieza	22
70	8	
85	10	
100	12	
120	11	31
135	16	
150	15	
170	17	25
185	12	
200	13	
220	12	43
235	18	
250	25	
270	23	51
285	24	
300	27	
320	38	Rechazo
335	39	
350	50	

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 17.** Resultados SPT (P4).

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>NSPT (parcial)</b>	<b>NSPT (total)</b>
55	Limpieza	16
70	5	
85	7	
100	9	
120	17	22
135	12	
150	10	
170	7	19
185	7	
200	12	
220	14	29
235	16	
250	13	
270	17	34
285	17	
300	17	
320	17	36
335	18	
350	18	
370	27	60
385	29	
400	31	
420	32	68
435	35	
450	33	
470	33	78
485	37	
500	41	
520	31	Rechazo
535	35	
550	47	

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 18.** Resultados SPT (P5).

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>NSPT (parcial)</b>	<b>NSPT (total)</b>
55	Limpieza	35
70	14	
85	16	
100	19	
120	22	51
135	24	
150	27	
170	29	63
185	31	
200	32	
220	51	Rechazo

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Los resultados obtenidos con el ensayo SPT es el primer parámetro que se utilizará para establecer el tipo de perfil del suelo, el siguiente parámetro a analizar es la clasificación del suelo extraído en base a lo establecido por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Además se confirmará si la estimación que se realice de la velocidad de onda cortante ( $V_s$ ) clasifica al perfil de suelo dentro de la misma categoría.



#### **4.1.3.2. Determinación del tipo de suelo.**

Los suelos son materiales con partículas de tamaño menor de 7.5 cm (3"). Los suelos se clasifican como suelos gruesos cuando más del 50% de sus partículas son de tamaño mayor que 0.075 mm (Malla N° 200) y como suelos finos cuando el 50% de sus partículas o más, son de tamaño menor. [40]

- **Suelos Gruesos.**

Los suelos se clasifican como grava cuando más del 50% de las partículas de la fracción gruesa tienen tamaño mayor que 4.75 mm (Malla N° 4) y como arena cuando el 50% de las partículas de la fracción gruesa, son de tamaño menor. [40]

La grava se identifica con el símbolo G (Gravel) y la arena con el símbolo S (Sand).

- **Suelos Finos.**

Los suelos finos se clasifican según sus características de plasticidad en Limos y Arcillas. [40]

**Tabla 19.** Clasificación de los suelos SUCS.

Tipo	Sub-Tipos		Identificación			Símbol o de Grupo			
Suelos (partículas menores de 7,5 cm)	<b>SUELOS GRUESOS</b> Más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 (0,075 mm)		<b>GRAVA</b> Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla N°4		<b>GRAVA LIMPIA</b> (Poco o nada de partículas finas) Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) entre 1 y 3 <sup>[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			
					<b>GRAVA CON FINOS</b> (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 grupos 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 grupos CL y CH) GC	
					<b>ARENA</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4		<b>ARENA LIMPIA</b> (Poco o nada de partículas finas) Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) entre 1 y 3 <sup>[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.
	<b>ARENA CON FINOS</b> (Cantidad apreciable de partículas finas)		Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupos 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 grupos CL y CH) SC					
	<b>SUELOS FINOS</b> Más de la mitad del material pasa la malla N°200 (0,075 mm)		<b>LIMO Y ARCILLA</b> Límite líquido				Menor de 50%	Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual. ML	
							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 Orgánicos		Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.			Pt				

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

- **Ensayo de Granulometría.**

A continuación, se muestran las tablas de los resultados obtenidos del análisis granulométrico de cada muestra de suelo ensayada, donde se clasifica el tipo de suelo según el SUCS:

**Tabla 20.** Análisis Granulométrico (P1).

<b>NIVEL -1.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b># 4</b>	5.6	1.86	98.14
<b>Retenido hasta # 200</b>	198.2	65.78	34.22
<b>Fuente</b>	97.5	32.36	
<b>Total</b>	301.3	100.00	
<b>NIVEL -1.50 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b># 4</b>	3.7	1.15	98.85
<b>Retenido hasta # 200</b>	190.3	59.03	40.97
<b>Fuente</b>	128.4	39.83	
<b>Total</b>	322.4	100.00	
<b>NIVEL -2.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b># 4</b>	0.9	0.28	99.72
<b>Retenido hasta # 200</b>	210.0	66.48	33.52
<b>Fuente</b>	105.0	33.24	
<b>Total</b>	315.9	100.00	
<b>NIVEL -2.50 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b># 4</b>	0.0	0.00	100.00
<b>Retenido hasta # 200</b>	154.0	66.01	33.99
<b>Fuente</b>	79.3	33.99	
<b>Total</b>	233.3	100.00	
<b>NIVEL -3.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b># 4</b>	3.6	1.01	98.99
<b>Retenido hasta # 200</b>	232.9	65.15	34.85
<b>Fuente</b>	121.0	33.85	
<b>Total</b>	357.5	100.00	
<b>NIVEL -3.50 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b># 4</b>	3.0	1.24	98.76

<b>Retenido hasta # 200</b>	163.0	67.36	32.64
<b>Fuente</b>	76.0	31.40	
<b>Total</b>	242.0	100.00	
<b>NIVEL -3.85 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b># 4</b>	9.8	2.90	97.10
<b>Retenido hasta # 200</b>	222.2	65.72	34.28
<b>Fuente</b>	106.1	31.38	
<b>Total</b>	338.1	100.00	

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Con los valores obtenidos en el ensayo de granulometría y en base a la Tabla 19 del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), se determinó que en todos los estratos de suelo más del 50% de la muestra total se retiene en el tamiz #200 por lo tanto se clasifica al suelo como **GRUESO** y más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla #4 por lo que se determina que el tipo de suelo es **ARENA**.

**Tabla 21.** Análisis Granulométrico (P2).

<b>NIVEL -1.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	0.6	0.67	99.33
<b>Retenido hasta # 200</b>	58.6	65.40	34.60
<b>Fuente</b>	30.4	33.93	
<b>Total</b>	89.6	100.00	
<b>NIVEL -1.50 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	2.3	1.23	98.77
<b>Retenido hasta # 200</b>	121.6	65.10	34.90
<b>Fuente</b>	62.9	33.67	
<b>Total</b>	186.8	100.00	
<b>NIVEL -2.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	0.9	0.45	99.55
<b>Retenido hasta # 200</b>	145.6	73.42	26.58
<b>Fuente</b>	51.8	26.12	
<b>Total</b>	198.3	100.00	
<b>NIVEL -2.50 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	0.3	0.16	99.84
<b>Retenido hasta # 200</b>	132.9	71.15	28.85
<b>Fuente</b>	53.6	28.69	
<b>Total</b>	186.8	100.00	
<b>NIVEL -3.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	0	0.00	100.00
<b>Retenido hasta # 200</b>	96.6	76.18	23.82
<b>Fuente</b>	30.2	23.82	
<b>Total</b>	126.8	100.00	
<b>NIVEL -3.50 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	2.3	2.67	97.33
<b>Retenido hasta # 200</b>	62.8	72.85	27.15
<b>Fuente</b>	21.1	24.48	
<b>Total</b>	86.2	100.00	
<b>NIVEL -4.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	0	0.00	100.00
<b>Retenido hasta # 200</b>	148.9	73.53	26.47

<b>Fuente</b>	53.6	26.47	
<b>Total</b>	202.5	100.00	
<b>NIVEL -4.35 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b># 4</b>	0	0.00	100.00
<b>Retenido hasta # 200</b>	177.9	76.42	23.58
<b>Fuente</b>	54.9	23.58	
<b>Total</b>	232.8	100.00	

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Con los valores obtenidos en el ensayo de granulometría y en base a la Tabla 19 del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), se determinó que en todos los estratos de suelo más del 50% de la muestra total se retiene en el tamiz #200 por lo tanto se clasifica al suelo como **GRUESO** y más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla #4 por lo que se determina que el tipo de suelo es **ARENA**.

**Tabla 22.** Análisis Granulométrico (P3).

<b>NIVEL -1.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	0.3	0.47	99.53
<b>Retenido hasta # 200</b>	39.8	62.78	37.22
<b>Fuente</b>	23.3	36.75	
<b>Total</b>	63.4	100.00	
<b>NIVEL -1.50 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	0.8	0.67	99.33
<b>Retenido hasta # 200</b>	77.7	65.51	34.49
<b>Fuente</b>	40.1	33.81	
<b>Total</b>	118.6	100.00	
<b>NIVEL -2.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	0.2	0.11	99.89
<b>Retenido hasta # 200</b>	119.4	64.93	35.07
<b>Fuente</b>	64.3	34.96	
<b>Total</b>	183.9	100.00	
<b>NIVEL -2.50 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	0.5	0.27	99.73
<b>Retenido hasta # 200</b>	122.9	66.54	33.46
<b>Fuente</b>	61.3	33.19	
<b>Total</b>	184.7	100.00	
<b>NIVEL -3.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	0	0.00	100.00
<b>Retenido hasta # 200</b>	144	71.01	28.99
<b>Fuente</b>	58.8	28.99	
<b>Total</b>	202.8	100.00	
<b>NIVEL -3.50 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	8.4	3.76	96.24
<b>Retenido hasta # 200</b>	133.5	59.68	40.32
<b>Fuente</b>	81.8	36.57	
<b>Total</b>	223.7	100.00	

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Con los valores obtenidos en el ensayo de granulometría y en base a la Tabla 19 del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), se determinó que en todos los estratos de suelo más del 50% de la muestra total se retiene en el tamiz #200 por lo tanto se clasifica al suelo como **GRUESO** y más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla #4 por lo que se determina que el tipo de suelo es **ARENA**.



**Tabla 23.** Análisis Granulométrico (P4).

<b>NIVEL -1.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	0.2	0.32	99.68
<b>Retenido hasta # 200</b>	40.1	64.47	35.53
<b>Fuente</b>	21.9	35.21	
<b>Total</b>	62.2	100.00	
<b>NIVEL -1.50 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	0.9	0.73	99.27
<b>Retenido hasta # 200</b>	80.1	64.70	35.30
<b>Fuente</b>	42.8	34.57	
<b>Total</b>	123.80	100.00	
<b>NIVEL -2.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	0.3	0.18	99.82
<b>Retenido hasta # 200</b>	120.8	73.35	26.65
<b>Fuente</b>	43.6	26.47	
<b>Total</b>	164.7	100.00	
<b>NIVEL -2.50 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	0.2	0.10	99.90
<b>Retenido hasta # 200</b>	135.8	68.86	31.14
<b>Fuente</b>	61.2	31.03	
<b>Total</b>	197.2	100.00	
<b>NIVEL -3.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	1.2	0.55	99.45
<b>Retenido hasta # 200</b>	156.7	72.08	27.92
<b>Fuente</b>	59.5	27.37	
<b>Total</b>	217.4	100.00	
<b>NIVEL -3.50 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	4.5	2.82	97.18
<b>Retenido hasta # 200</b>	96.8	60.73	39.27
<b>Fuente</b>	58.1	36.45	
<b>Total</b>	159.4	100.00	
<b>NIVEL -4.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
# 4	3.4	1.50	98.50
<b>Retenido hasta # 200</b>	160.4	70.63	29.37
<b>Fuente</b>	63.3	27.87	

<b>Total</b>	227.1	100.00	
<b>NIVEL -4.50 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b># 4</b>	0.2	0.10	99.90
<b>Retenido hasta # 200</b>	154.3	75.53	24.47
<b>Fuente</b>	49.8	24.38	
<b>Total</b>	204.3	100.00	

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Con los valores obtenidos en el ensayo de granulometría y en base a la Tabla 19 del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), se determinó que en todos los estratos de suelo más del 50% de la muestra total se retiene en el tamiz #200 por lo tanto se clasifica al suelo como **GRUESO** y más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla #4 por lo que se determina que el tipo de suelo es **ARENA**.

**Tabla 24.** Análisis Granulométrico (P5).

<b>NIVEL -1.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b># 4</b>	1.6	0.90	99.10
<b>Retenido hasta # 200</b>	122.3	68.55	31.45
<b>Fuente</b>	54.5	30.55	
<b>Total</b>	178.4	100.00	
<b>NIVEL -1.50 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b># 4</b>	0	0.00	100.00
<b>Retenido hasta # 200</b>	159.4	75.44	24.56
<b>Fuente</b>	51.9	24.56	
<b>Total</b>	211.3	100.00	
<b>NIVEL -2.00 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b># 4</b>	0.5	0.26	99.74
<b>Retenido hasta # 200</b>	146.7	74.85	25.15
<b>Fuente</b>	48.8	24.90	
<b>Total</b>	196.0	100.00	
<b>NIVEL -2.20 m</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>
<b># 4</b>	0	0.00	100.00
<b>Retenido hasta # 200</b>	65	61.67	38.33
<b>Fuente</b>	40.4	38.33	
<b>Total</b>	105.4	100.00	

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Con los valores obtenidos en el ensayo de granulometría y en base a la Tabla 19 del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), se determinó que en todos los estratos de suelo más del 50% de la muestra total se retiene en el tamiz #200 por lo tanto se clasifica al suelo como **GRUESO** y más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla #4 por lo que se determina que el tipo de suelo es **ARENA**.

#### **4.1.4. Velocidad Media de Onda de Cortante ( $V_{s30}$ ).**

Cuando ocurre un sismo, se generan ondas elásticas que viajan primordialmente por las rocas, pero al encontrarse en su camino con depósitos de suelo que sobreyacen a la roca, por tener estos suelos una rigidez contrastantemente menor, ocurre el fenómeno de refracción. Es entonces que las ondas sísmicas tienden a propagarse casi verticalmente a través de los depósitos de suelo hasta llegar a la superficie de los mismos. El camino ascendente de las ondas elásticas en los suelos está gobernado en forma importante por la velocidad de propagación de la onda de corte ( $V_s$ ), y de ahí la importancia de conocer los perfiles de variación de la velocidad de onda de corte contra profundidad en depósitos de suelos. [42]

Para la mejora del suelo la evaluación del daño durante un terremoto es un tema muy importante que a su vez depende del movimiento del suelo, las características de un movimiento sísmico en un sitio están en función de la velocidad de la onda de corte la cual representa la rigidez de las capas del suelo. [44]

Se denomina  $V_{s30}$  al valor promedio de la velocidad de las ondas de cizalla en los primeros 30 metros superficiales de terreno, este parámetro es utilizado como un índice para caracterizar la amplificación sísmica del suelo y con ello clasificar sitios con distinta demanda sísmica. [43]

Los parámetros que se utilizan para definir el tipo de perfil de suelo con base en los 30 metros superiores del mismo son: [4]

- La velocidad media de la onda de cortante,  $V_{s30}$  (m/s),
- El número medio de golpes del Ensayo de Penetración Estándar (SPT).

#### 4.1.4.1. Determinación de la Velocidad Media de Onda de Cortante.

Para determinar la velocidad de onda de corte en suelos lo más conveniente es recurrir a pruebas de campo para encontrar directamente los valores mediante alguno de los métodos de geofísica sísmica. Con frecuencia, a falta de estas pruebas geofísicas se recurre a ecuaciones empíricas para estimar el  $V_s$  partiendo de las resistencias a la penetración estándar (N). Sin embargo, es conocida la susceptibilidad de los resultados de la prueba de penetración dependiendo de los equipos y metodologías con la que se realizó, por lo que los valores de  $V_s$  calculados a partir de dicha prueba deben verse con mucha cautela. [42]

Para el presente trabajo de investigación se hizo uso de las correlaciones empíricas establecidas para arenas, publicadas en el artículo “Correlación entre la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) y la resistencia SPT (N) para la región de Roorkee”. por Bablu Kirar et al.

**Tabla 25.** Correlaciones existentes entre  $V_s$  y N.

Author(s)	$V_s$ (m/s)		
	All soils	Sands	Clays
Hanumantharao and Ramana [5]	$V_s = 82.6N^{0.430}$	$V_s = 79.0N^{0.434}$	–
Maheshwari et al. [6]	–	$V_s = 95N^{0.300}$	–
Ohba and Toriumi [7]	$V_s = 84N^{0.310}$	–	–
Imai [8]	$V_s = 91N^{0.340}$	$V_s = 80.6N^{0.331}$	$V_s = 80.2N^{0.292}$
Ohta and Goto [9]	$V_s = 85.35N^{0.348}$	$V_s = 88.0N^{0.340}$	–
Jafari et al. [10]	$V_s = 121.0N^{0.270}$	$V_s = 80.0N^{0.330}$	$V_s = 100.0N^{0.330}$
Seed and Idriss [11]	$V_s = 61N^{0.500}$	–	–
Lee [12]	–	$V_s = 57.4N^{0.490}$	$V_s = 114.4N^{0.310}$
Sykora and Stokoe [22]	–	$V_s = 100.5N^{0.290}$	–
Okamoto et al. [23]	–	$V_s = 125.0N^{0.300}$	–
Pitilakis et al. [24]	–	$V_s = 162.0N^{0.170}$	$V_s = 165.7N^{0.190}$
Athanasopoulos [25]	$V_s = 107.6N^{0.360}$	–	–
Raptakis et al. [26]	–	$V_s = 123.4N^{0.290}$	$V_s = 184.2N^{0.170}$
Hasancebi and Ulusay [27]	$V_s = 90N^{0.309}$	$V_s = 90.8N^{0.319}$	$V_s = 297.9N^{0.269}$
Uma Maheswari et al. [28]	$V_s = 95.64N^{0.301}$	$V_s = 100.53N^{0.265}$	$V_s = 89.31N^{0.358}$
Esfahanizadeh et al. [29]	–	$V_s = 107.2N^{0.34}$	–
Fatehnia et al. [30]	–	$V_s = 77.1N^{0.355}$	$V_s = 77.1N^{0.355}$

**Fuente:** Kirar, B. et al. - Correlación entre la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) y la resistencia SPT (N) para la región de Roorkee.

- **Determinación del  $V_{s30}$  para cada estrato de cada punto de ensayo.**

Se procedió a calcular los valores para el  $V_s$  de cada estrato de suelo en base al número de golpes (NSPT) obtenidos en los 5 puntos del ensayo de penetración estándar mediante las fórmulas establecidas por los diferentes autores en el artículo mencionado anteriormente, de tal manera que los resultados para cada estrato puedan ser representados gráficamente usando la conocida Campana de Gauss y posteriormente obtener el valor del  $V_{sTOTAL}$  de cada pozo.

A continuación se muestra la metodología utilizada para la determinación del  $V_s$  de cada estrato usando como ejemplo uno de los valores obtenidos en el ensayo SPT, la misma que se emplea para todos los pozos de ensayo.

**Tabla 26.** Número de Golpes.

<b>Pozo</b>	<b>NSPT crítico</b>
P3	43

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 27.** Resultados de las Ecuaciones para Arenas.

<b>Autor</b>	<b># Ecuación</b>	<b>Resultado</b>
Hanumantharao y Ramana	5	404.15914
Maheshwari et al.	6	293.60547
Imai	8	279.90658
Ohta y Goto	9	316.12726
Jafari et al.	10	276.77992
Lee	12	362.50286
Sykora y Stokoe	22	299.13823
Okamoto et al.	23	386.32299
Pitilakis et al.	24	307.04685
Raptakis et al.	26	367.30007
Hasancebi y Ulusay	27	301.41321
Uma Maheswari et al.	28	272.37348
Esfehanizadeh et al.	29	385.10048
Fatehnia et al.	30	293.04592

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 28.** Valores de la Media y Desviación Estándar.

<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>
324.63018	46.07153555

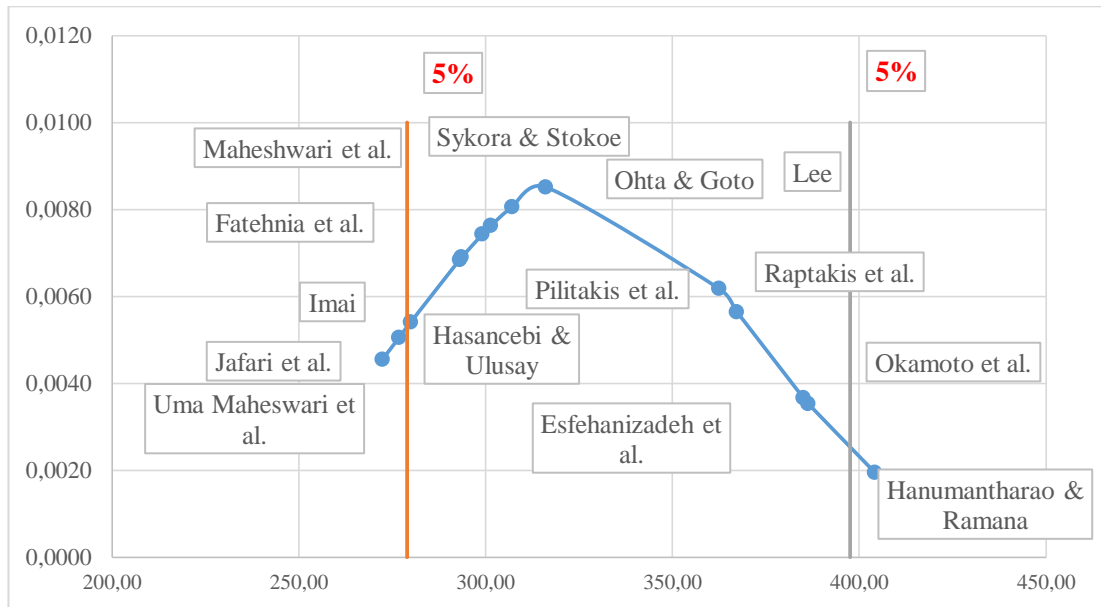
**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 29.** Resultados ordenados y Distribución Normal.

<b># Ecuación</b>	<b>Vs (m/s) Ordenados</b>	<b>Distribución Normal</b>
5	404.1591	0.0020
23	386.3230	0.0035
29	385.1005	0.0037
26	367.3001	0.0056
12	362.5029	0.0062
9	316.1273	0.0085
24	307.0469	0.0081
27	301.4132	0.0076
22	299.1382	0.0074
6	293.6055	0.0069
30	293.0459	0.0068
8	279.9066	0.0054
10	276.7799	0.0050
28	272.3735	0.0046

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Gráfico 1.** Campana de Gauss para Vs.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Una vez obtenida la curva de Gauss se procederá a descartar los valores de Vs que se encuentren fuera de los límites que establece un porcentaje del 5% a ambos lados de la curva, es decir se desecharán los valores altos y bajos y de esta forma se realizará un promedio con los valores que se encuentren dentro de los límites para determinar un valor promedio de la velocidad media de la onda de corte.

- **Cálculo del  $V_{STOTAL}$  para cada pozo.**

Para el cálculo de la velocidad de onda de cortante para estrato de cada punto de ensayo se determinó mediante la siguiente expresión:

$$\frac{h_1}{V_{S1}} + \frac{h_2}{V_{S2}} + \frac{h_3}{V_{S3}} + \frac{h_n}{V_{S_n}} = \frac{H}{V_{STOTAL}}$$

Dónde:

$h_1, h_2, h_3, h_n$ : Altura de cada estrato.

$V_{S1}, V_{S2}, V_{S3}, V_{S_n}$ : Velocidad media de la onda de cortante para cada estrato.

$V_{STOTAL}$ : Velocidad total de cada pozo.

$H$ : Altura total del pozo.



$$V_{STOTAL} = \frac{H}{\frac{h_1}{Vs_1} + \frac{h_2}{Vs_2} + \frac{h_3}{Vs_3} + \frac{h_n}{Vs_n}}$$

(Ec. 11)

**Tabla 30.**  $V_{STOTAL}$  del Pozo 1.

Profundidad (m)	NSPT (parcial)	NSPT (total)	Vs c/estrato (m/s)	$V_{STOTAL}$ Pozo (m/s)	Tipo de Perfil
0.55	Limpieza	23	267.11	355.70	<b>D</b>
0.70	7				
0.85	10				
<b>1.00</b>	13				
1.20	23	54	351.44		
1.35	26				
<b>1.50</b>	28				
1.70	27	70	382.31		
1.85	32				
<b>2.00</b>	38				
2.20	34				
2.35	31	60	363.64		
<b>2.50</b>	29				
2.70	32	42	324.03		
2.85	21				
<b>3.00</b>	21				
3.20	29				
3.35	27	53	349.32		
<b>3.50</b>	26				
3.70	28	Rechazo	-		
<b>3.85</b>	50				

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

La velocidad de onda de cortante para el Punto 1 tiene un valor de 355.70 m/s, de esta manera se comprueba que el valor obtenido se encuentra dentro del rango establecido de  $360 \text{ m/s} > Vs \geq 180 \text{ m/s}$  como lo especifica la NEC-15 para perfiles tipo D.

**Tabla 31.**  $V_{STOTAL}$  del Pozo 2.

Profundidad (m)	NSPT (parcial)	NSPT (total)	$V_s$ c/estrato (m/s)	$V_{STOTAL}$ Pozo (m/s)	Tipo de Perfil
0.55	Limpieza	19	251.33	331.32	<b>D</b>
0.70	8				
0.85	8				
<b>1.00</b>	11				
1.20	13	30	290.81		
1.35	14				
<b>1.50</b>	16				
1.70	16	37	311.07		
1.85	18				
<b>2.00</b>	19				
2.20	24				
2.35	29	59	361.67		
<b>2.50</b>	30				
2.70	30				
2.85	25	47	336.01		
<b>3.00</b>	22				
3.20	23				
3.35	21	41	321.53		
<b>3.50</b>	20				
3.70	24				
3.85	31	57	357.65		
<b>4.00</b>	26				
4.20	35				
<b>4.35</b>	45	Rechazo	-		

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

La velocidad de onda de cortante para el Punto 2 tiene un valor de 331.32 m/s, de esta manera se comprueba que el valor obtenido se encuentra dentro del rango establecido de  $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$  como lo especifica la NEC-15 para perfiles tipo D.

**Tabla 32.**  $V_{STOTAL}$  del Pozo 3.

Profundidad (m)	NSPT (parcial)	NSPT (total)	Vs c/estrato (m/s)	$V_{STOTAL}$ Pozo (m/s)	Tipo de Perfil
0.55	Limpieza	22	263.35	339.74	<b>D</b>
0.70	8				
0.85	10				
<b>1.00</b>	12				
1.20	11	31	293.88		
1.35	16				
<b>1.50</b>	15				
1.70	17	25	274.32		
1.85	12				
<b>2.00</b>	13				
2.20	12	43	326.50		
2.35	18				
<b>2.50</b>	25				
2.70	23	51	345.00		
2.85	24				
<b>3.00</b>	27				
3.20	38	Rechazo	-		
3.35	39				
<b>3.50</b>	50				

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

La velocidad de onda de cortante para el Punto 3 tiene un valor de 339.74 m/s, de esta manera se comprueba que el valor obtenido se encuentra dentro del rango establecido de  $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$  como lo especifica la NEC-15 para perfiles tipo D.

**Tabla 33.**  $V_{STOTAL}$  del Pozo 4.

Profundidad (m)	NSPT (parcial)	NSPT (total)	Vs c/estrato (m/s)	$V_{STOTAL}$ Pozo (m/s)	Tipo de Perfil
0.55	Limpieza	16	237.97	322.40	<b>D</b>
0.70	5				
0.85	7				
<b>1.00</b>	9				
1.20	17	22	263.35		
1.35	12				
<b>1.50</b>	10				
1.70	7	19	251.33		
1.85	7				
<b>2.00</b>	12				
2.20	14	29	287.67		
2.35	16				
<b>2.50</b>	13				
2.70	17	34	302.73		
2.85	17				
<b>3.00</b>	17				
3.20	17	36	308.34		
3.35	18				
<b>3.50</b>	18				
3.70	27	60	363.64		
3.85	29				
<b>4.00</b>	31				
4.20	32	68	378.72		
4.35	35				
<b>4.50</b>	33				
4.70	33	78	396.01		
4.85	37				
<b>5.00</b>	41				
5.20	31	Rechazo	-		
5.35	35				
<b>5.50</b>	47				

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

La velocidad de onda de cortante para el Punto 4 tiene un valor de 322.40 m/s, de esta manera se comprueba que el valor obtenido se encuentra dentro del rango establecido de  $360 \text{ m/s} > Vs \geq 180 \text{ m/s}$  como lo especifica la NEC-15 para perfiles tipo D.

**Tabla 34.**  $V_{STOTAL}$  del Pozo 5.

Profundidad (m)	NSPT (parcial)	NSPT (total)	$V_s$ c/estrato (m/s)	$V_{STOTAL}$ Pozo (m/s)	Tipo de Perfil
0.55	Limpieza	35	305.56	362.12	C
0.70	14				
0.85	16				
<b>1.00</b>	19				
1.20	22	51	345.00		
1.35	24				
<b>1.50</b>	27				
1.70	29	63	369.44		
1.85	31				
<b>2.00</b>	32				
<b>2.20</b>	51	Rechazo	-		

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

La velocidad de onda de cortante para el Punto 5 tiene un valor de 362.12 m/s, de esta manera se comprueba que el valor obtenido se encuentra dentro del rango establecido de  $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$  como lo especifica la NEC-15 para perfiles tipo C.

- **Velocidad de Onda de Cortante Media.**

La velocidad media de la onda de cortante para el presente trabajo tendrá un valor de 342.26 m/s, promedio que se determinó incluyendo el  $V_s$  para el pozo 5 ya que se encuentra muy cercano al límite para perfil de suelo Tipo D, de esta manera se comprueba que el valor obtenido se encuentra dentro del rango establecido de  $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$  como lo especifica la NEC-15 para perfiles tipo D.

**Tabla 35.**  $V_s$  Media.

Pozo	$V_{STOTAL}$ (m/s)	$V_{SPROMEDIO}$ (m/s)
1	355.70	342.26
2	331.32	
3	339.74	
4	322.40	
5	362.12	

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

#### **4.1.5. Ecuaciones de Atenuación para Régimen Cortical Intraplaca.**

Las ecuaciones de predicción de movimiento en tierra son herramientas importantes en el análisis del riesgo sísmico.

Estas ecuaciones son para sismos que ocurren dentro de la placa continental, en la corteza a profundidades menores que 30 km, debido a la deformación generada principalmente por la convergencia entre placas y por los esfuerzos locales. [45]

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

##### **4.1.5.1. Modelo de David M. Boore & Gail M. Atkinson (2008).**

Estas ecuaciones fueron desarrolladas para movimientos de tierra de componente horizontal promedio 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. Dichas ecuaciones son para la aceleración pico de la tierra (PGA), la velocidad máxima del terremoto (PGV) y la pseudo-aceleración absoluta (PSA) con el 5% de amortiguamiento en espectros con períodos entre 0.01 y 10 segundos. Las ecuaciones se derivaron de la regresión empírica de una extensa base de datos de movimientos fuertes en zonas tectónicas activas en el mundo compilados por la PEER NGA (Pacific Earthquake Engineering Research Center's Next Generation Attenuation). [46]

Las variables predictoras primarias son la magnitud de momento  $M$ , la distancia más cercana a la proyección de superficie del plano de falla  $R_{JB}$  y la velocidad de la onda de cizallamiento promediada desde la superficie hasta 30 metros  $V_s$ . [46]

Las ecuaciones son aplicables siempre y cuando:

- $M = (5 - 8) M_w$
- $V_{s30} = 180 - 1300 \text{ m/s}$  y
- $R_{JB}$  menor a 200 km.

La ecuación para la predicción de movimiento del suelo está dada por la siguiente expresión la misma que se emplea para el cálculo de la aceleración (Y), expresada en gals.

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_s(V_{S30}, R_{JB}, M) + \varepsilon\sigma_T \quad (\text{Ec. 12})$$

Dónde:

**Y**: Aceleración espectral, expresada en gals.

**$F_M, F_D, F_s$** : Coeficientes que representan la escala de magnitud, la función de distancia y la amplificación del sitio. (Ver Anexo B).

**$R_{JB}$** : Distancia Joyner-Boore, es la distancia más cercana a la proyección de superficie de la falla.

**$M$** : Magnitud de Momento.

**$V_{S30}$** : Velocidad media de la onda de cortante.

**$\varepsilon$** : Desviación estándar.

#### 4.1.5.1.1. Funciones de Distancia y Magnitud.

- La función de la distancia está dada por:

$$F_D(R_{JB}, M) = [c_1 + c_2(M - M_{ref})] \ln\left(\frac{R}{R_{ref}}\right) + c_3(R - R_{ref}) \quad (\text{Ec. 13})$$

Dónde:

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2} \quad (\text{Ec. 14})$$

**$c_1, c_2, c_3$** : Son coeficientes determinados en el análisis de regresión.

**$M_{ref}$** : Valor de referencia. ( $M_{ref} = 4.5$ )

**$R_{ref}$** : Valor de referencia. ( $R_{ref} = 1 \text{ km}$ ). Ver Anexo B-2.

- La escala de magnitud está dada por:

a)  $M \leq M_h$

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

**(Ec. 15)**

b)  $M > M_h$

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

**(Ec. 16)**

Dónde:

**U, SS, NS, RS:** Son variables ficticias que se usan para indicar el tipo de falla no especificada transcurrente, normal e inversa respectivamente, estos valores se describen en la **Tabla 36**.

**$M_h$ :** Magnitud de giro para la forma de escala de magnitud. (Ver Anexo B-1)

**Tabla 36.** Variables ficticias para los diferentes tipos de fallas.

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

**Fuente:** David M. Boore & Gail M. Atkinson (2008).

**Categorías:**

**Transcurrente:**  $4.3 \leq M \leq 7.9$ ,  $SS = 1$ ,  $U = 0$ ,  $NS = 0$ ,  $RS = 0$

**Inversa:**  $5.6 \leq M \leq 7.6$ ,  $SS = 0$ ,  $U = 0$ ,  $NS = 0$ ,  $RS = 1$

**Normal:**  $5.3 \leq M \leq 6.9$ ,  $SS = 0$ ,  $U = 0$ ,  $NS = 1$ ,  $RS = 0$



#### 4.1.5.1.2. Función de Amplificación del Sitio.

La ecuación de amplificación de sitio está dada por:

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

(Ec. 17)

Dónde:

$F_{LIN}$  y  $F_{NL}$ : Son términos lineales y no lineales respectivamente.

- **Término Lineal.**

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln\left(\frac{Vs_{30}}{V_{ref}}\right)$$

(Ec. 18)

Dónde:

$b_{lin}$ : Coeficiente dependiente del período.

$V_{ref}$ : Velocidad de referencia especificada en 760 m/s.

- **Término No Lineal.**

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

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

(Ec. 19)

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

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

(Ec. 20)

c)  $a_2 < pga_{4nl}$

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

(Ec. 21)

Dónde:

$a_1$ : Nivel de umbral para la amplificación lineal. ( $a_1 = 0.03$  g)

$a_2$ : Nivel de umbral para la amplificación no lineal. ( $a_2 = 0.09$  g)

$pga\_low$ : Variable asignada a transición entre comportamientos lineales y no lineales ( $pga\_low = 0.06$  g).

$pga_{4nl}$ : Es el PGA previsto en g para  $V_{ref} = 760$  m/s, dada por la ecuación principal con  $F_s = 0$  y  $\varepsilon = 0$ .

Los coeficientes  $c$  y  $d$  en la Ecuación 15 están dados por:

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

(Ec. 22)

y

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

(Ec. 23)

Dónde:

$$\Delta x = \ln\left(\frac{a_2}{a_1}\right)$$

(Ec. 24)

y

$$\Delta y = b_{nl} \ln\left(\frac{a_2}{pga\_low}\right)$$

(Ec. 25)

La pendiente no lineal  $b_{nl}$  es una función de ambos períodos y  $V_{S30}$  y está dada por:

a)  $V_{S30} \leq V_1$

$$b_{nl} = b_1$$

(Ec. 26)

$$b) V_1 < Vs_{30} \leq V_2$$

$$b_{nl} = \frac{(b_1 - b_2) \ln\left(\frac{Vs_{30}}{V_2}\right)}{\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)} + b_2$$

(Ec. 27)

$$c) V_2 < Vs_{30} < V_{ref}$$

$$b_{nl} = \frac{b_2 \ln\left(\frac{Vs_{30}}{V_{ref}}\right)}{\ln\left(\frac{V_2}{V_{ref}}\right)}$$

(Ec. 28)

$$d) V_{ref} \leq Vs_{30}$$

$$b_{nl} = 0.0$$

(Ec. 29)

Dónde:

$V_1$ : 180 m/s.

$V_2$ : 300 m/s.

$b_1$  y  $b_2$ : Coeficientes dependientes del período y consecuentemente  $b_{nl}$  es una función del período así como de  $Vs_{30}$ .

A continuación se muestra una tabla en la cual se detallan los valores utilizados en cada falla los cuales corresponden a cada uno de los términos de la ecuación:

**Tabla 37.** Valores utilizados en el Modelo Boore & Atkinson.

<b>Falla</b>	<b>Ambato</b>	<b>Huachi</b>	<b>Totoras</b>	<b>Samanga</b>
<b>Término</b>				
<b>F<sub>D</sub>, F<sub>M</sub>, F<sub>S</sub></b>	Ver Anexo B			
<b>R<sub>JB</sub></b>	1.86	3.03	3.46	6.93
<b>R<sub>ref</sub></b>	1	1	1	1
<b>M<sub>ref</sub></b>	4.5	4.5	4.5	4.5
<b>M</b>	6.5	6.3	6.5	6.9
<b>Tipo de Falla</b>	RS	RS	RS	RS
<b>V<sub>ref</sub></b>	760	760	760	760
<b>V<sub>S30</sub></b>	342.26	342.26	342.26	342.26

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

#### **4.1.5.2. Modelo de Sinan Akkar & Julian J. Bommer (2010).**

Las primeras ecuaciones empíricas para la predicción de ordenadas espectrales de respuesta en la región europea fueron establecidas por Ambraseys et al. (1996). Dichas ecuaciones fueron actualizadas por Bommer et al. (2003), utilizando el mismo grupo de datos para incluir la influencia del estilo de fallamiento como una variable adicional. El propósito principal fue investigar la efectividad de un enfoque aproximado para incluir ajustes de estilo de fallas. [47]

Akkar y Bommer realizaron una nueva GMPE basándose en la misma base de datos que Ambraseys con el fin de abordar los requisitos adicionales que surgen en la ingeniería sísmica. El interés principal fue ampliar el rango de períodos de respuesta cubiertos por las ecuaciones, ya que Ambraseys et al. solo cubren un rango de 2.5 segundos. [47]

Algunos enfoques emergentes para el diseño sísmico basado en desplazamientos, así como el diseño de estructuras de base aislada requieren ordenadas espectrales en períodos más largos, así como a valores de amortiguación diferentes al típico 5%. Estas ecuaciones se derivaron para predecir los desplazamientos espectrales (SD) y para complementar se obtuvo una ecuación para la aceleración máxima del terreno (PGA). Esto llevó a concluir que el rango de respuesta podría extenderse hasta 4.0 segundos. [47]

Las ecuaciones de Akkar y Bommer tienen tres ventajas:

- El modelo es efectivamente para la aceleración pseudo-espectral en lugar de la respuesta de aceleración absoluta.
- La ecuación predice la media geométrica de los componentes horizontales, en lugar de la componente horizontal más grande.
- La forma funcional incluye un término de escala de magnitud cuadrática.

Las ecuaciones son aplicables siempre y cuando:

- $M = (5 - 7.6) M_w$
- $R_{JB} < 100 \text{ km}$
- Se recomienda hasta un período de 3 segundos.

La ecuación para la predicción de movimiento del suelo está dada por la siguiente expresión la misma que se emplea en para el cálculo de la aceleración, expresada en  $\text{cm/s}^2$ .

$$\log(PSA) = b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M)\log\sqrt{R_{JB}^2 + b_6^2} + b_7S_S + b_8S_A + b_9F_N + b_{10}F_R + \epsilon\sigma$$

**(Ec. 30)**

Dónde:

**PSA:** Pseudo aceleración espectral amortiguada al 5% en  $\text{cm/s}^2$ .

**$b_{1-10}$ :** Coeficientes para la predicción de pseudo aceleración espectral. (V. Anexo C).

**$F_N$ :** Mecanismo de Falla Normal. (Ver Tabla 39).

**$F_R$ :** Mecanismo de Falla Inversa. (Ver Tabla 39).

**$M$ :** Magnitud de Momento.

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

**$S_A$ :** Suelo Rígido. (Ver Tabla 38).

**$S_S$ :** Suelo Suave. (Ver Tabla 38).

**$\sigma$ :** Desviación estándar. (Ver Anexo C).

**$\sigma_1$ :** Variabilidad Intra-evento.

**$\sigma_2$ :** Variabilidad Inter-evento.

La variabilidad se descompone en un inter-evento ( $\sigma_2$ ) y un componente intra-evento ( $\sigma_1$ ), por lo tanto la desviación estándar total  $\sigma$ , viene dada por la siguiente expresión:

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

(Ec. 31)

**Tabla 38.** Coeficientes del tipo de suelo.

<b>Tipo de Suelo</b> <b>Coeficiente</b>	<b>Suelo Blando</b> <b>V<sub>S30</sub> &lt; 360 m/s</b>	<b>Suelo Rígido</b>	<b>Roca</b> <b>V<sub>S30</sub> &gt; 750 m/s</b>
SS	1	0	0
SA	0	1	0

**Fuente:** Akkar & Bommer (2010).

**Tabla 39.** Coeficientes del tipo de falla.

<b>Tipo de Falla</b> <b>Coeficiente</b>	<b>Normal</b>	<b>Inversa</b>	<b>Transcurrente</b>
FN	1	0	0
FR	0	1	0

**Fuente:** Akkar & Bommer (2010).

A continuación se muestra una tabla en la cual se detallan los valores utilizados en cada falla los cuales corresponden a cada uno de los términos de la ecuación:

**Tabla 40.** Valores utilizados en el Modelo de Akkar & Bommer.

<b>Falla</b> <b>Término</b>	<b>Ambato</b>	<b>Huachi</b>	<b>Totoras</b>	<b>Samanga</b>
<b>b<sub>1-10</sub></b>	Ver Anexo C			
<b>F<sub>N</sub></b>	0	0	0	0
<b>F<sub>R</sub></b>	1	1	1	1
<b>M</b>	6.5	6.3	6.5	6.9
<b>R<sub>JB</sub></b>	1.86	3.03	3.46	6.93
<b>S<sub>A</sub></b>	0	0	0	0
<b>S<sub>S</sub></b>	1	1	1	1

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

#### **4.1.5.3. Modelo de Tatsuo Kanno, et al. (2006).**

Después del terremoto de 1995 en Hyogo-ken Nanbu, Kobe, el gobierno de Japón instaló estaciones de observación de movimiento fuerte con el fin de evitar desastres sísmicos futuros. En el estudio se compilaron una base de datos de registros de fuertes movimiento de tierra entre los años 1963 y 2003 para poder identificar una nueva relación de atenuación estándar que sea capaz de capturar las características promedio del movimiento sísmico del suelo para la aceleración de espectros de respuesta amortiguada del 5% y la máxima aceleración de terreno (PGA) y la velocidad (PGV). Para refinar el ajuste de este modelo base se introdujeron términos de corrección adicionales para los efectos de sitio y las anomalías regionales. Finalmente se compararon los datos reales con las relaciones de atenuación existentes y se confirmó que dicho modelo es razonablemente robusto. [48]

Algunas relaciones de atenuación existentes tienen en cuenta tres categorías de fuente sísmica de acuerdo a su ubicación tectónica, es decir, Interfaz de subducción, Subducción y Eventos Intraplaca de Subducción. La diferencia entre las características de atenuación de movimiento fuerte y las categorías de fuente se genera debido a que las diferentes ubicaciones tectónicas pueden conducir a diferentes características de fuente y diferentes trayectorias de viaje para las ondas sísmicas. El efecto de diferentes caminos depende en gran medida de la profundidad focal, por ejemplo, las ondas superficiales suelen predominar entre las ondas sísmicas generadas por eventos superficiales, mientras que esto no sucede para eventos más profundos. [48]

Este modelo tiene las siguientes variables:

- Magnitud del terremoto.
- Distancia más corta al plano de falla sísmica.
- Profundidad.

La ecuación para la predicción de movimiento del suelo está dada por las siguientes expresiones las mismas que se emplean en para el cálculo de la aceleración expresada en  $\text{cm/s}^2$ , tanto para eventos superficiales como para eventos profundos respectivamente. [48]

Si  $D \leq 30 \text{ Km}$ :

$$\log pre = a_1 M_W + b_1 X - \log(X + d_1 10^{e_1 M_W}) + c_1 + \varepsilon_1 \quad (\text{Ec. 32})$$

Si  $D > 30 \text{ Km}$ :

$$\log pre = a_2 M_W + b_2 X - \log(X) + c_2 + \varepsilon_2 \quad (\text{Ec. 33})$$

Dónde:

**D**: Profundidad focal.

**a, b, c, d**: Coeficientes de regresión. (Ver Anexo D).

**M<sub>W</sub>**: Magnitud de Momento.

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

**e<sub>1</sub>**: Distancia agregada ( $e_1 = 0.5$ ).

**ε<sub>1</sub>, ε<sub>2</sub>**: Errores entre los valores observados y predichos. (Ver Anexo D).

Para el presente trabajo se utilizará la primera ecuación ya que la profundidad focal se considera menor a 30 km para establecer una comparación con los otros modelos de atenuación.

En el caso de terremotos poco profundos se realiza un esquema de ponderación adoptado por Midorikawa y Ohtake 2003, donde se considera: [48]

- 6.0 para ( $X \leq 25 \text{ km}$ ).
- 3.0 para ( $25 < X \leq 50 \text{ km}$ ).
- 1.5 para ( $50 < X \leq 75 \text{ km}$ ).
- 1.0 para ( $X > 75 \text{ km}$ ).



Estas ecuaciones son aplicables para:

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

A continuación se muestra una tabla en la cual se detallan los valores utilizados en cada falla los cuales corresponden a cada uno de los términos de la ecuación:

**Tabla 41.** Valores utilizados en el Modelo de Kanno.

<b>Falla</b>	<b>Ambato</b>	<b>Huachi</b>	<b>Totoras</b>	<b>Samanga</b>
<b>Término</b>				
<b>a<sub>1</sub>, b<sub>1</sub>, c<sub>1</sub>, d<sub>1</sub></b>	Ver Anexo D			
<b>M<sub>w</sub></b>	6.5	6.3	6.5	6.9
<b>X</b>	6	6	6	6
<b>e<sub>1</sub></b>	0.5	0.5	0.5	0.5

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

#### 4.1.6. Ecuaciones de Atenuación para Régimen de Subducción.

En la zona de subducción se consideran dos tipos de terremotos, los terremotos interplaca y los terremotos intraplaca.

- Los terremotos interplaca son eventos superficiales y tienen un ángulo de empuje menor que para eventos que ocurren en la superficie entre la subducción y superposición de placas. [49]
- Los sismos intraplaca ocurren dentro de las placas oceánicas de subducción y son típicamente eventos de fallas normales de alto ángulo que responden a la tensión invertida en la placa de subducción. [49]

Estos dos tipos de terremotos se distinguen de los sismos corticales superficiales que ocurren a 20 y 25 km de la costa continental. [49]

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

#### **4.1.6.1. Modelo de R. R. Youngs et. al. (1997).**

Las ecuaciones de atenuación de Youngs et al. son para aceleraciones máximas en el suelo y la respuesta espectral de aceleración para la subducción de zonas de superficies de contacto, también para terremotos que generan momentos de magnitud M5 o mayores, entre distancias de 10 a 500 km. [49]

Las relaciones fueron desarrolladas mediante un análisis de regresión utilizando un modelo de efectos de regresión aleatorios para de esta manera encontrar los movimientos críticos de los movimientos sísmicos en las zonas de subducción. El rango de atenuación de los valores picos de movimiento para zonas de subducción telúrica es menor que la generada en movimientos telúricos superficiales en zonas de placas tectónicas activas. Esta diferencia es importante en primer lugar para sismos de gran duración ya que los movimientos telúricos se incrementan con la profundidad de los sismos y los sismos intraplaca producen valores picos de movimiento que sobrepasan el 50% de los terremotos superficiales. [49]

El método de medición utilizado es la magnitud de momento (M) establecido por Hanks y Kanamori's (1979). En el cual los parámetros de la fuente del sismo tales como la localización del epicentro, profundidad focal, magnitud y mecanismo de expansión desde el foco; son recopilados de estudios especializados o del centroide de solución de momentos de Harvard. [49]

El desarrollo de estas relaciones es apropiado para:

- Sismos de magnitudes 5 o mayores.
- Profundidades focales entre 10 y 229 km.

La ecuación para la predicción de movimiento del suelo está dada por la siguiente expresión la misma que se emplea en para el cálculo de la aceleración (Y), expresada en g. [49]

$$\ln Y = -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \ln(R + 1.097e^{0.617M}) + 0.00648H + 0.3643Z_T$$

(Ec. 34)

Dónde:

**Y**: Aceleración espectral, expresada en g.

**C<sub>1-3</sub>**: Coeficientes de relación de atenuación. (Ver Anexo E).

**M**: Magnitud de Momento.

**R**: Distancia más cercana a la ruptura en (km).

**H**: Profundidad focal.

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

**Categorías.**

**Tabla 42.** Coeficientes para Suelo Profundo.

<b>Suelo Profundo</b>			
Profundidad a la roca madre es mayor a 20 metros.			
<b>Z</b>	<b>Zds</b>	<b>Zss</b>	<b>Zr</b>
1	1	0	0

**Fuente:** Youngs et al. (1997).

Dónde:

**Z**: Tipo de fuente.

**Zds**: Condiciones de profundidad del suelo.

**Zss**: Rigidez profunda.

**Zr**: Sitios rocosos.

**Tabla 43.** Coeficientes para Suelo poco profundo.

<b>Suelo Poco Profundo</b>			
Profundidad a la roca madre es menor a 20 metros.			
<b>Z</b>	<b>Zds</b>	<b>Zss</b>	<b>Zr</b>
0	0	1	0

**Fuente:** Youngs et al. (1997).

A continuación se muestra una tabla en la cual se detallan los valores utilizados en la falla de subducción los cuales corresponden a cada uno de los términos de la ecuación:

**Tabla 44.** Valores utilizados en el Modelo de Youngs.

<b>Término</b> \ <b>Falla</b>	<b>Subducción</b>
<b>M</b>	9.3
<b>R</b>	307.83
<b>H</b>	50
<b>Zt</b>	1
<b>c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub></b>	Ver Anexo E

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

#### **4.1.6.2. Modelo de John X. Zhao et al. (2006).**

Las relaciones de atenuación se han desarrollado para un fuerte movimiento de suelo como un componente importante de los estudios de peligro sísmico. De manera determinista se usan los modelos de atenuación para estimar las fuerzas y/o desplazamientos inducidos en las estructuras. [50]

Para esta GMPE se usaron términos de clase de sitio en lugar de términos de corrección del sitio individual. El uso de los términos de la clase de sitio permite identificar y contabilizar los efectos del tipo de fuente tectónica. Los efectos de un mecanismo de falla para los terremotos de la corteza terrestre también se tienen en cuenta, para los terremotos corticales e interplaca una forma simple de un modelo de atenuación, con respecto a la distancia, es capaz de capturar las principales características de movimiento fuerte y lograr estimaciones; mientras que para los eventos de la placa de subducción se emplea un factor de modificación de distancia simple para lograr predicciones pausibles e imparciales. [50]

Los efectos de la profundidad de la fuente, el tipo de fuente tectónica y el mecanismo de fallas de los terremotos corticales son significativos. [50]

En el desarrollo de estas ecuaciones se utilizaron cuatro clases de sitios SC: I, II, III y IV los cuales corresponden aproximadamente a las cuatro clases: roca, suelo duro, suelo medio y suelo blando, como lo definen Molas y Yamazaki (1995), como lo muestra la siguiente tabla. [50]

**Tabla 45.** Clases del Suelo.

<b>Clases de Sitios / Clases de Suelo</b>	<b>Descripción</b>	<b>V<sub>s30</sub></b>
Roca Dura		$V_{s30} > 1100$
SC I	Roca	$V_{s30} > 600$
SC II	Suelo duro	$300 < V_{s30} \leq 600$
SC III	Suelo mediano	$200 < V_{s30} \leq 300$
SC IV	Suelo blando	$V_{s30} \leq 200$

**Fuente:** Zhao, T. et al. (2006).

La ecuación para la predicción de movimiento del suelo está dada por la siguiente expresión la misma que se emplea en para el cálculo de la aceleración (Y), expresada en  $\text{cm/s}^2$ . [50]

$$\log Y = aM_w + bx - \log(r) + e(h - h_c)\delta_h + F_R + S_I + S_S + S_{SL} \log(x) + C_k \quad (\text{Ec. 35})$$

y,

$$r = x + c^{dM_w} \quad (\text{Ec. 36})$$

Dónde:

**Y:** Aceleración espectral amortiguada al 5% en  $\text{cm/s}^2$ .

**M:** Magnitud de Momento.

**a, b, e:** Coeficientes para condiciones de origen y trayectoria. (Ver Anexo F).

**x:** Distancia a la fuente en (km).

**h:** Profundidad focal en (km)

**h<sub>c</sub>:** Constante. (Ver Anexo F).

**C<sub>k</sub>:** Clase de sitio. (Ver Anexo F).

**F<sub>R</sub>:** Aplicado solo a eventos de falla inversa y es cero para los demás.

$S_I$ : Parámetro del tipo de fuente tectónica aplicable sólo a eventos interplaca, para el resto de eventos es cero. (Ver Anexo F).

$S_S$ : Parámetro aplicable solo a eventos de subducción, para el resto de eventos es cero. (Ver Anexo F).

$S_{SL}$ : Parámetro de modificación de trayectoria para eventos intraplaca. (Ver Anexo F).

$\delta_h$ : Toma el valor de 1 cuando  $h \geq h_c$ , caso contrario  $\delta_h = 0$ .

### Límites de profundidad focal para los diferentes tipos de eventos.

- **Evento Cortical:**  $0 \leq h \leq 25$ .
- **Evento Interplaca:**  $10 \leq h \leq 50$ .
- **Evento Intraplaca:**  $15 \leq h \leq 162$ .

Cuando  $h > 125$  km, entonces  $h = 125$  km.

A continuación se muestra una tabla en la cual se detallan los valores utilizados en la falla de subducción los cuales corresponden a cada uno de los términos de la ecuación:

**Tabla 46.** Valores utilizados en el Modelo de Zhao.

Falla Término	Subducción
<b>Mw</b>	9.3
<b>x</b>	307.83
<b>h</b>	50
<b>hc</b>	0
<b>Suelo</b>	C3
<b><math>\delta h</math></b>	1
<b>a, b, e</b>	Ver Anexo F
<b>Ck</b>	Ver Anexo F
<b>F<sub>R</sub></b>	Ver Anexo F
<b>S<sub>I</sub>, S<sub>S</sub>, S<sub>SL</sub></b>	Ver Anexo F

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

#### **4.1.6.3. Modelo de Gail M. Atkinson & David M. Boore. (2003).**

Las relaciones tierra-movimiento para terremotos que ocurren en zonas sísmicas de subducción son de gran importancia en el análisis de riesgo sísmico en muchas partes del mundo. Por tal razón se ha compilado una base de datos de espectros de respuesta de miles de grabaciones de movimiento fuerte a partir de eventos de magnitud de momento entre (M) 5 – 8.3 ocurridos en zonas de subducción en todo el mundo, incluidos los eventos interplaca y placa. Se usó la base de datos para desarrollar relaciones globales de movimiento de tierra para terremotos interface y placa utilizando un método de regresión de máxima verosimilitud, en la cual se realizan regresiones separadas para interface y los eventos dentro de la placa; mediante el cual se descubrió que existen diferencias regionales significativas. [51]

Este es un catálogo heterogéneo que contiene eventos de muchas regiones e incluyen entornos tectónicos y de tipo de suelo. Por lo tanto, la aplicación de dichas relaciones globales a áreas individuales debe evaluarse región por región a medida que haya más datos disponibles. [51]

Los mecanismos de fallas en las zonas de subducción son siempre eventos dentro de la placa. Los mecanismos de empuje implican eventos de interfaz para terremotos que ocurren a profundidades menores a 50 km en planos de inmersión poco profundos, en este rango de profundidad la placa oceánica subductora está en contacto con la corteza continental predominante. Se supone que los mecanismos de empuje representan eventos dentro de la placa si ocurren a profundidades mayores a 50 km o si ocurren en planos de inmersión abrupta. Los eventos de tipo desconocido y los eventos de profundidad focal mayores a 100 km no se incluyen en la regresión. [51]

La aplicación de esta ecuación es viable cuando:

- $M = 8.5$  para eventos interplaca mayores a 8.5 Mw.
- $M = 8$  para eventos intraplaca mayores a 8 Mw.
- Usar  $h = 100$  km para eventos con profundidades mayores a 100 km.

La ecuación para la predicción de movimiento del suelo está dada por la siguiente expresión la misma que se emplea para el cálculo de la aceleración ( $Y$ ), expresada en  $\text{cm/s}^2$ . [51]

$$\log Y = fn(M) + c_3h + c_4R - g \log R + c_5 sl S_C + c_6 sl S_D + c_7 sl S_E \quad (\text{Ec. 37})$$

Dónde:

$Y$ : Aceleración máxima del suelo.

$M$ : Magnitud de Momento.

$h$ : Profundidad focal.

$g$ : Coeficiente para eventos interplaca e intraplaca.

$S_C, S_D, S_E$ : Coeficientes en función del tipo de suelo.

$c_{3-7}$ : Coeficientes para eventos interplaca. (Ver Anexo G).

$$fn(M) = c_1 + c_2M \quad (\text{Ec. 38})$$

$$R = \sqrt{(D_{fault}^2 + \Delta^2)} \quad (\text{Ec. 39})$$

$$\Delta = 0.00724 \times 10^{0.507M} \quad (\text{Ec. 40})$$



Dónde:

$D_{fault}$ : Distancia más cercana a la superficie de falla.

$\Delta$ : Término de saturación cerca de la fuente.

Para eventos interplaca.

$$g = 10^{(1.2-0.18M)} \quad (\text{Ec. 41})$$

Para eventos intraplaca.

$$g = 10^{(0.301-0.01M)} \quad (\text{Ec. 41})$$

$S_C = 1$  para suelos tipo C ( $360 < \beta \leq 760$  m/s), de lo contrario  $S_C = 0$ .

$S_D = 1$  para suelos tipo D ( $180 < \beta \leq 360$  m/s), de lo contrario  $S_D = 0$ .

$S_E = 1$  para suelos tipo E ( $\beta < 180$  m/s), de lo contrario  $S_E = 0$ .

$sl = 1$  para  $PGA_{rx} \leq 100$  cm/s<sup>2</sup> o frecuencias  $\leq 1$  Hz.

$sl = 1 - \frac{(f-1)(PGA_{rx}-100)}{400}$  para  $100 < PGA_{rx} < 500$  cm/s<sup>2</sup> y ( $1 \text{ Hz} < f < 2 \text{ Hz}$ ).

$sl = 1 - (f - 1)$  para  $PGA_{rx} \geq 500$  cm/s<sup>2</sup> y ( $1 \text{ Hz} < f < 2 \text{ Hz}$ ).

$sl = 1 - \frac{(PGA_{rx}-100)}{400}$  para  $100 < PGA_{rx} < 500$  cm/s<sup>2</sup> y ( $f \geq 2 \text{ Hz}$  y PGA).

$sl = 0$  para  $PGA_{rx} \geq 500$  cm/s<sup>2</sup> y ( $f \geq 2 \text{ Hz}$  y PGA).

$PGA_{rx}$  se predice en base al PGA en roca (Tipo B) en cm/s<sup>2</sup>.

### Relación Magnitud-Distancia para uso.

- **Eventos Interplaca.**

$5.5 \leq M < 6$  para  $D_{fault} \leq 80$  km.

$6.5 \leq M < 7.5$  para  $D_{fault} \leq 150$  km.

$M \geq 7.5$  para  $D_{\text{fault}} \leq 300$  km.

- **Eventos Intraplaca.**

$6.0 \leq M < 6.5$  para  $D_{\text{fault}} \leq 100$  km.

$M \geq 6.5$  para  $D_{\text{fault}} \leq 200$  km.

#### **Profundidad Focal para su uso.**

- **Eventos Interplaca:**  $h \leq 50$  km.
- **Eventos Intraplaca:**  $50 \text{ km} < h < 100$  km.

A continuación se muestra una tabla en la cual se detallan los valores utilizados en la falla de subducción los cuales corresponden a cada uno de los términos de la ecuación:

**Tabla 47.** Valores utilizados en el Modelo de Atkinson & Boore.

<b>Falla Término</b>	<b>Subducción</b>
<b>M<sub>w</sub></b>	9.3
<b>h</b>	50
<b>R</b>	307.83
<b>V<sub>S30</sub></b>	342.26
<b>c<sub>3-7</sub></b>	Ver Anexo G

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

## **4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

### **4.2.1. Magnitud de Momento Sísmico.**

Las fallas geológicas seleccionadas para este trabajo de investigación representan un alto peligro para el cantón Ambato y en específico para la zona de estudio, por lo cual se realizará el cálculo de la probable magnitud de momento sísmico que estas fallas podrían generar.

#### **4.2.1.1. Cálculo de Magnitud de Momento para Régimen Cortical Intraplaca.**

Para el cálculo de la magnitud de momento sísmico que podrían provocar las fallas seleccionadas del régimen cortical se utilizará la ecuación de Donald L. Wells & Kevin J. Coppersmith (1994).

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

(Ec. 43)

Dónde:

**Mw**: Magnitud de momento en función a la longitud de ruptura.

**a y b**: Coeficientes que dependen del tipo de falla. (Ver Tabla 1).

**SRL**: Longitud de rotura superficial de la falla en km. (Ver Tabla 12).

El cálculo de la magnitud de momento sísmico para las fallas: Ambato, Huachi, Totoras y Samanga se presentan a continuación:

- **Falla Ambato:**

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

$$Mw = 5 + 1.22 * \log(16.30)$$

$$Mw = 6.5$$

- **Falla Huachi:**

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

$$Mw = 5 + 1.22 * \log(12.04)$$

$$Mw = 6.3$$

- **Falla Totoras:**

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

$$Mw = 5 + 1.22 * \log(17.65)$$

$$Mw = 6.5$$

- **Falla Samanga:**

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

$$M_w = 5 + 1.22 * \log(32.95)$$

$$M_w = 6.9$$

#### 4.2.1.2. Cálculo de Magnitud de Momento para Régimen de Subducción.

Para el cálculo de la magnitud de momento sísmico asociado a la falla generada por el evento de subducción se utilizará la ecuación de F. O. Strasser et al. (2010).

$$M_w = a + b * \log(L)$$

(Ec. 44)

Dónde:

***M<sub>w</sub>***: Magnitud de momento en función a la longitud de ruptura.

***a y b***: Coeficientes que dependen del tipo de falla. (Ver Tabla 2).

***SRL***: Longitud de la falla en km. (Ver Tabla 12).

$$M_w = 4.868 + 1.392 * \log(1536.49)$$

$$M_w = 9.3$$

**Tabla 48.** Magnitud de Momento para las Fallas seleccionadas.

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Magnitud de Momento (M<sub>w</sub>)</b>
EC-54	Samanga	Inversa Ciega	6.9
EC-344a	Huachi	Inversa Ciega	6.3
EC-344b	Ambato	Inversa Ciega	6.5
EC-345	Totoras	Transcurrente Inversa Ciega	6.5
EC-223	Subducción	Inversa	9.3

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

#### 4.2.2. Cálculo de Espectros.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo realizar la evaluación del peligro sísmico en el área de estudio seleccionada mediante la obtención y análisis de espectros de respuesta en aceleración asociados con el sistema de fallas cercanas.

Los espectros de respuesta fueron propuestos por Biot en el año 1932 y seguidamente desarrollados por Housner, Newmark y otros más. Hoy en día los espectros de respuesta son una herramienta importante en la dinámica estructural y de gran utilidad en el área del diseño sismorresistente, en forma general se puede definir a un espectro como un gráfico de la respuesta máxima que produce una acción dinámica determinada en una estructura u oscilador de un grado de libertad. [52]

La importancia de los espectros en el diseño de las estructuras radica en el hecho de que estos gráficos condensan la compleja respuesta dinámica en un parámetro clave: los valores de respuesta máxima, que son usualmente requeridos por el diseñador para el cálculo de estructuras. Sin embargo, los espectros de respuesta omiten información importante dado que los efectos del terremoto sobre la estructura dependen no solo de la respuesta máxima sino también de la duración del movimiento y del número de ciclos con demanda significativa de desplazamientos. [52]

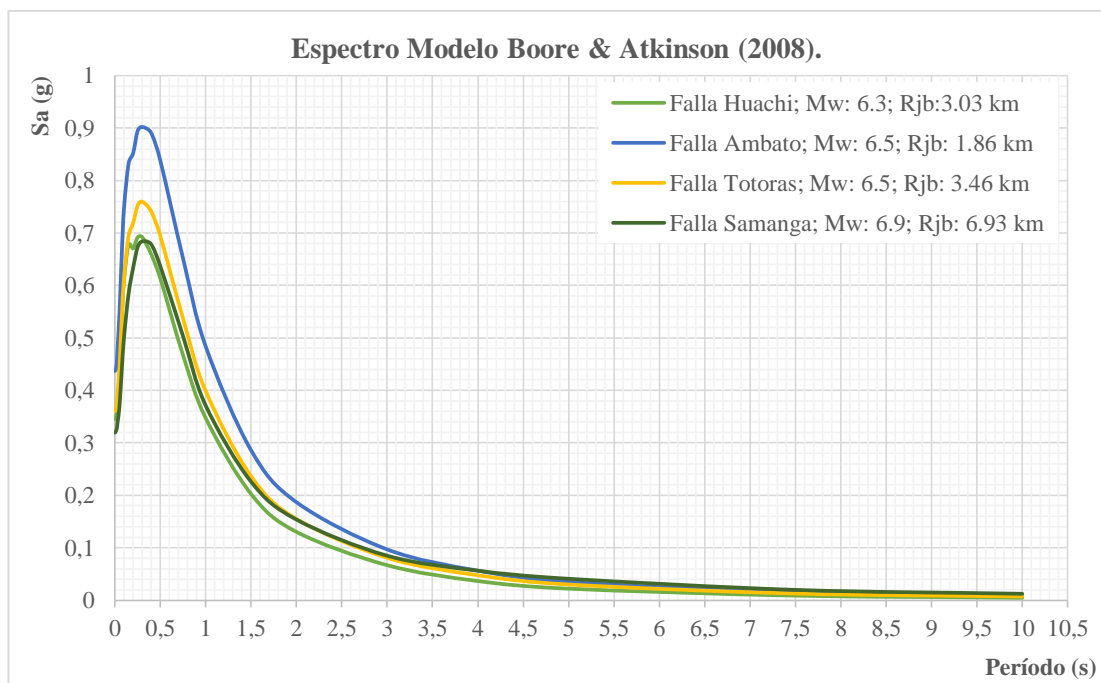
El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura. [4]

Para el cálculo de todos los espectros se utilizó la velocidad de onda cortante promedio calculada previamente para la zona de estudio ( $V_{s30} = 342.26$  m/s) y posteriormente se comparará el espectro obtenido del sector en estudio con el espectro establecido por la NEC-15.

#### 4.2.2.1. Espectros para el Régimen Cortical Intraplaca.

##### 4.2.2.1.1. Espectros del Modelo de David M. Boore & Gail M. Atkinson (2008).

**Gráfico 2.** Espectros de aceleración Modelo D. Boore y G. Atkinson (2008).



Elaborado por: Talía Cevallos.

**Tabla 49.** Porcentajes del descenso de la Aceleración.

Modelo de Boore & Atkinson			
Falla	Aceleración Máxima (Sa)	Período (s)	Variación de la Aceleración (%)
Ambato	0.91	0.3	100.00

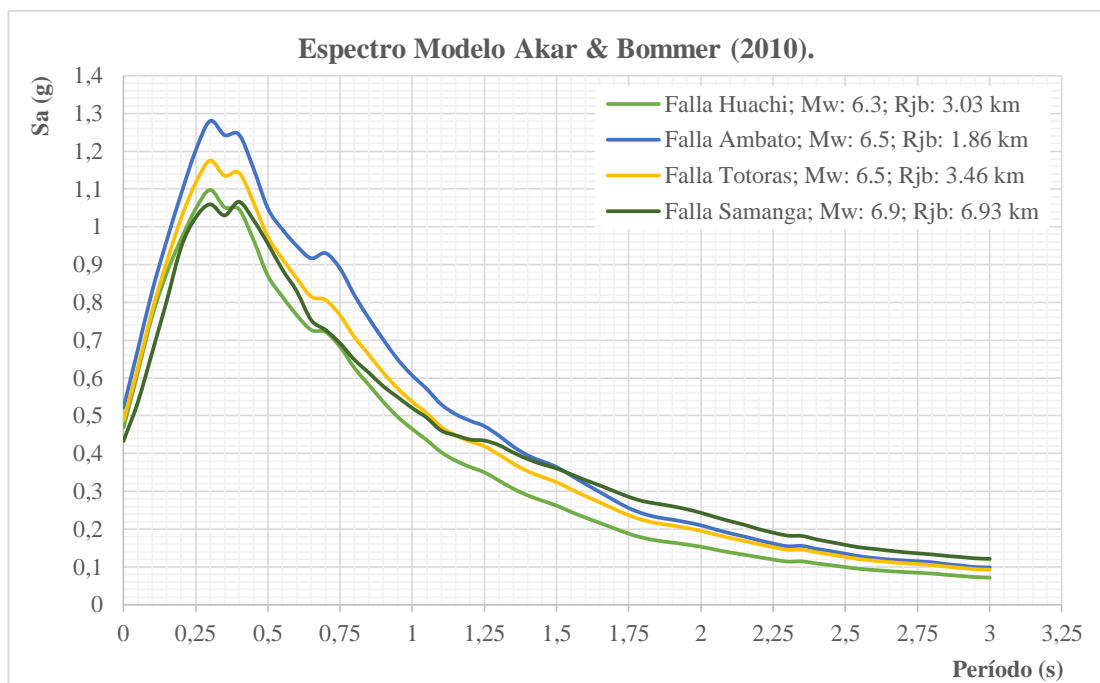
Huachi	0.70	0.3	76.92
Totoras	0.77	0.3	84.62
Samanga	0.69	0.4	75.82

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Del análisis del Gráfico 2 y la Tabla 49 del Modelo de Boore & Atkinson (2008), se observa que el espectro que genera mayor respuesta en aceleración es el obtenido de la Falla Ambato dado que presenta una aceleración de 0.91 g para un período de 0.3 (s), la misma que representa un porcentaje del 100%.

#### 4.2.2.1.2. Espectros del Modelo de Sinan Akkar & Julian J. Bommer (2010).

**Gráfico 3.** Espectros de aceleración Modelo S. Akkar y J. Bommer (2010).



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 50.** Porcentajes del descenso de la Aceleración.

Modelo de Akkar & Bommer			
Falla	Aceleración Máxima (Sa)	Período (s)	Variación de la Aceleración (%)
Ambato	1.29	0.3	100.00

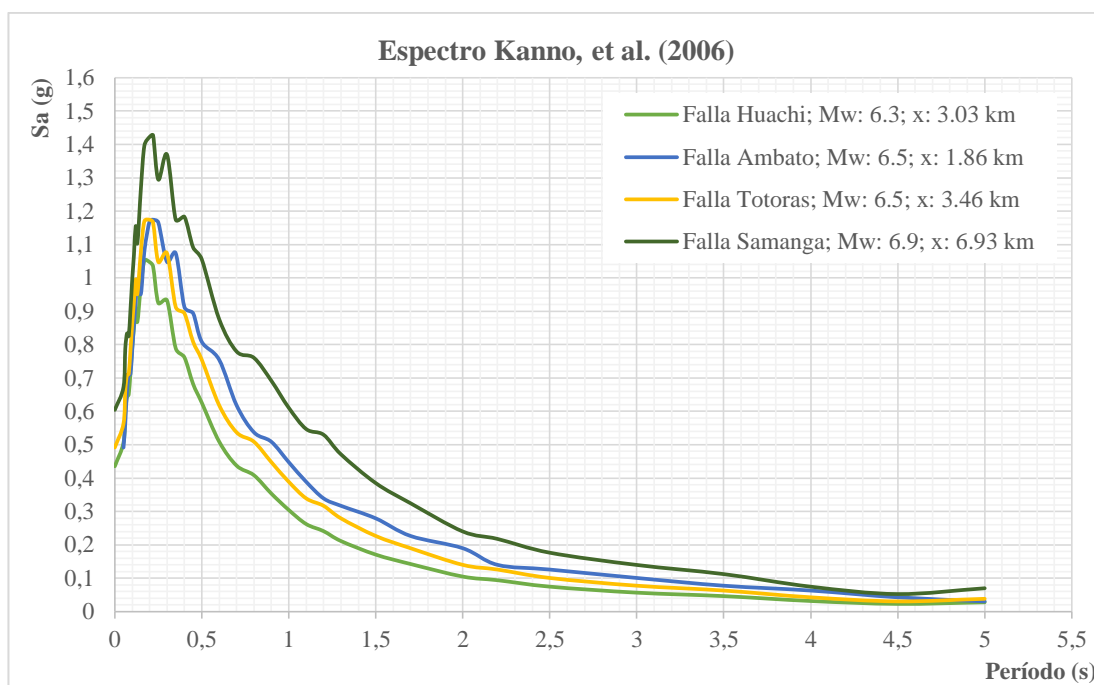
Huachi	1.10	0.3	85.27
Totoras	1.18	0.3	91.47
Samanga	1.07	0.4	82.95

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Del análisis del Gráfico 3 y la Tabla 50 del Modelo de Akkar & Bommer (2010), se observa que el espectro que presenta mayor respuesta en aceleración es el obtenido de la Falla Ambato dado que genera una aceleración de 1.29 g para un período de 0.3 (s), la cual representa el 100%.

#### 4.2.2.1.3. Espectros del Modelo de Tatsuo Kanno, et al. (2006).

**Gráfico 4.** Espectros de aceleración Modelo T. Kanno, et al. (2006).



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 51.** Porcentajes del descenso de la Aceleración.

<b>Modelo de Kanno</b>			
<b>Falla</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>
Samanga	1.43	0.2	100.00



Huachi	1.05	0.2	73.43
Totoras	1.18	0.2	82.52
Ambato	1.18	0.2	82.52

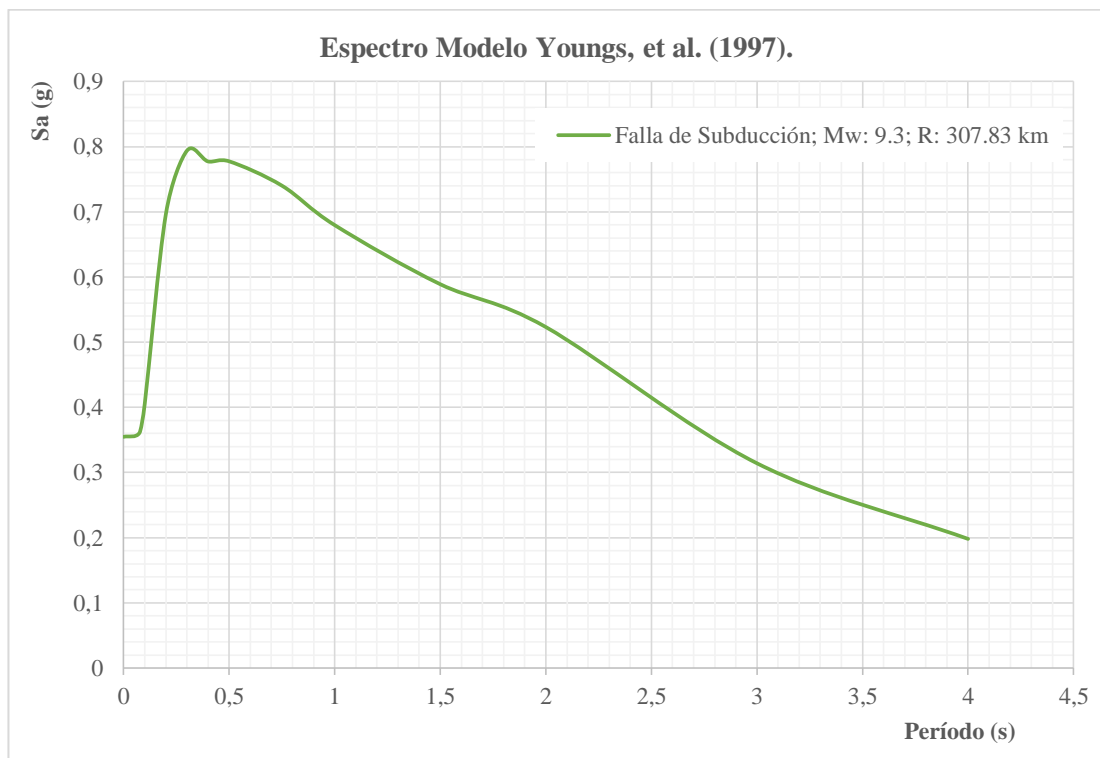
**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Del análisis del Gráfico 4 del Modelo de Kanno, et al. (2006), se observa que el espectro que genera mayor respuesta en aceleración es el obtenido de la Falla Samanga dado que presenta una aceleración de 1.43 g para un período de 0.2 (s), mientras que las otras fallas mantienen cierta similitud en su aceleración.

#### 4.2.2.2. Espectros para el Régimen de Subducción.

##### 4.2.2.2.1. Modelo de R. R. Youngs et al. (1997).

**Gráfico 5.** Espectro de aceleración Modelo R. Youngs, et al. (1997).

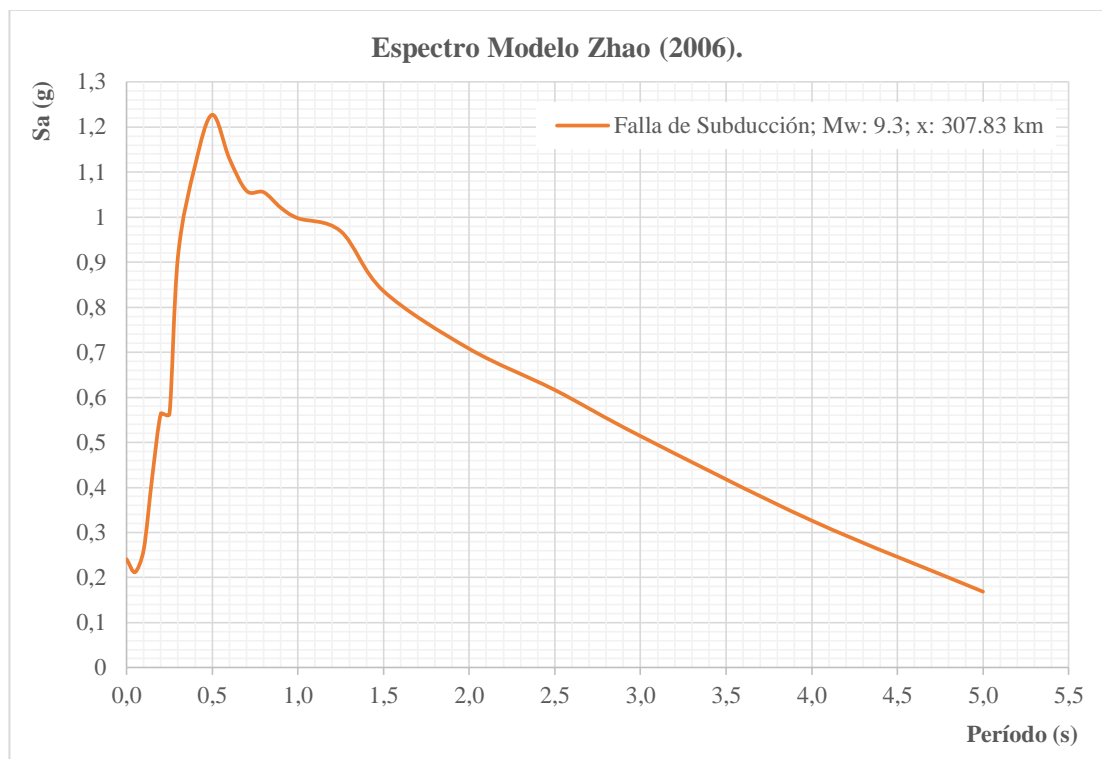


**Elaborado por:** Talía Cevallos.

En el Gráfico 5 se muestra la aceleración calculada a partir de la falla de subducción mediante el Modelo de Youngs, et al. (1997), en donde se observa que los valores de la aceleración aumentan hasta llegar a una aceleración máxima de 0.80 g para un período de 0.3 (s) para después generar aceleraciones que disminuyen en menor proporción conforme aumenta el período hasta llegar a un período límite de 4 (s).

#### 4.2.2.2.2. Modelo de John X. Zhao et al. (2006).

**Gráfico 6.** Espectro de aceleración Modelo X. Zhao, et al. (2006).



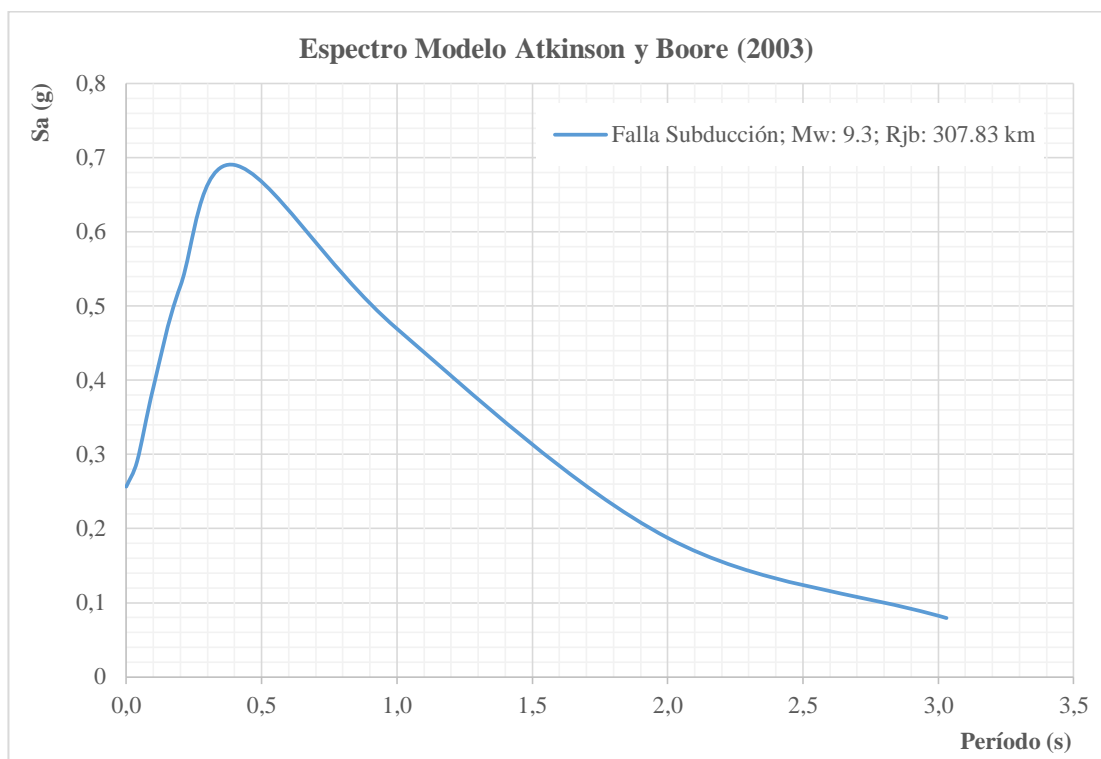
**Elaborado por:** Talía Cevallos.

En el Gráfico 5 se muestra la aceleración calculada a partir de la falla de subducción mediante el Modelo de Zhao, et al. (2006), en donde se observa que los valores de la

aceleración aumentan hasta llegar a una aceleración máxima de 1.23 g para un período de 0.52 (s) para después generar aceleraciones que disminuyen en menor proporción conforme aumenta el período hasta llegar a un período límite de 5 (s).

#### 4.2.2.2.3. Modelo de Gail M. Atkinson & David M. Boore. (2003).

**Gráfico 7.** Espectro de aceleración Modelo G. Atkinson & D. Boore (2003).



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

En el Gráfico 5 se muestra la aceleración calculada a partir de la falla de subducción mediante el Modelo de Atkinson & Boore (2003), en donde se observa que los

valores de la aceleración aumentan hasta llegar a una aceleración máxima de 0.69 g para un período de 0.46 (s) para después generar aceleraciones que disminuyen en menor proporción conforme aumenta el período hasta llegar a un período límite de 3 (s).

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

**Tabla 52.** Aceleraciones Máximas y su variación porcentual.

<b>Modelo de Boore &amp; Atkinson</b>				
<b>Falla</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>	
Ambato	0.91	0.3	<b>Fallas</b>	<b>%</b>
Huachi	0.70	0.3	Ambato-Huachi	23.08
Totoras	0.77	0.3	Ambato-Totoras	15.38
Samanga	0.69	0.4	Ambato-Samanga	24.18
<b>Modelo de Akkar &amp; Bommer</b>				
<b>Falla</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>	
Ambato	1.29	0.3	<b>Fallas</b>	<b>%</b>
Huachi	1.10	0.3	Ambato-Huachi	14.73
Totoras	1.18	0.3	Ambato-Totoras	8.53
Samanga	1.07	0.4	Ambato-Samanga	17.05
<b>Modelo de Kanno</b>				
<b>Falla</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>	
Samanga	1.43	0.2	<b>Fallas</b>	<b>%</b>
Huachi	1.05	0.2	Samanga-Huachi	26.57
Totoras	1.18	0.2	Samanga-Totoras	17.48
Ambato	1.18	0.2	Samanga-Ambato	17.48
<b>Modelo de Youngs</b>				
<b>Falla</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>		<b>Período (s)</b>	
Subducción	0.80		0.3	
<b>Modelo de Zhao</b>				
<b>Falla</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>		<b>Período (s)</b>	

Subducción	1.23	0.5
<b>Modelo de Atkinson &amp; Boore</b>		
<b>Falla</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>
Subducción	0.69	0.4

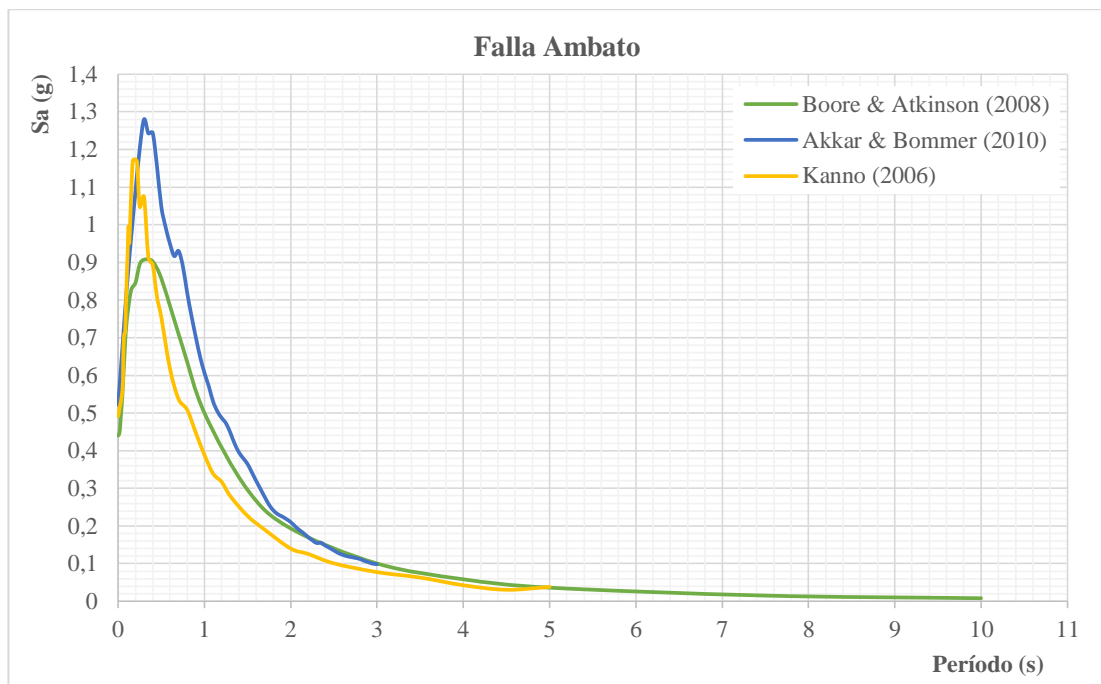
**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Del análisis de la Tabla 52 se puede observar que el período en el que se encuentran las aceleraciones más críticas es de 0.3 (s) el cual corresponde a un 46.67% del total de datos obtenidos con los diferentes modelos de atenuación, lo que permite estimar que las edificaciones que van a estar en peligro por los picos de aceleración máxima serán aquellas que se encuentren en el período de 0.3 (s) el cual representa a una edificación de 3 pisos.

#### 4.2.2.3. Espectros de una falla para diferentes modelos de atenuación.

##### 4.2.2.3.1. Espectros de las fallas para los modelos del Régimen Cortical Intraplaca.

**Gráfico 8.** Espectros de aceleración Falla Ambato.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

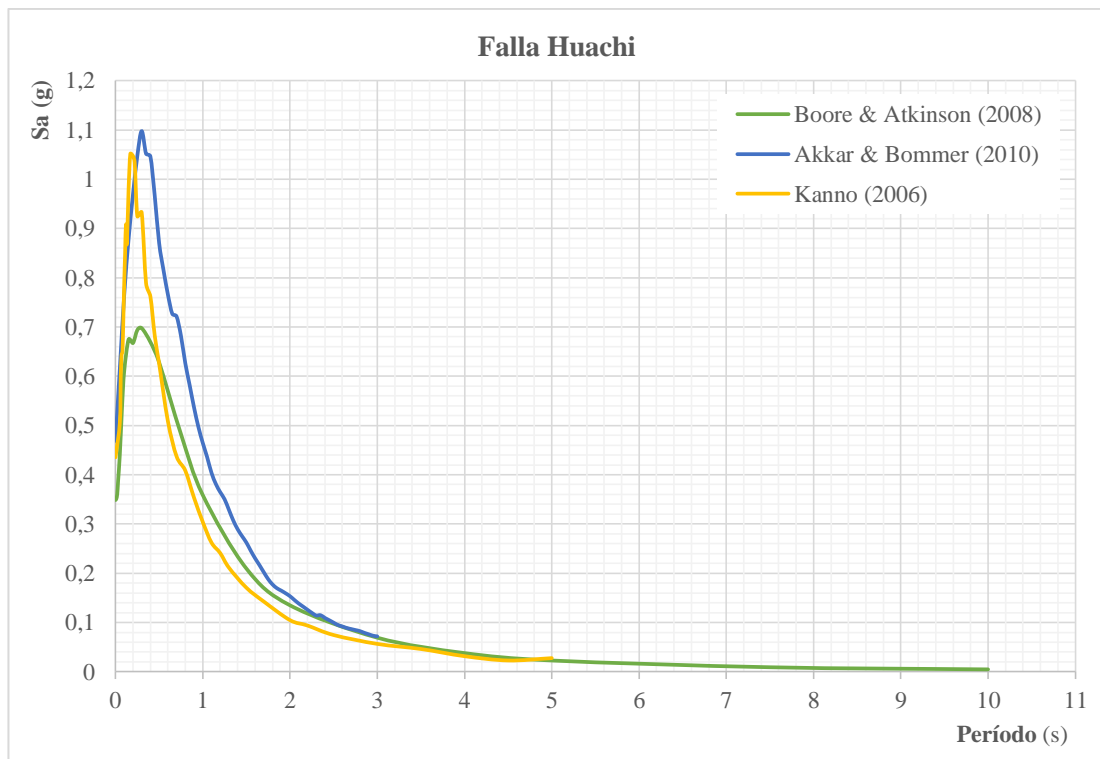
**Tabla 53.** Porcentajes de descenso de la Aceleración.

<b>Falla Ambato</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>
Akkar & Bommer	1.28	0.3	100.00
Kanno	1.18	0.2	92.19
Boore & Atkinson	0.91	0.8	71.09

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

En el Gráfico 8 y la Tabla 53 se observa que el Modelo de Akkar & Bommer es el que predomina en la Falla Ambato el cual tiene una aceleración máxima de 1.28 g que corresponde a un período de 0.3 (s) la cual corresponde al 100%.

**Gráfico 9.** Espectros de aceleración Falla Huachi.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

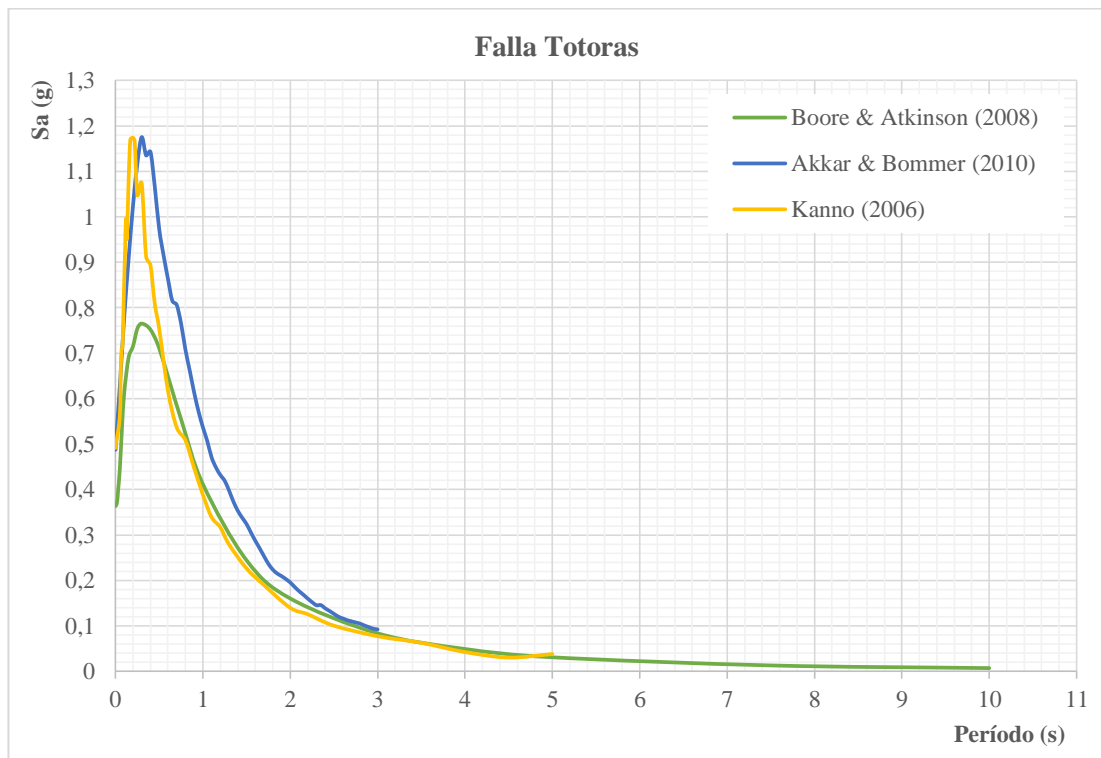
**Tabla 54.** Porcentajes de descenso de la Aceleración.

<b>Falla Huachi</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>
Akkar & Bommer	1.11	0.3	100.00
Kanno	1.05	0.2	94.59
Boore & Atkinson	0.71	0.3	63.96

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

En el Gráfico 9 y la Tabla 54 se observa que el Modelo de Akkar & Bommer es el que predomina en la Falla Huachi el cual tiene una aceleración máxima de 1.11 g que corresponde a un período de 0.3 (s) la cual representa a un porcentaje del 100%.

**Gráfico 10.** Espectros de aceleración Falla Totoras.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

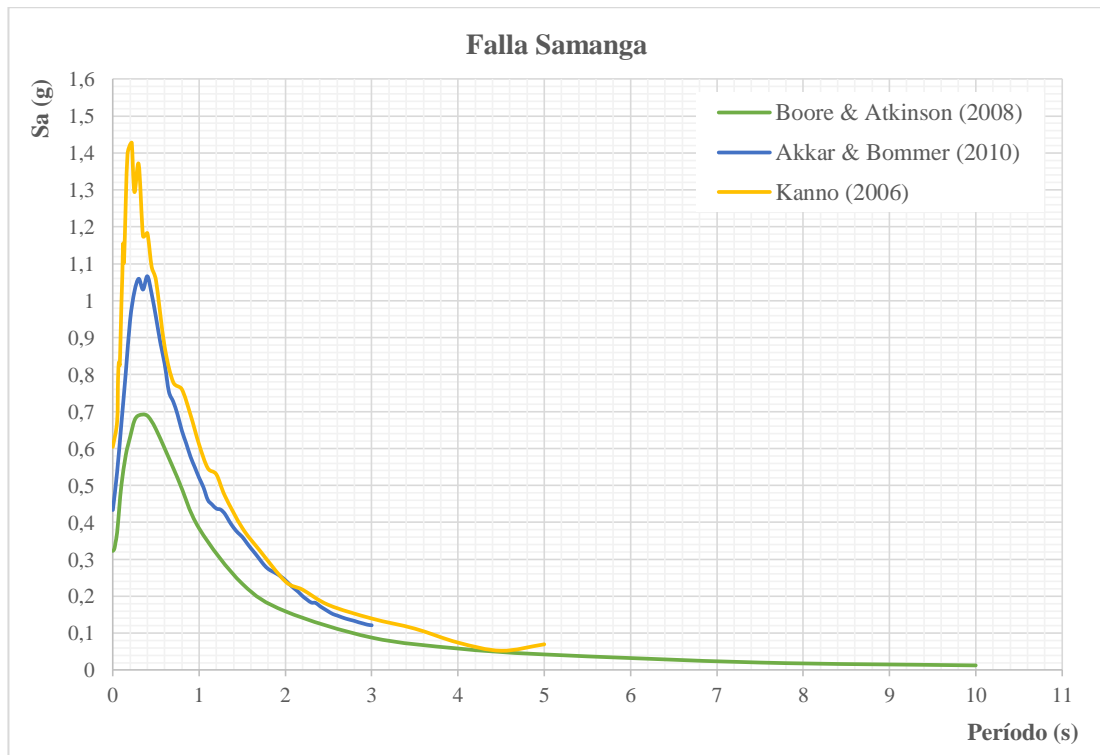
**Tabla 55.** Porcentajes de descenso de la Aceleración.

<b>Falla Totoras</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>
Akkar & Bommer	1.17	0.3	100.00
Kanno	1.17	0.2	100.00
Boore & Atkinson	0.76	0.3	64.96

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

En el Gráfico 10 y la Tabla 55 se observa que los modelos que predominan en la Falla Totoras son Akkar & Bommer y Kanno los cuales tienen una aceleración máxima de 1.17 g los mismos que corresponden a períodos de 0.3 (s) y 0.2 (s) respectivamente, dichas aceleraciones representan una variación del 100%.

**Gráfico 11.** Espectros de aceleración Falla Samanga.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.



**Tabla 56.** Porcentajes del descenso de la Aceleración.

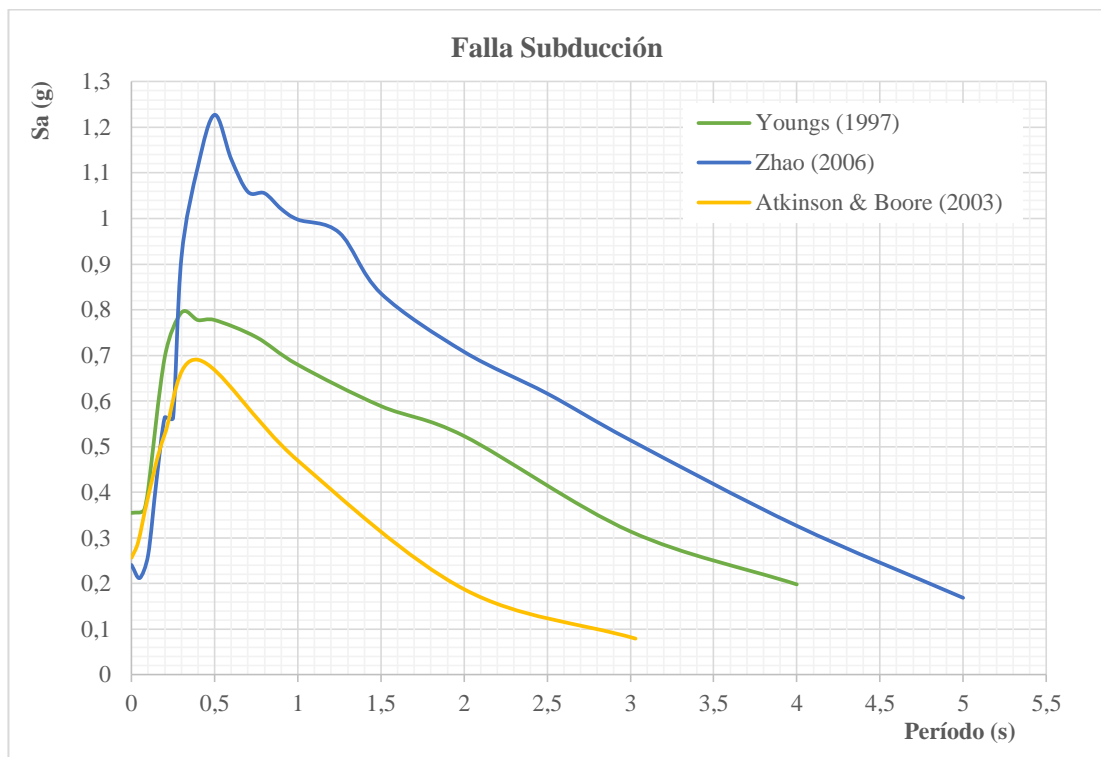
<b>Falla Samanga</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>
Kanno	1.44	0.3	100.00
Akkar & Bommer	1.07	0.4	74.31
Boore & Atkinson	0.69	0.4	47.92

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

En el Gráfico 11 y la Tabla 56 se observa que el Modelo de Kanno es el que predomina en la Falla Totoras el cual tiene una aceleración máxima de 1.44 g que corresponde a un período de 0.3 (s) la cual representa un 100% de la variación de la aceleración.

#### 4.2.2.3.2. Espectros de la falla de subducción para los modelos del Régimen de Subducción.

**Gráfico 12.** Espectros de aceleración Falla de Subducción.



Elaborado por: Talía Cevallos.

**Tabla 57.** Porcentajes del descenso de la Aceleración.

<b>Falla de Subducción</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>
Zhao	1.23	0.5	100.00
Youngs	0.8	0.3	65.04
Atkinson & Boore	0.84	0.3	68.29

Elaborado por: Talía Cevallos.

En el Gráfico 12 y la Tabla 57 se observa que el Modelo de X. Zhao, et al. es el que predomina en la Falla de Subducción el cual tiene una aceleración máxima de 1.23 g que corresponde a un período de 0.5 (s) el mismo que tiene un 100% de variación en la aceleración.

A continuación, se muestra una tabla resumen para cada una de las fallas y los modelos usados en cada régimen.

**Tabla 58.** Aceleraciones Máximas y su variación porcentual.

<b>Falla Ambato</b>				
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>	
Akkar & Bommer	1.28	0.3	<b>Modelos</b>	<b>%</b>
Kanno	1.18	0.2	Akkar & Bommer-Kanno	7.81
Boore & Atkinson	0.91	0.8	Akkar & Bommer-Boore & Atkinson	28.91
<b>Falla Huachi</b>				
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>	
Akkar & Bommer	1.11	0.3	<b>Modelos</b>	<b>%</b>
Kanno	1.05	0.2	Akkar & Bommer-Kanno	5.41
Boore & Atkinson	0.71	0.3	Akkar & Bommer-Boore & Atkinson	36.04
<b>Falla Totoras</b>				
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>	
Akkar & Bommer	1.17	0.3	<b>Modelos</b>	<b>%</b>
Kanno	1.17	0.2	Akkar & Bommer-Kanno	0.00
Boore & Atkinson	0.76	0.3	Akkar & Bommer-Boore & Atkinson	35.04
<b>Falla Samanga</b>				

Modelo	Aceleración Máxima (Sa)	Período (s)	Variación de la Aceleración (%)	
Kanno	1.44	0.3	<b>Modelos</b>	<b>%</b>
Akkar & Bommer	1.07	0.4	Kanno-Akkar & Bommer	25.69
Boore & Atkinson	0.69	0.4	Kanno-Boore & Atkinson	52.08
<b>Falla de Subducción</b>				
Modelo	Aceleración Máxima (Sa)	Período (s)	Período (s)	
Zhao	1.23	0.5	<b>Modelos</b>	<b>%</b>
Youngs	0.8	0.3	Zhao - Youngs	34.96
Atkinson & Boore	0.84	0.3	Zhao - Atkinson & Boore	31.71

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Del análisis de la Tabla 58 se puede observar que el período en el que se encuentran las aceleraciones más críticas es de 0.3 (s) el cual corresponde a un 53.33% del total de datos obtenidos en las diferentes fallas, lo que permite estimar que las edificaciones que van a estar en peligro por los picos de aceleración máxima serán aquellas que se encuentren en el período de 0.3 (s) el cual representa a una edificación de 3 pisos.

#### 4.2.2.4. Espectro NEC-15 para el sitio de estudio.

La NEC-15 establece un espectro probabilista el cual será comparado con los espectros calculados en el presente trabajo de investigación, para lo cual se darán a conocer los parámetros con los cuales se determinó el espectro dado por la NEC-15.

**Tabla 59.** Parámetros para la determinación del espectro NEC-15.

Parámetro	Factor	Valor
<b>Zona Sísmica Z</b>	V	0.4
<b>Importancia</b>	Otras Estructuras	1
<b>Reducción de Resistencia R</b>	Pórticos especiales sismo resistentes, hormigón armado con vigas descolgadas.	8
<b>Tipo de Suelo</b>	D	360 m/s > Vs ≥ 180 m/s

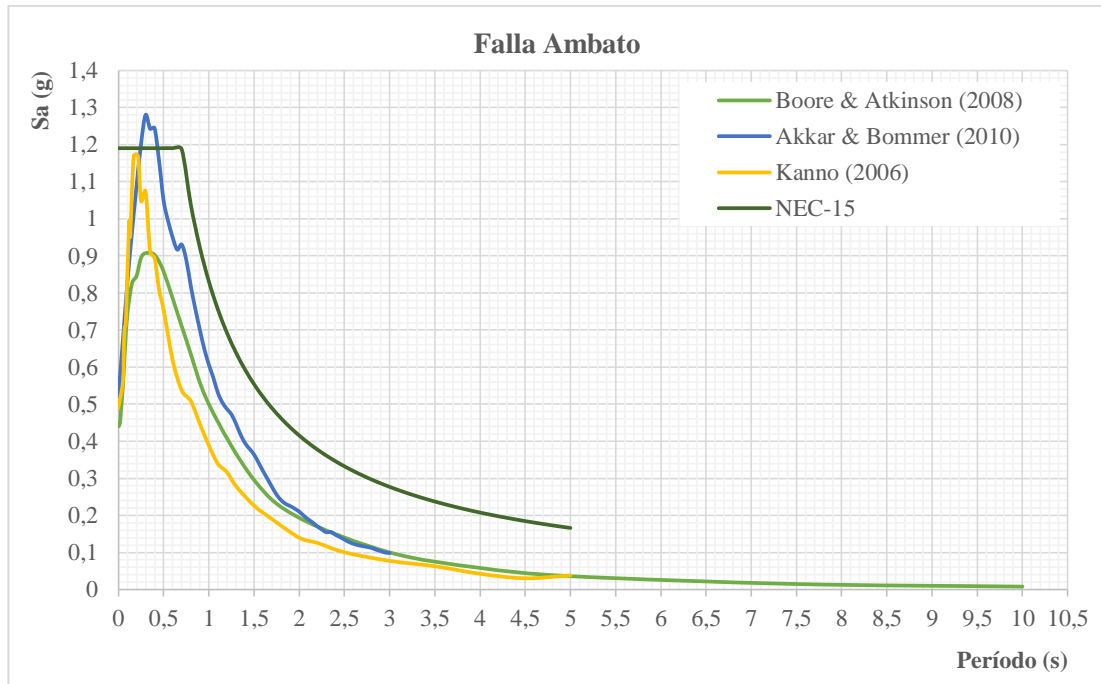
<b>Coefficientes de Amplificación del Suelo</b>	<b>Fa</b>	1.2
	<b>Fd</b>	1.19
	<b>Fs</b>	1.28
<b>Amplificación Espectral <math>\eta</math></b>	Sierra	2.48
<b>Factor que depende del tipo de suelo r</b>	Para todos los suelos excepto el suelo tipo E.	1

**Fuente:** NEC-SE-DS (2015).

En los siguientes gráficos se realiza la comparación de los espectros obtenidos con los modelos correspondientes para cada una de las fallas seleccionadas y el espectro establecido por la NEC-15.

#### **4.2.2.4.1. Espectros para el Régimen Cortical con el espectro NEC-15.**

**Gráfico 13.** Espectros de aceleración obtenidos con los modelos de Boore & Atkinson, Akkar & Bommer, Kanno y Espectro NEC-15 para la Falla Ambato.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

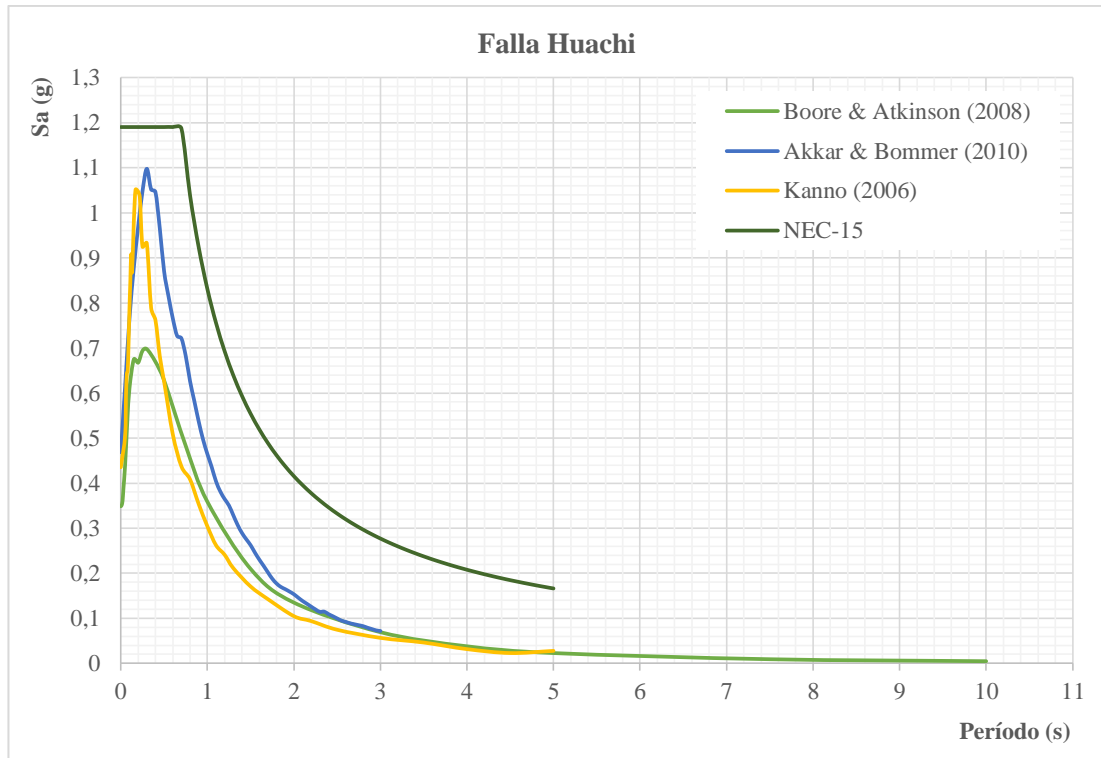
**Tabla 60.** Variación de la Aceleración respecto a la NEC-15.

<b>Falla Ambato</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>
NEC-15	1.19	0.7	100.00
Akkar & Bommer	1.28	0.3	107.56
Kanno	1.18	0.2	99.16
Boore & Atkinson	0.91	0.8	76.47

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

En el Gráfico 13 y Tabla 60 se observa que los espectros de los Modelos de Boore & Atkinson y Kanno están totalmente dentro del rango de los valores del espectro de la NEC-15 los cuales tienen porcentajes de aceleración del 76.47% y 99.16% respectivamente, mientras que el Modelo de Akkar & Bommer sobrepasa el rango de la aceleración en comparación con el espectro de la NEC-15 durante un cierto intervalo de período con un porcentaje de aceleración del 107.56%.

**Gráfico 14.** Espectros de aceleración obtenidos con los modelos de Boore & Atkinson, Akkar & Bommer, Kanno y Espectro NEC-15 para la Falla Huachi.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

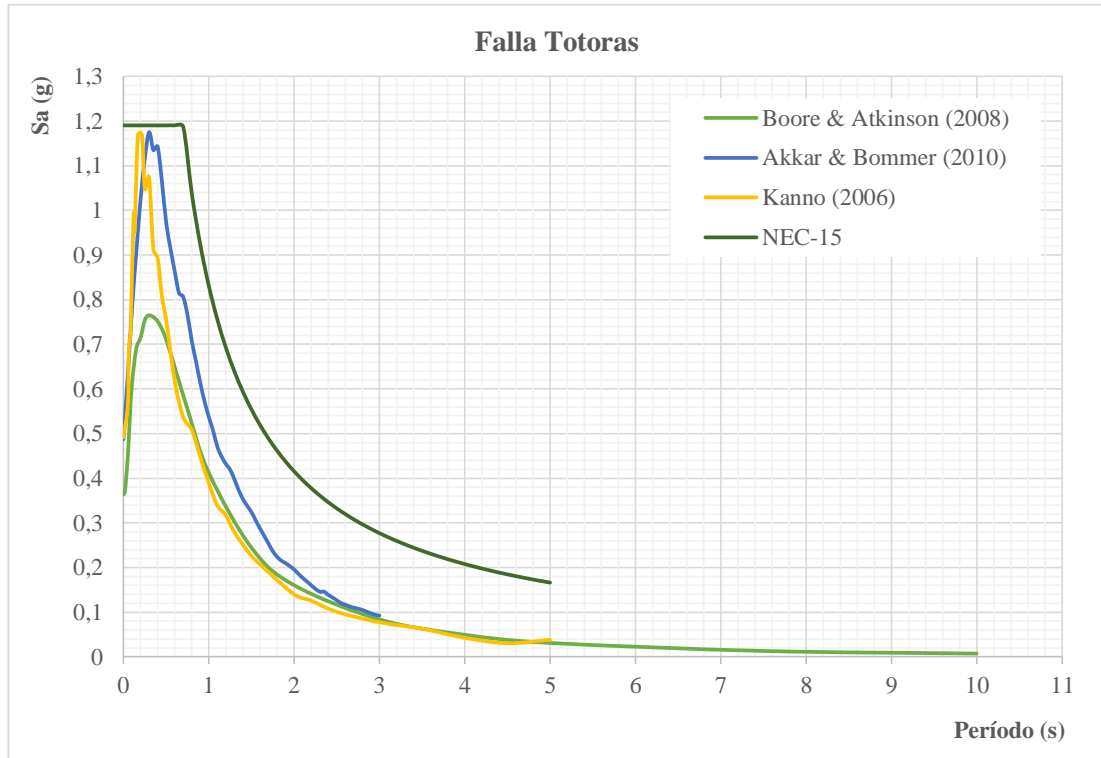
**Tabla 61.** Variación de la Aceleración respecto a la NEC-15.

<b>Falla Huachi</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>
NEC-15	1.19	0.7	100.00
Akkar & Bommer	1.11	0.3	93.28
Kanno	1.05	0.2	88.24
Boore & Atkinson	0.71	0.3	59.66

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

En el Gráfico 14 y Tabla 61 se observa que todos los espectros están totalmente dentro del rango de los valores del espectro de la NEC-15, los mismos que presentan porcentajes de variación de aceleración inferiores a la NEC.

**Gráfico 15.** Espectros de aceleración obtenidos con los modelos de Boore & Atkinson, Akkar & Bommer, Kanno y Espectro NEC-15 para la Falla Totoras.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

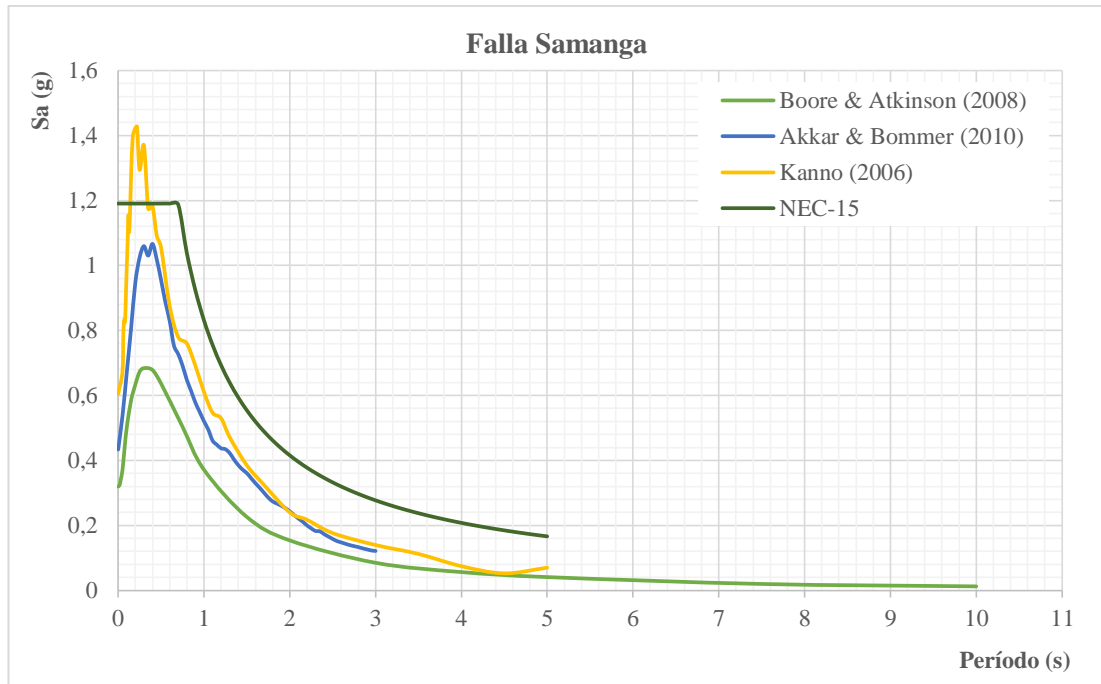
**Tabla 62.** Variación de la Aceleración respecto a la NEC-15.

<b>Falla Totoras</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Aceleración Máxima (Sa)</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Variación de la Aceleración (%)</b>
NEC-15	1.19	0.7	100.00
Akkar & Bommer	1.17	0.3	98.32
Kanno	1.17	0.2	98.32
Boore & Atkinson	0.76	0.3	63.87

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

En el Gráfico 15 y Tabla 62 se observa que todos los espectros están totalmente dentro del rango de los valores del espectro de la NEC-15, los mismos que presentan porcentajes de variación de aceleración inferiores a la NEC.

**Gráfico 16.** Espectros de aceleración obtenidos con los modelos de Boore & Atkinson, Akkar & Bommer, Kanno y Espectro NEC-15 para la Falla Samanga.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 63.** Variación de la Aceleración respecto a la NEC-15.

Falla Samanga			
Modelo	Aceleración Máxima (Sa)	Período (s)	Variación de la Aceleración (%)
NEC-15	1.19	0.7	100.00
Kanno	1.44	0.3	121.01
Akkar & Bommer	1.07	0.4	89.92
Boore & Atkinson	0.69	0.4	57.98

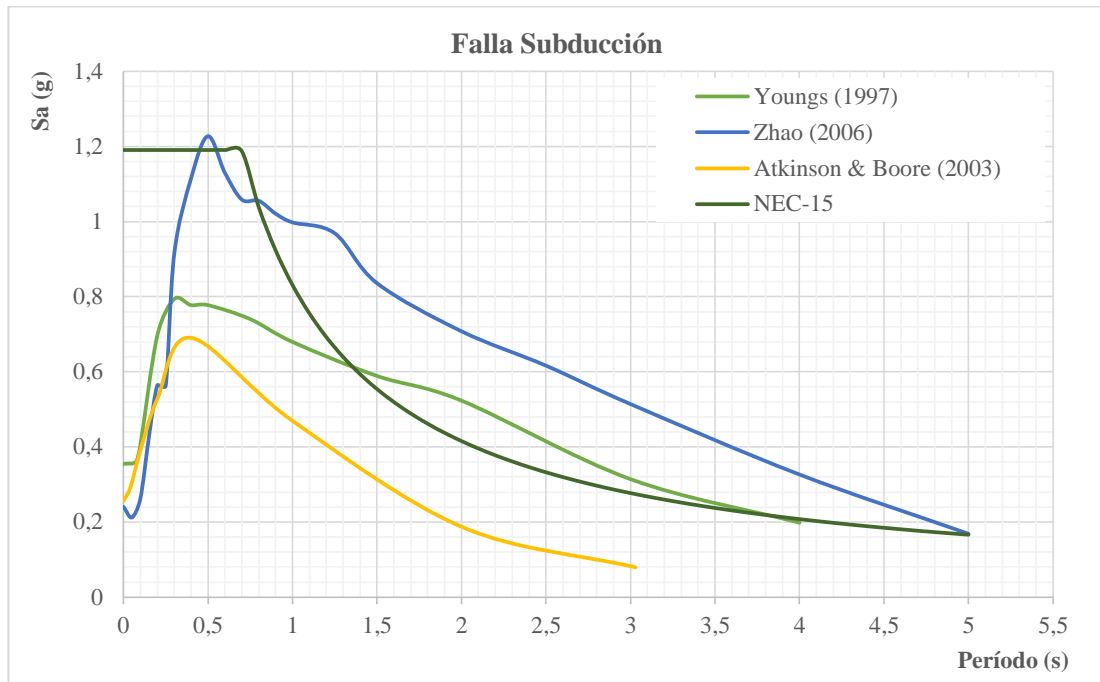
**Elaborado por:** Talía Cevallos.

En el Gráfico 16 y Tabla 63 se observa que los espectros del Modelo de Boore & Atkinson y Akkar & Bommer están totalmente dentro del rango de los valores del espectro de la NEC-15 los cuales tienen porcentajes de aceleración del 57.98% y 89.92% respectivamente, mientras que el Modelo de Kanno sobrepasa el rango de la aceleración en comparación con el espectro de la NEC-15 durante un cierto intervalo de período con un porcentaje de aceleración del 121.01%.



#### 4.2.2.4.2. Espectros para el Régimen de Subducción.

**Gráfico 17.** Espectros de aceleración obtenidos con los modelos de Youngs, Zhao y Atkinson & Boore y Espectro NEC-15 para la Falla de Subducción.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 64.** Variación de la Aceleración respecto a la NEC-15.

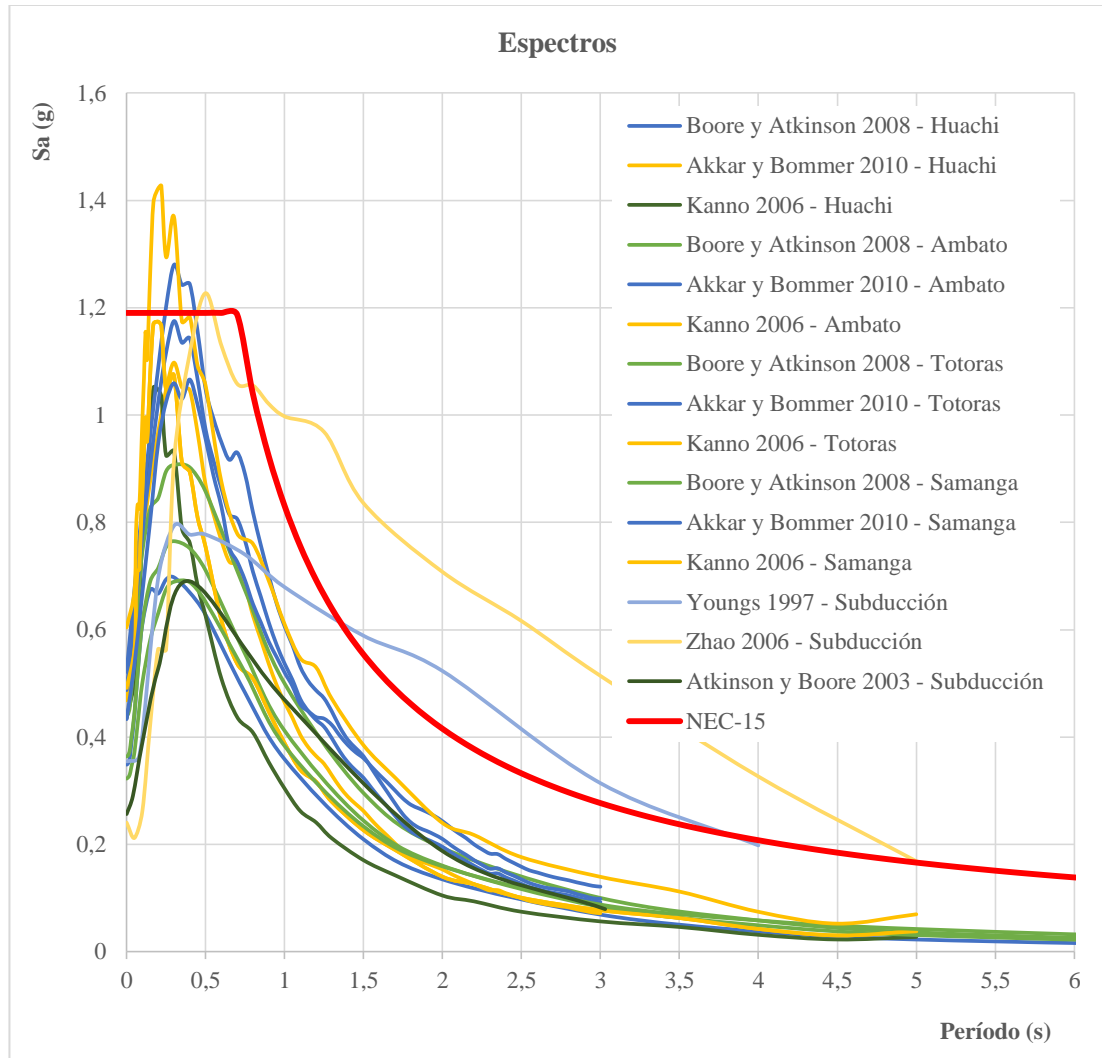
Falla de Subducción			
Modelo	Aceleración Máxima (Sa)	Período (s)	Variación de la Aceleración (%)
NEC-15	1.19	0.7	100.00
Zhao	1.23	0.5	103.36
Youngs	0.8	0.3	67.23
Atkinson & Boore	0.84	0.3	70.59

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

En el Gráfico 17 y Tabla 64 se observa que los espectros del Modelo de Youngs y Kanno están totalmente dentro del rango de los valores del espectro de la NEC-15, y poseen valores de aceleración con porcentajes menores a la aceleración máxima del espectro de la NEC-15, mientras que el Modelo de Zhao tiene un incremento en la aceleración hasta llegar al punto más crítico y sobrepasa los rangos de la aceleración máxima con un porcentaje del 103.36%.

#### 4.2.3. Espectros de todos los modelos comparados con la NEC-15.

**Gráfico 18.** Espectros de aceleración obtenidos con todos los modelos a partir de las fallas corticales y de subducción y Espectro NEC-15.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Del análisis del Gráfico 18 se deduce que la mayoría de modelos empleados para las distintas fallas corticales y de subducción están dentro del rango de los valores del espectro de la NEC-15, pero tienen excepciones como en el caso del modelo de Kanno para la falla Samanga y Akkar & Bommer para la falla Ambato en las cuales la aceleración máxima supera a la aceleración del espectro de la NEC-15; y de igual manera se observa que en el modelo de Zhao para subducción la aceleración y el período no están dentro del rango del espectro NEC-15.

#### 4.2.4. Espectro Determinista a partir de una envolvente de aceleraciones comparado con la NEC-15.

En el Gráfico 18 podemos observar todos los espectros generados por las fallas corticales y la falla de subducción los cuales fueron obtenidos a partir de cada uno de los modelos de atenuación, en dicho gráfico existen intervalos en los que el espectro de la NEC-15 se ve superado, por tal motivo el presente trabajo de investigación determinará un espectro crítico que corresponderá a la envolvente de las máximas aceleraciones producidas en los espectros calculados.

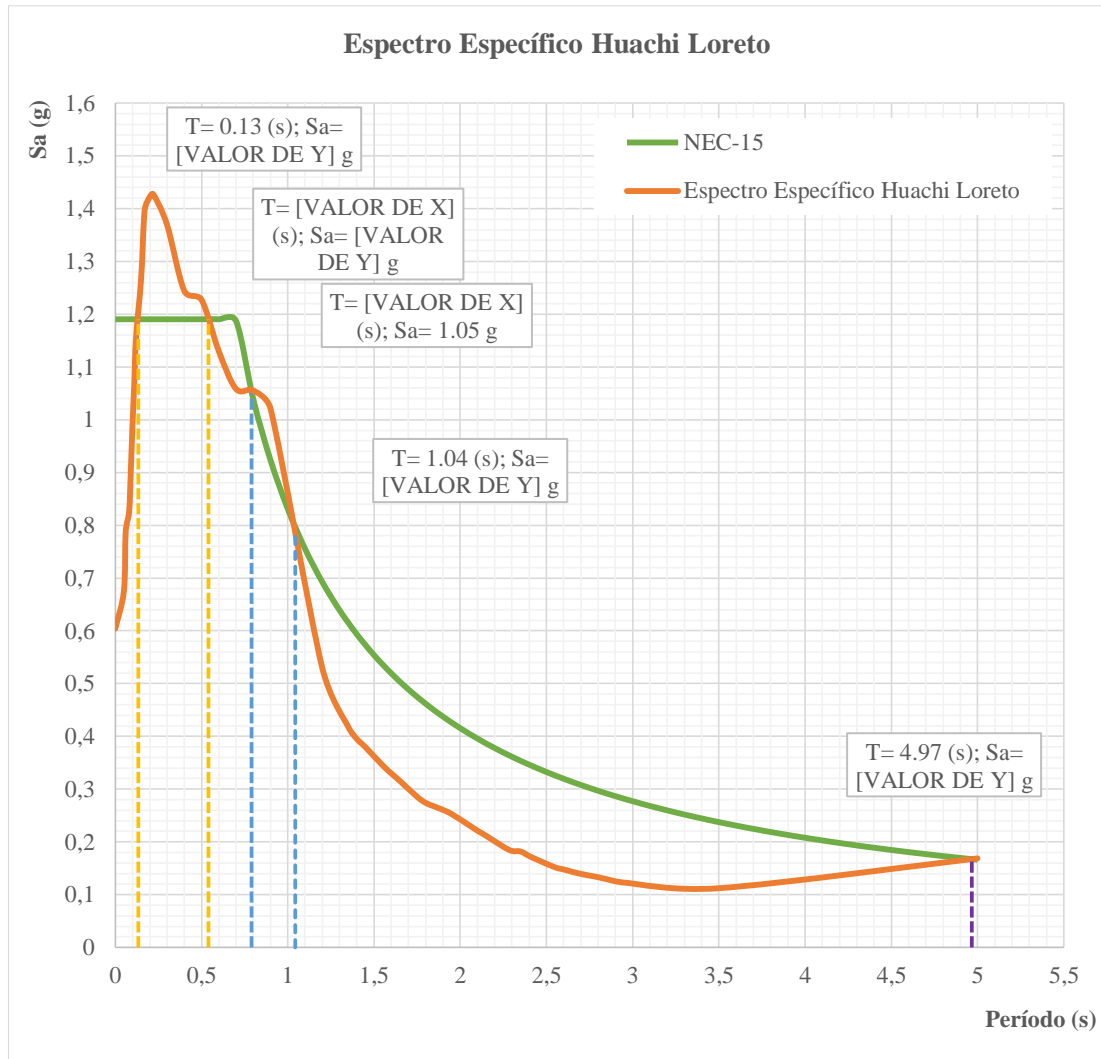
En la siguiente tabla se muestran los valores con los cuales se obtuvo la envolvente de las máximas aceleraciones.

**Tabla 65.** Valores para Espectro envolvente de máximas aceleraciones.

<b>T (s)</b>	<b>Sa (g)</b>	<b>T (s)</b>	<b>Sa (g)</b>	<b>T (s)</b>	<b>Sa (g)</b>
0	0.6043245	0.8	1.0553464	2.25	0.1908329
0.05	0.6759207	0.9	1.0209822	2.3	0.1828201
0.06	0.7873658	1.2	0.5297782	2.35	0.1818332
0.08	0.825462	1.35	0.4184208	2.4	0.173063
0.09	0.9048612	1.4	0.3952256	2.45	0.1656748
0.1	0.9937356	1.45	0.379591	2.55	0.1517308
0.11	1.0690309	1.55	0.345058	2.6	0.1477013
0.12	1.1554319	1.6	0.3297833	2.65	0.1432642
0.15	1.2691129	1.65	0.3155583	2.7	0.1393213
0.17	1.3964147	1.75	0.2854369	2.75	0.1360682
0.2	1.4223538	1.8	0.2738577	2.8	0.1330672
0.22	1.4271444	1.85	0.2671132	2.85	0.1293013
0.3	1.3692865	1.9	0.2605892	2.95	0.1228977
0.4	1.2442602	1.95	0.2528311	3.5	0.1121747
0.5	1.2272306	2.05	0.2318503	5	0.1687466
0.6	1.1298212	2.1	0.2212523		
0.7	1.0584338	2.15	0.211649		

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Gráfico 19.** Espectro Específico Determinista comparado con el Espectro NEC-15.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 66.** Variación de la Aceleración entre la NEC-15 y el Espectro Determinista.

Modelo	Aceleración Máxima (Sa)	Período (s)	Variación de la Aceleración (%)
NEC-15	1.19	0.7	100.00
Determinista	1.43	0.2	120.17

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

En el Gráfico 19 y Tabla 66 se detallan 2 intervalos críticos correspondientes a los períodos y aceleraciones del espectro específico determinista, en el primer intervalo se observa que para períodos comprendidos entre 0.13 y 0.54 (s) el espectro

específico resulta más crítico ya que se podrán llegar a tener aceleraciones de hasta 1.43 g siendo estos valores mayores en comparación a los obtenidos con el espectro de la NEC-15 el cual presenta un porcentaje de variación de aceleración del 120.17% y de igual manera ocurre en el segundo intervalo para períodos entre 0.79 y 1.04 (s). Esto quiere decir que las estructuras que caigan dentro de estos intervalos tendrán comportamientos más críticos, por ende, su diseño debería realizarse con el espectro determinista.

#### **4.2.5. Evaluación del comportamiento estructural de las estructuras tipo en el sitio de análisis.**

Debido a que en ciertos intervalos las aceleraciones producidas por las fallas estudiadas se encuentran por encima de las establecidas por la NEC-15, es de vital importancia evaluar cuál sería el daño que estas producirían en las estructuras en caso de que se suscitara un evento crítico, por tal razón se han seleccionado 3 modelos estructurales los cuales tienen las propiedades más representativas de las edificaciones en la zona de estudio, dichas edificaciones presentan distintas características del tipo estructural (dimensión de secciones, porcentajes de acero, rigideces, etc.) y geométricas (altura de entrepisos, número y longitud de vanos, configuración, forma, entre otras más); la razón de la distinta selección estructural tiene como finalidad analizar y contrastar la variación de demanda que el espectro determinista y el espectro de la NEC-15 imponen a edificaciones con distintos períodos de vibración.

##### **4.2.5.1. Cortante Basal Estático.**

Según la NEC-15 el cortante basal es la fuerza de diseño por cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción del sismo. La Norma Ecuatoriana establece la siguiente expresión para su respectivo cálculo. [4]

$$V = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_P * \phi_E} * W$$

**(Ec. 45)**

Dónde:

**$Sa(Ta)$** : Espectro de diseño en aceleración.

**$\phi_P$  y  $\phi_E$** : Coeficientes de configuración en planta y elevación.

**$I$** : Coeficiente de importancia.

**$R$** : Factor de reducción de resistencia sísmica.

**$V$** : Cortante basal total de diseño.

**$W$** : Carga sísmica reactiva.

**$Ta$** : Período de vibración.

- **Reducción de espectros elásticos.**

Para el análisis de las estructuras se ingresan los espectros reducidos, por lo tanto, se reduce el espectro NEC-15 y el espectro determinista obtenido, los mismos que se calculan con la siguiente fórmula:

$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_P * \phi_E} \quad (\text{Ec. 46})$$

$$V = CB * W \quad (\text{Ec. 47})$$

La carga reactiva sísmica  $W$  corresponde al 100% de la carga muerta de la estructura (Elementos estructurales y No estructurales) y  $C$  es el coeficiente basal que será calculado para cada uno de los espectros.

#### **4.2.5.2. Estructuras Tipo del sector en estudio.**

##### **4.2.5.2.1. Estructura Tipo I (3 Pisos).**

Se seleccionó la siguiente estructura ya que representa el mayor porcentaje de edificaciones implantadas en la zona de estudio, además de ser una edificación de baja altura lo cual permitirá observar la incidencia del espectro determinista sobre edificaciones de períodos bajos.

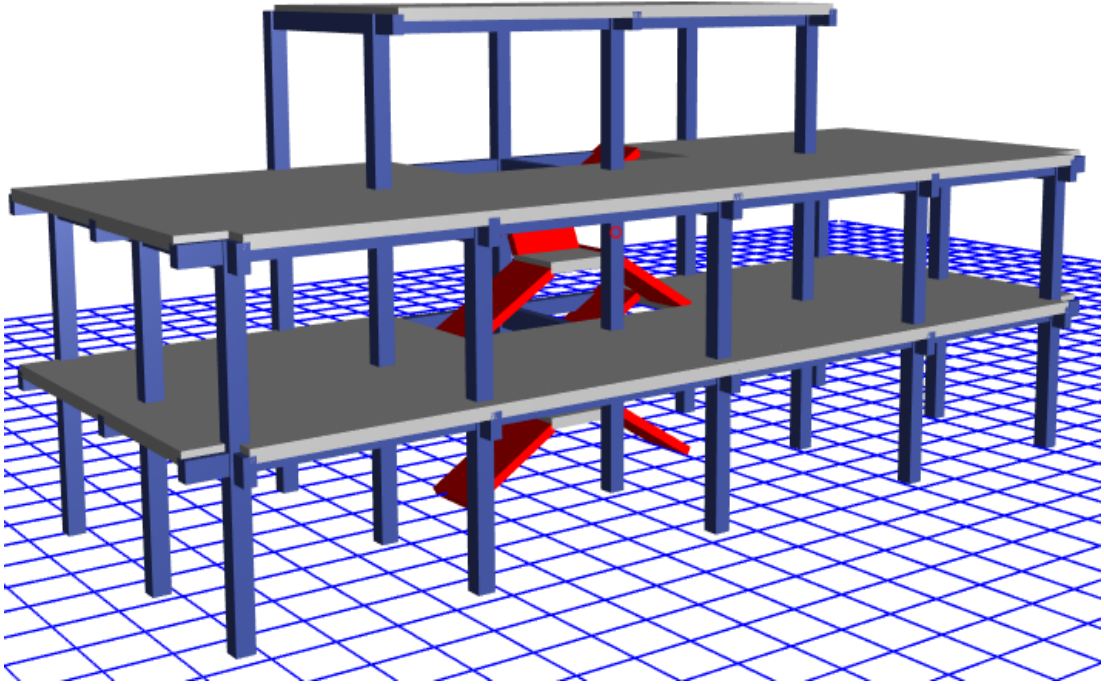
En la siguiente tabla se detallan las características y configuraciones estructurales de la estructura Tipo I.

**Tabla 67.** Descripción Estructural Edificación 3 Pisos.

<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>Características</b>	<b>Coefficientes utilizados</b>
Tipo de estructura	-	Pórticos especiales de hormigón armado – Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras.	$C_t = 0.055$
			$\alpha = 0.9$
Coefficiente de Importancia (I)	-	Otras estructuras	$I = 1$
Reducción de Resistencia sísmica (R)	-	Sistemas Duales - Pórticos especiales sismo resistentes, hormigón armado con vigas descolgadas.	$R = 8$
Distribución geométrica en elevación ( $\phi_E$ )	-	Regular	$\phi_E = 0.9$
Distribución geométrica en planta ( $\phi_P$ )	-	Irregular	$\phi_P = 1$
Altura de entrepisos	m	2.50	-
Altura total del edificio	m	$h_n = 8.28$	-
Resistencia del hormigón	$\text{Kg/cm}^2$	$f'c = 210$	-
Límite de fluencia del acero	$\text{Kg/cm}^2$	$f_y = 4200$	-
Dimensión de columnas	cm	30x30 (Todos los niveles)	-
Dimensión de vigas	cm	25x30 (Todos los niveles)	-
		40x20 (Nv. +2.88, +5.58)	
		30x20 (Nv. +8.28)	
Tipo de losa	-	Nervada	-
Espesor de losa	cm	20	-
Ancho de nervios	cm	10	-
Recubrimiento en vigas	cm	2.5	-
Recubrimiento en columnas	cm	3	-
Recubrimiento en losas	cm	2.5	-

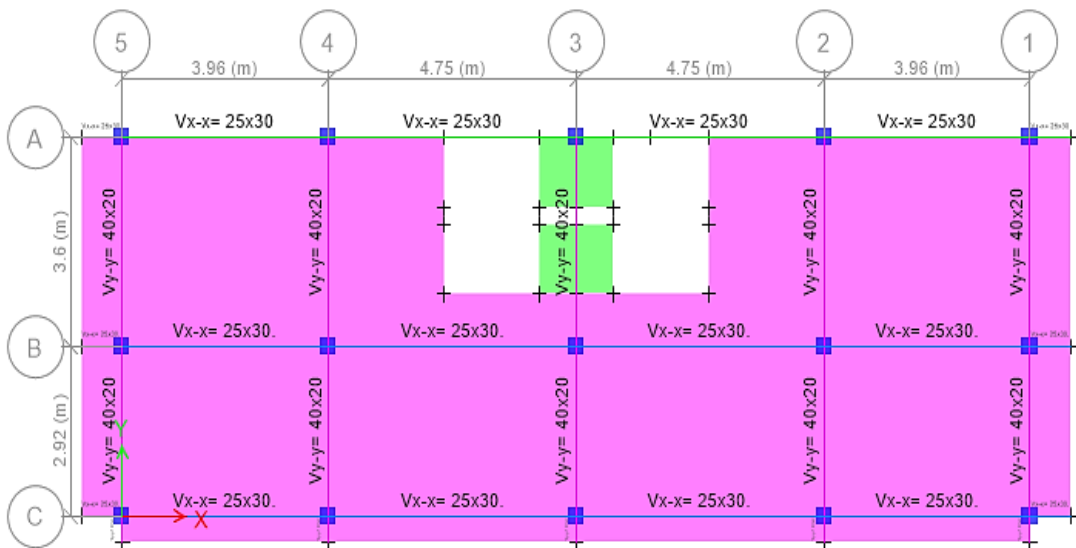
**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Figura 32.** Vista 3D Edificación Tipo I.



**Fuente:** ETABS 2016.

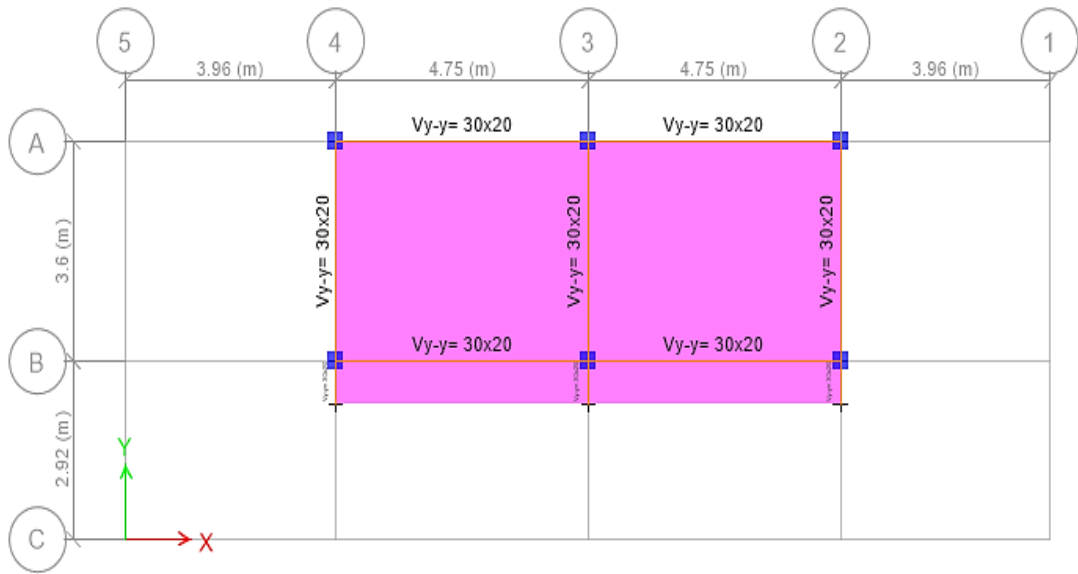
**Figura 33.** Vista en planta Nv. +2.88 y Nv. +5.58.



**Fuente:** ETABS 2016.

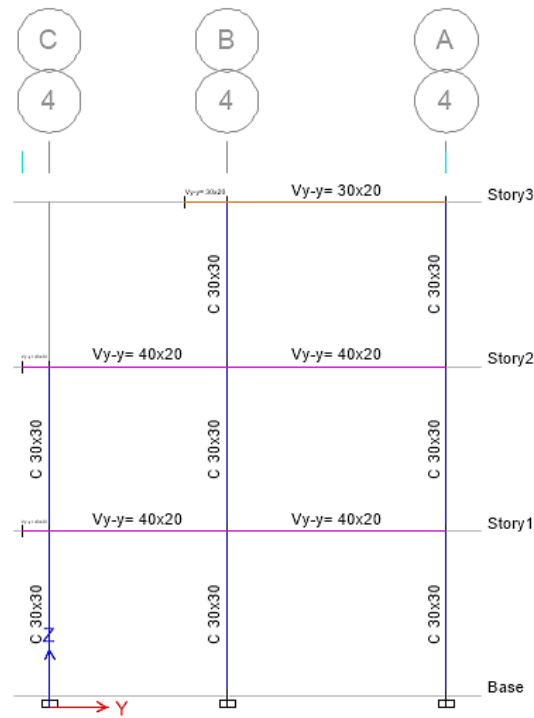


**Figura 34.** Vista en planta del tapagradas Nv. +8.28.



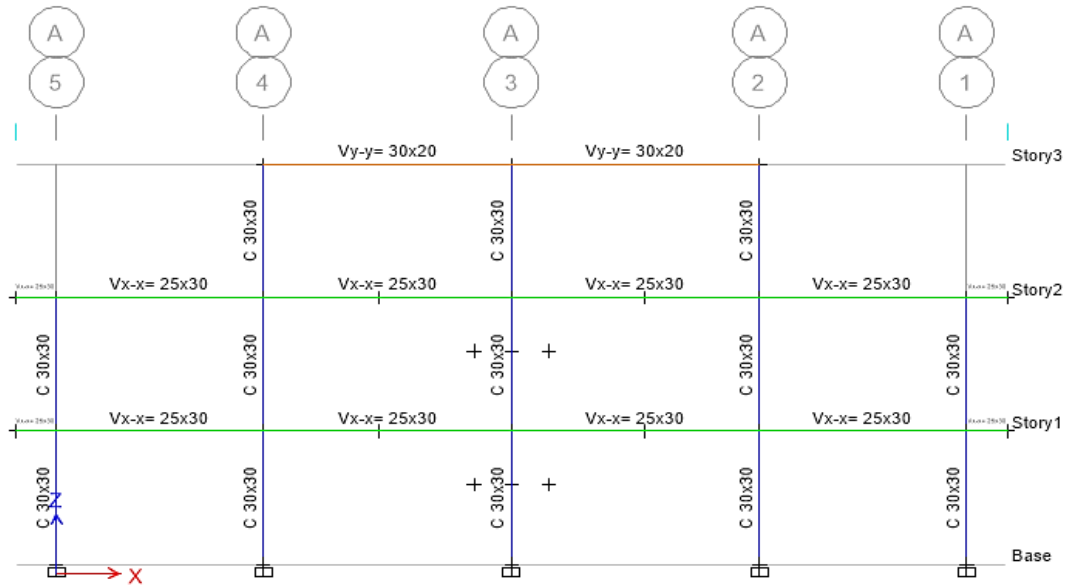
**Fuente:** ETABS 2016.

**Figura 35.** Vista en elevación Pórtico 4.



**Fuente:** ETABS 2016.

**Figura 36.** Vista en elevación Pórtico A.



**Fuente:** ETABS 2016.

### Análisis Lineal de la Estructura Tipo I (3 Pisos).

- **Determinación del Período Fundamental de Vibración.**

#### a) Método 1.

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

(Ec. 48)

$$T = 0.055 * 8.28^{0.9}$$

$$T = 0.37 \text{ (s)}$$

#### b) Método 2.

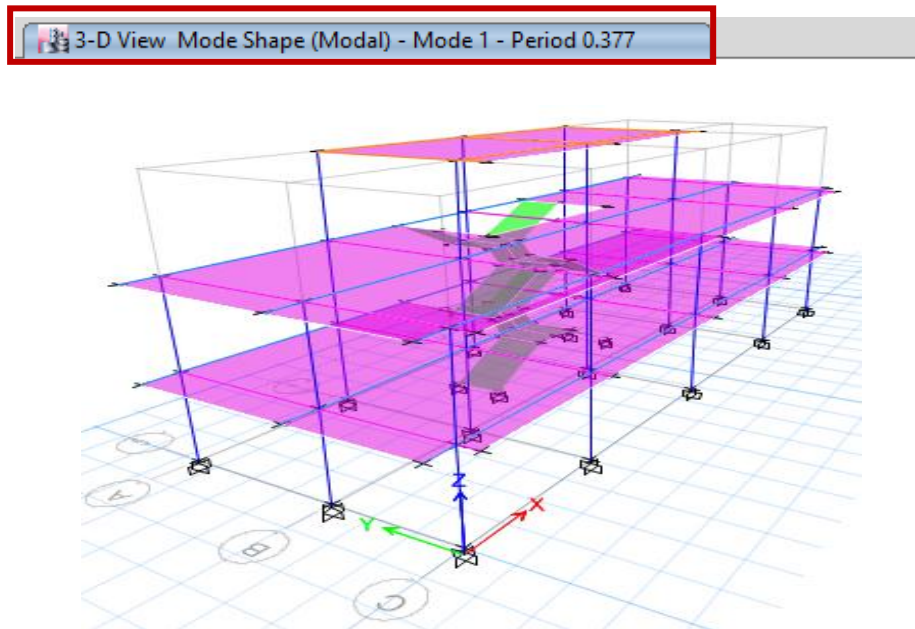
El análisis modal realizado en ETABS 2016, determinó un período fundamental de vibración de la estructura  $T_a = 0.377 \text{ (s)}$ , el cual servirá para definir parámetros asociados al análisis de cortante basal.

**Tabla 68.** Períodos de Vibración.

<b>Primer Período de Vibración de la Estructura</b>
<b>Estructura Tipo I</b>
0.377 (s)

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Figura 37.** Período de vibración Estructura Tipo I.



**Fuente:** ETABS 2016.

La NEC-15 establece que el valor de  $T_a$  según el método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de  $T_a$  calculado con el método 1, expresado en segundos.

$$T \leq T_a \leq 1.3 T$$

**(Ec. 49)**

$$0.37 = 0.377 \leq 1.3 * 0.37$$

$$0.37 = 0.377 < 0.48$$

Esta relación nos indica que la estructura se encuentra dentro de los límites adecuados.

- **Control de Torsión en Planta.**

La irregularidad en planta se puede producir por discontinuidades físicas considerables en la configuración de una estructura, o en su sistema resistente a cargas laterales. Es así que se pueden producir asimetrías en la distribución de las rigideces, principalmente por causa de la mampostería, y si esta no es considerada en el diseño sismo-resistente generará torsiones indeseadas. [53]

El análisis deberá considerar los efectos torsionales, incluyendo los efectos debidos a la torsión accidental especificados, los mismos que no deberán superar el 30%, dicho resultado será obtenido mediante la siguiente expresión:

$$\phi_P = \frac{Rz_i}{\text{Máx}(Ux_i; Uy_i)} * 100\% < 30\%$$

(Ec. 50)

Dónde:

$\phi_P$ : Porcentaje de irregularidad en planta.

$Rz_i$ : Porcentaje de participación masa en torsión para el modo i.

$Ux_i$  Porcentaje de participación masa en traslación en X para el modo i.

$Uy_i$ : Porcentaje de participación masa en traslación en Y para el modo i.

**Tabla 69.** Porcentajes de Torsión.

Modo	UX	UY	RZ	% Torsión	
1	0.4363	0	0.3963	90.83	%
2	0	0.7292	0	0.00	%
3	0.2822	0	0.4869	172.54	%

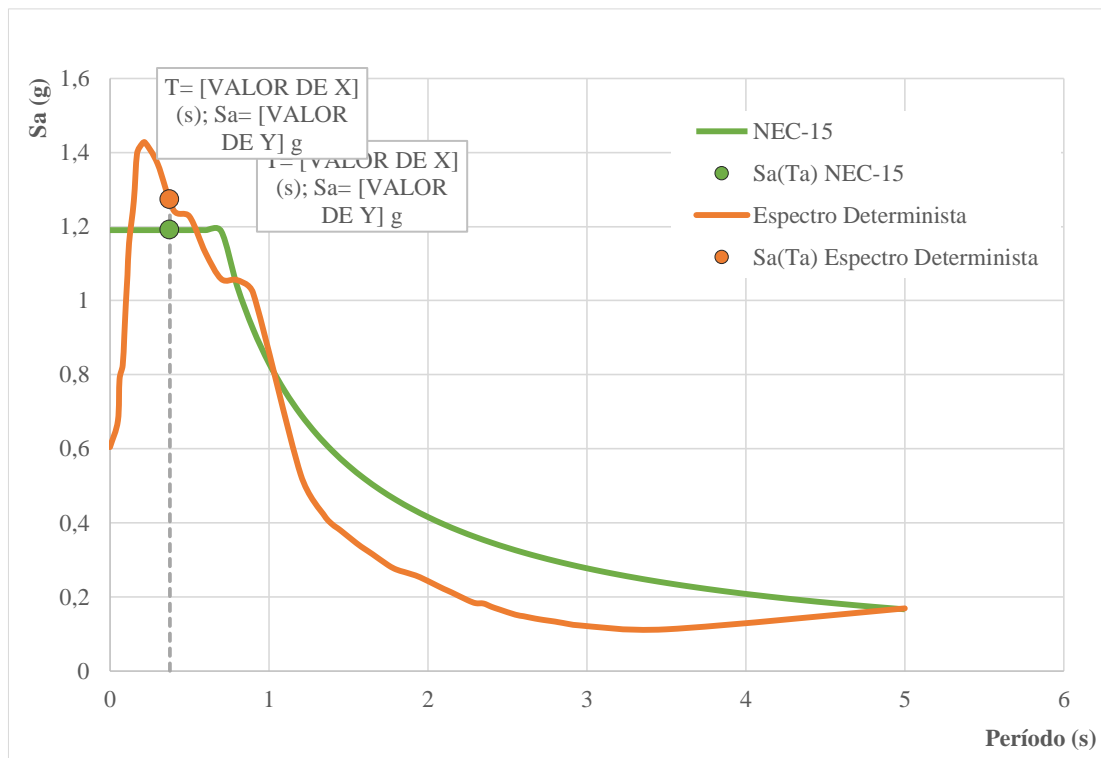
**Fuente:** ETABS.

Como podemos observar en la Tabla 49 el porcentaje de torsión en el primer y tercer modo es mayor que el admisible.

- **Determinación del Coeficiente Basal.**

El coeficiente basal estático será calculado mediante las ecuaciones descritas anteriormente en el literal 4.2.5.1., en la ecuación 34. Teniendo en cuenta estas especificaciones y las variables del coeficiente de Corte Basal detalladas en la **Tabla 42** procedemos a indicar el valor del período de vibración  $T_a = 0.377$  (s) en las gráficas del espectro de la NEC-15 y Espectro Determinista para de esta manera obtener la aceleración  $S_a(T_a)$  con el que cada uno de los espectros solicita a la estructura.

**Gráfico 20.** Determinación de  $S_a(T_a)$  – Estructura Tipo I.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Del Gráfico 20 podemos observar que los valores de  $S_a(T_a)$  para el espectro NEC-15 y el Espectro Determinista son de 1.1904 g y 1.273 g respectivamente, dichos valores permitirán el cálculo del coeficiente basal para cada espectro.

- **Determinación del Coeficiente Basal con el Espectro NEC-15.**

$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_P * \phi_E}$$

$$CB = \frac{1 * 1.1904}{8 * 0.9 * 1}$$

$$CB = 0.1653$$

- **Determinación del Coeficiente Basal con el Espectro Determinista.**

$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_P * \phi_E}$$

$$CB = \frac{1 * 1.273}{8 * 0.9 * 1}$$

$$CB = 0.17681$$

El cálculo de este coeficiente nos permitirá obtener los valores de cortante que ingresan a la base de la estructura, además de su respectiva distribución en elevación.

- **Validación del Análisis Dinámico.**

El valor del cortante Dinámico total en la base obtenido por cualquier método de análisis dinámico no debe ser: [4]

- < 80% del cortante basal  $V$  obtenido por el método estático (Estructuras Regulares).

- < 85% del cortante basal V obtenido por el método estático (Estructuras Irregulares).

**Tabla 70.** Porcentaje del cortante basal V.

Validación del análisis en la dirección:	Cortantes (Ton)		Porcentaje del Cortante Basal (V)	Factor de Corrección
<b>NEC-15</b>				
<b>X</b>	<b>Estático</b>	37.90	58.31	1.267
	<b>Dinámico</b>	22.10		
<b>Y</b>	<b>Estático</b>	37.90	67.86	1.171
	<b>Dinámico</b>	25.72		
<b>Espectro Determinista</b>				
<b>X</b>	<b>Estático</b>	40.54	59.23	1.258
	<b>Dinámico</b>	24.01		
<b>Y</b>	<b>Estático</b>	40.54	69.88	1.151
	<b>Dinámico</b>	28.33		

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Como se puede observar en la Tabla 50, la estructura en análisis no cumple con la normativa ya que presentan porcentajes menores a los establecidos, por lo tanto se debe realizar la corrección con el respectivo factor de escala solicitado.

Una vez realizadas las correcciones necesarias para cumplir con la normativa, se obtuvieron los siguientes porcentajes de cortante basal y el factor de corrección con el cual la estructura cumple los parámetros establecidos:

**Tabla 71.** Porcentajes de Cortante Basal Corregidos.

Validación del análisis en la dirección:	Cortantes (Ton)		Porcentaje del Cortante Basal (V)	Factor de Corrección
<b>NEC-15</b>				
<b>X</b>	<b>Estático</b>	37.90	84.99	1.001
	<b>Dinámico</b>	32.21		
<b>Y</b>	<b>Estático</b>	37.90	85.01	1.002
	<b>Dinámico</b>	32.22		
<b>Espectro Determinista</b>				
<b>X</b>	<b>Estático</b>	40.54	84.98	1.004

	<b>Dinámico</b>	34.45		
<b>Y</b>	<b>Estático</b>	40.54	113.10	1.046
	<b>Dinámico</b>	45.85		

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

- **Análisis de Derivas de Piso.**

La deriva es el desplazamiento lateral relativo de un piso con respecto al piso consecutivo, por la acción de una fuerza horizontal, medido en dos puntos ubicados en la misma línea vertical de la estructura. [4]

**Límites permisibles de las derivas de los pisos.**

La deriva máxima para cualquier piso no excederá los límites de deriva inelástica establecidos en la (Tabla 7: Valores de  $\Delta_M$  máximos, expresados como fracción de la altura de piso. Capítulo de Peligro Sísmico (NEC-SE-DS)).

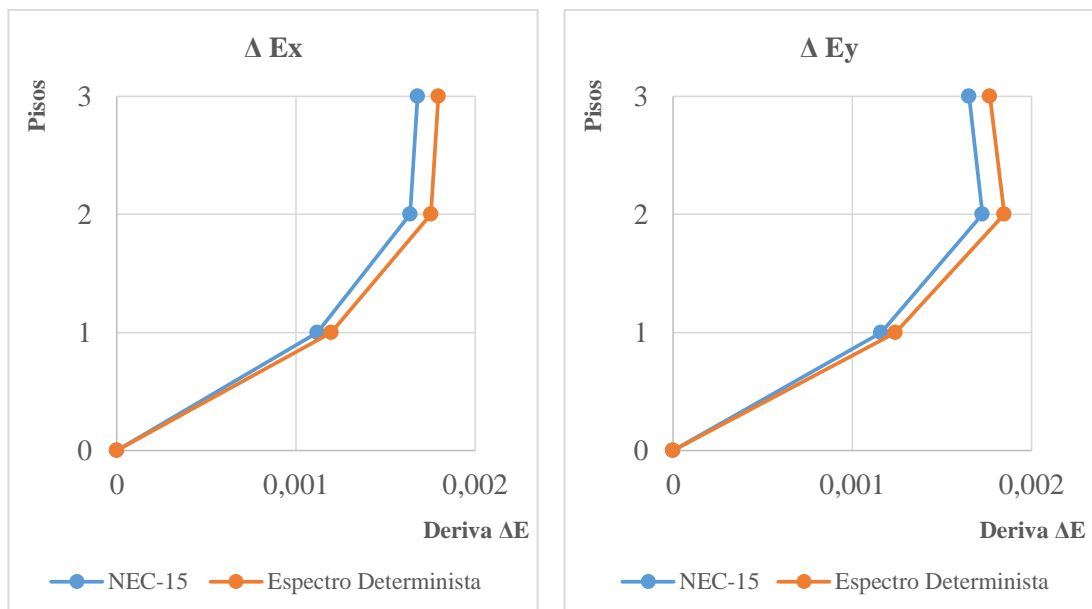
Para estructuras de hormigón armado, estructuras metálicas y de madera la deriva inelástica máxima no superará el 2%.

A continuación, se realizará la verificación de derivas mediante el uso de los espectros NEC-15 y Determinista en las dos direcciones principales de la estructura.

- **Derivas causadas por Cortantes Estáticos.**

**Gráfico 21.** Derivas Elásticas causadas por Cortantes Estáticos.





**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Las derivas obtenidas en el Gráfico 21 corresponden a derivas elásticas producidas por fuerzas de diseño reducidas, de tal manera que la normativa exige la verificación mediante derivas inelásticas, es por eso que la NEC-15 establece la siguiente fórmula:

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

**(Ec. 51)**

Dónde:

$\Delta_M$ : Deriva máxima inelástica.

$R$ : Factor de reducción de resistencia sísmica.

$\Delta_E$ : Deriva obtenida por la acción de fuerzas laterales de diseño reducidas.

A continuación, se muestra la transformación de las derivas elásticas mostradas en el Gráfico 21 a derivas inelásticas.

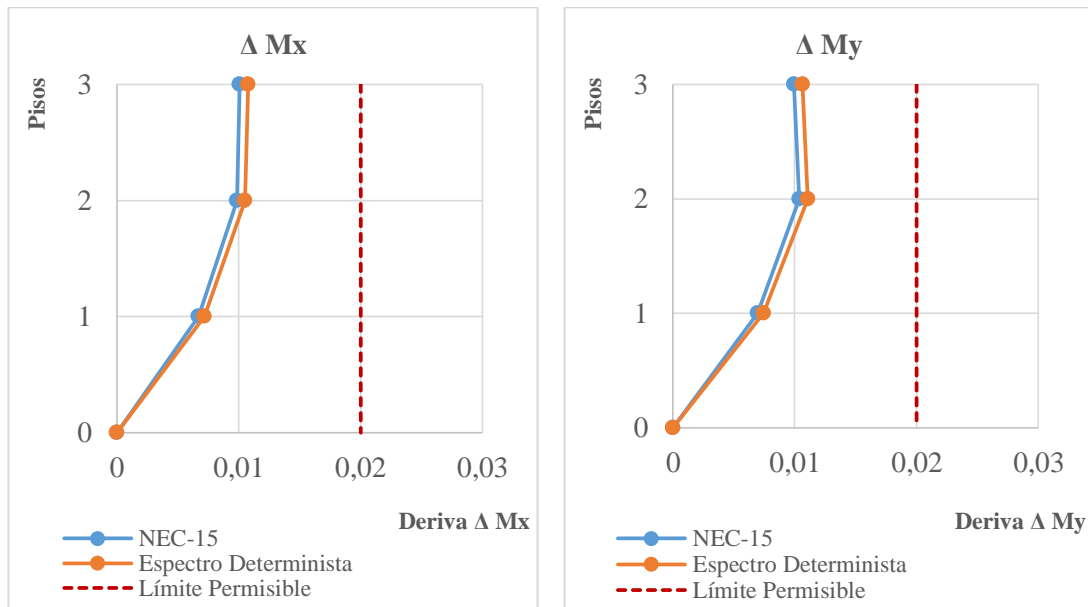
**Tabla 72.** Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas.

NEC-15				
Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta E$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
3	0.001679	0.001654	0.010074	0.009924
2	0.001639	0.001728	0.009834	0.010368

<b>1</b>	0.001119	0.001161	0.006714	0.006966
<b>0</b>	0	0	0	0
<b>Espectro Determinista</b>				
<b>Piso</b>	<b>Deriva <math>\Delta E</math></b>		<b>Deriva Inelástica <math>\Delta E</math></b>	
	<b>Sentido X</b>	<b>Sentido Y</b>	<b>Sentido X</b>	<b>Sentido Y</b>
<b>3</b>	0.001796	0.00177	0.010776	0.01062
<b>2</b>	0.001753	0.001848	0.010518	0.011088
<b>1</b>	0.001197	0.001242	0.007182	0.007452
<b>0</b>	0	0	0	0

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Gráfico 22.** Derivas Inelásticas causadas por Cortantes Estáticos.

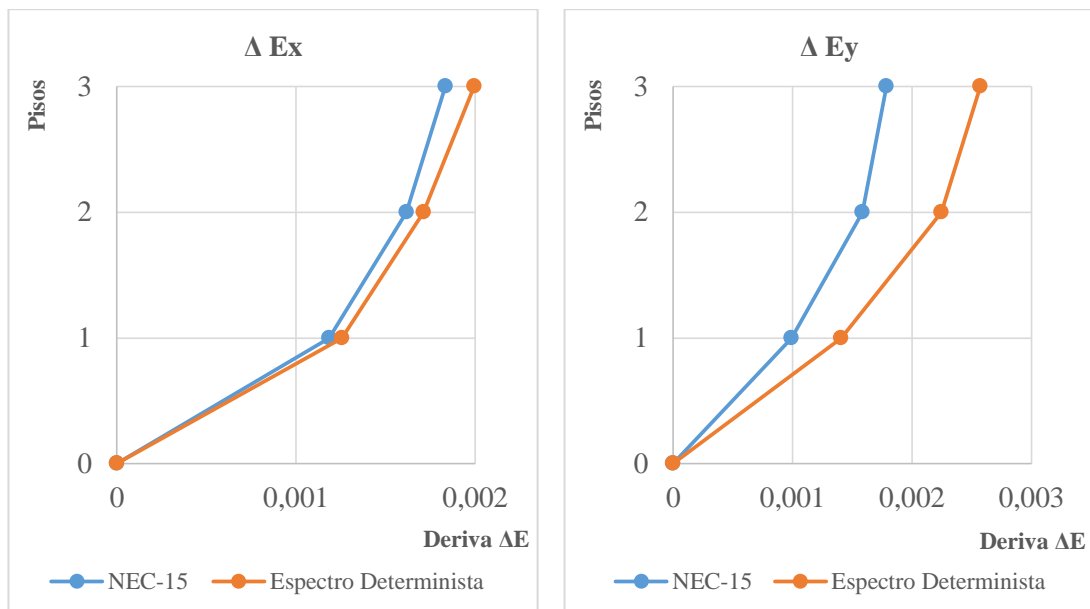


**Elaborado por:** Talía Cevallos.

El análisis debido a cortantes estáticos demuestra que el Espectro Determinista induce a mayores derivas inelásticas que las producidas por la NEC-15, cabe destacar que la estructura no supera los límites permisibles establecidos por la normativa en ninguna de las direcciones principales.

- **Derivas causadas por Cortantes Dinámicos.**

**Gráfico 23.** Derivas Elásticas causadas por Cortantes Dinámicos.



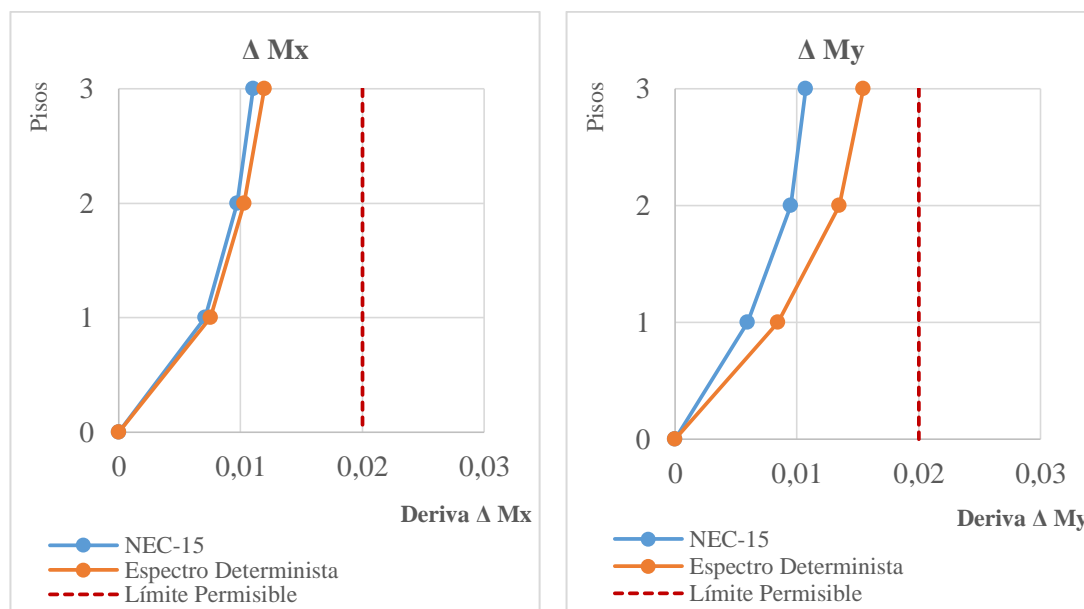
**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 73.** Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas.

NEC-15				
Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta E$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
3	0.001835	0.001785	0.01101	0.01071
2	0.001617	0.001584	0.009702	0.009504
1	0.001185	0.000992	0.00711	0.005952
0	0	0	0	0
Espectro Determinista				
Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta E$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
3	0.001995	0.002573	0.01197	0.015438
2	0.001712	0.002245	0.010272	0.01347
1	0.001256	0.001409	0.007536	0.008454
0	0	0	0	0

Elaborado por: Talía Cevallos.

Gráfico 24. Derivas Inelásticas causadas por Cortantes Dinámicos.



Elaborado por: Talía Cevallos.

El análisis debido a cortantes dinámicos demuestra que el Espectro Determinista induce a mayores derivas inelásticas que las producidas por la NEC-15, cabe destacar que la estructura no supera los límites permisibles establecidos por la normativa en ninguna de las direcciones principales.

Podemos concluir que las demandas producidas por el Espectro Determinista superan a las del espectro de la NEC-15 tanto en el ámbito estático como dinámico, destacando que el espectro determinista es el más crítico en el análisis lineal para aquellas estructuras que tengan un período fundamental de vibración que se encuentre dentro del intervalo de 0.13 a 0.54 (s).

- **Participación Modal de la Masa.**

En este parámetro la NEC-15 exige que el número de modos necesarios a utilizar deben ser aquellos en los que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas. [4]

**Tabla 74.** Porcentajes de Participación Modal de la Masa.

Modo	Período	% de Participación Másica	% de Participación Másica	% Acumulado de Participación Másica	% Acumulado de Participación Másica
	(s)	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
1	0.377	43.63%	0.00%	43.63%	0.00%
2	0.35	0.00%	72.92%	43.63%	72.92%
3	0.34	28.22%	0.00%	71.85%	72.92%
4	0.186	8.75%	0.00%	80.60%	72.92%
5	0.177	0.00%	14.24%	80.60%	87.16%
6	0.168	4.48%	0.00%	85.08%	87.16%
7	0.122	2.32%	0.00%	87.40%	87.16%
8	0.113	0.00%	11.97%	87.40%	99.13%
9	0.108	11.32%	0.00%	98.72%	99.13%

**Fuente:** ETABS.

La participación modal de la masa cumple con los requerimientos exigidos por la normativa en el octavo modo de la dirección Y de la estructura en el cual existe la acumulación del 99.13% de la masa, mientras que para la dirección X se logra acumular un porcentaje mayor al 90% a partir del noveno modo de vibración.

#### 4.2.5.2.2. Estructura Tipo II (4 Pisos).

Se seleccionó la siguiente estructura la cual permitirá observar la incidencia del espectro determinista sobre edificaciones de períodos medianamente altos.

En la siguiente tabla se detallan las características y configuraciones estructurales de la estructura Tipo II.

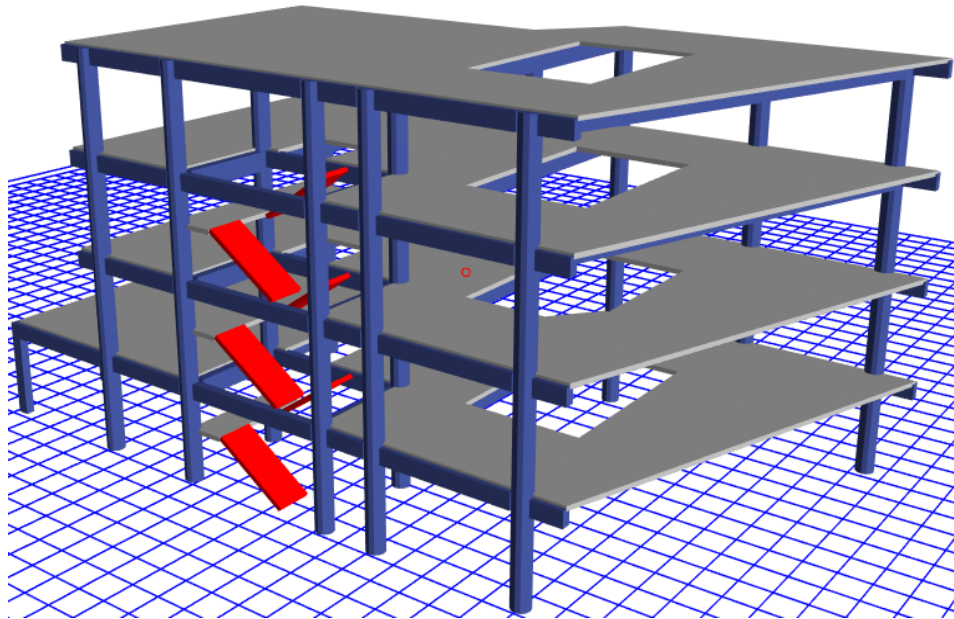
**Tabla 75.** Descripción Estructural Edificación 4 Pisos.

Indicador	Unidad	Características	Coefficientes utilizados
Tipo de estructura	-	Pórticos especiales de hormigón armado – Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras.	$C_t = 0.055$
			$\alpha = 0.9$
Coefficiente de Importancia (I)	-	Otras estructuras	$I = 1$
Reducción de Resistencia sísmica (R)	-	Sistemas Duales - Pórticos especiales sismo resistentes, hormigón armado con vigas descolgadas.	$R = 8$
Distribución geométrica en elevación ( $\phi_E$ )	-	Regular	$\phi_E = 1$
Distribución geométrica en planta ( $\phi_P$ )	-	Irregular	$\phi_P = 0.9$
Altura de entrepisos	m	3.24	-
Altura total del edificio	m	$h_n = 12.96$	-
Resistencia del hormigón	Kg/cm <sup>2</sup>	$f'c = 210$	-
Límite de fluencia del acero	Kg/cm <sup>2</sup>	$f_y = 4200$	-
Dimensión de columnas	cm	40x30 (Nv. +3.24) $\phi 60$ (Todos los niveles)	-
Dimensión de vigas	cm	30x50 (Todos los niveles)	-

		60x60 (Todos los niveles)	
Tipo de losa	-	Nervada	-
Espesor de losa	cm	25	-
Ancho de nervios	cm	10	-
Recubrimiento en vigas	cm	2.5	-
Recubrimiento en columnas	cm	2.5	-
Recubrimiento en losas	cm	2.5	-

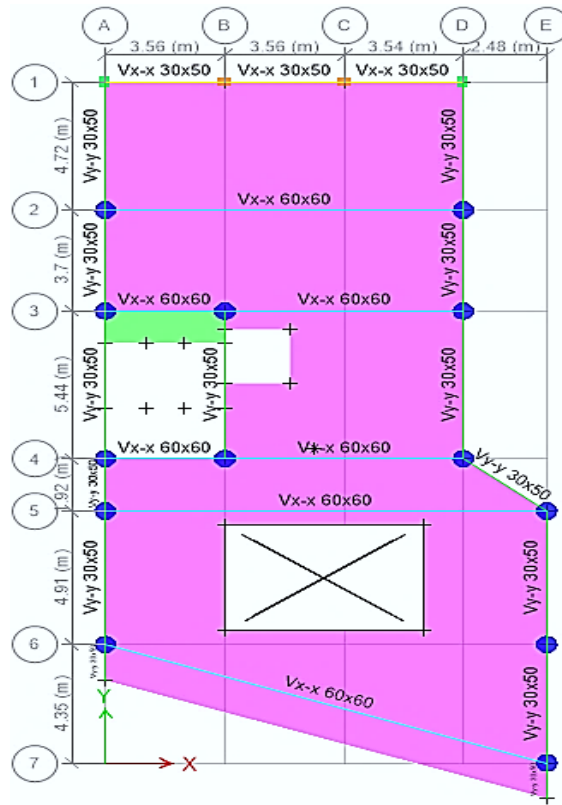
**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Figura 38.** Vista 3D Edificación Tipo II.



**Fuente:** ETABS.

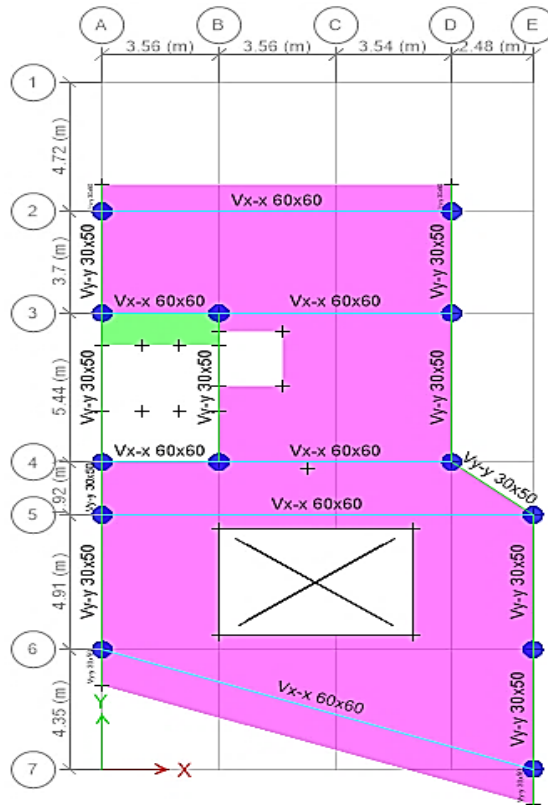
**Figura 39.** Vista en planta Nv. +3.24.



**Fuente:** ETABS 2016.

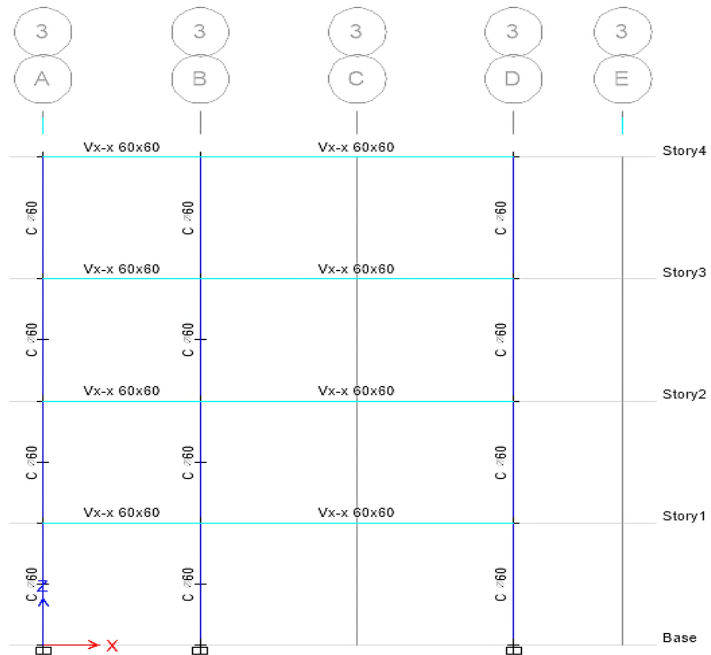


**Figura 40.** Vista en planta Nv. +6.48, Nv. +9.72, Nv. +12.96.



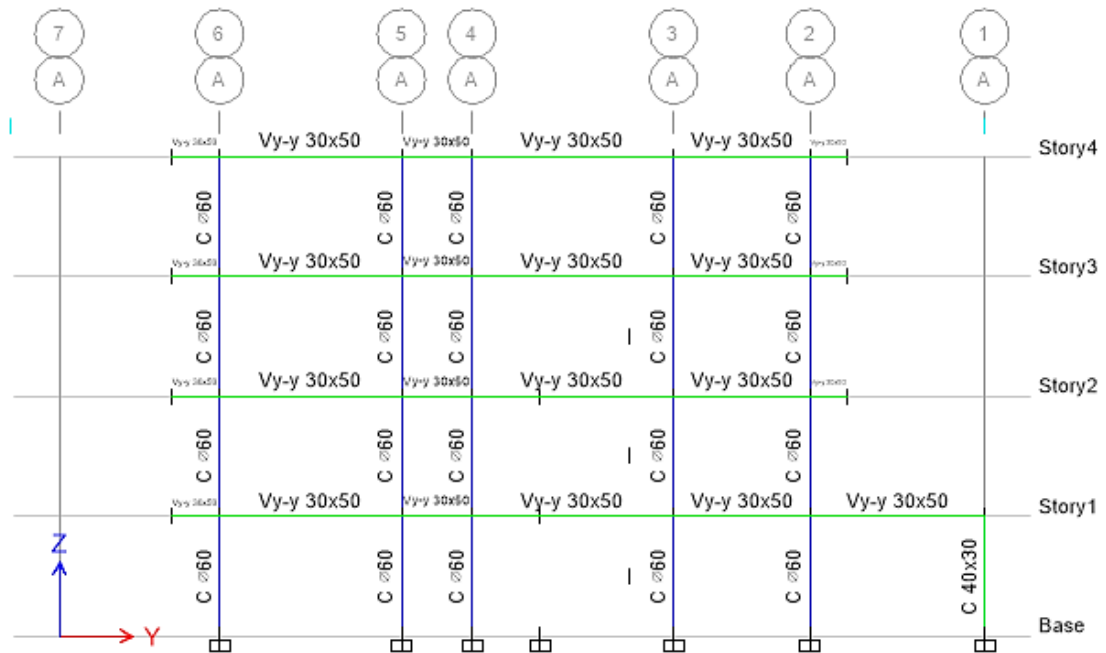
**Fuente:** ETABS 2016.

**Figura 41.** Vista en elevación Pórtico 3.



**Fuente:** ETABS 2016.

**Figura 42.** Vista en elevación Pórtico A.



**Fuente:** ETABS 2016.

### Análisis Lineal de la Estructura Tipo II (4 Pisos).

- **Determinación del Período Fundamental de Vibración.**

#### a) Método 1.

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

$$T = 0.055 * 12.96^{0.9}$$

$$T = 0.55 \text{ (s)}$$

#### b) Método 2.

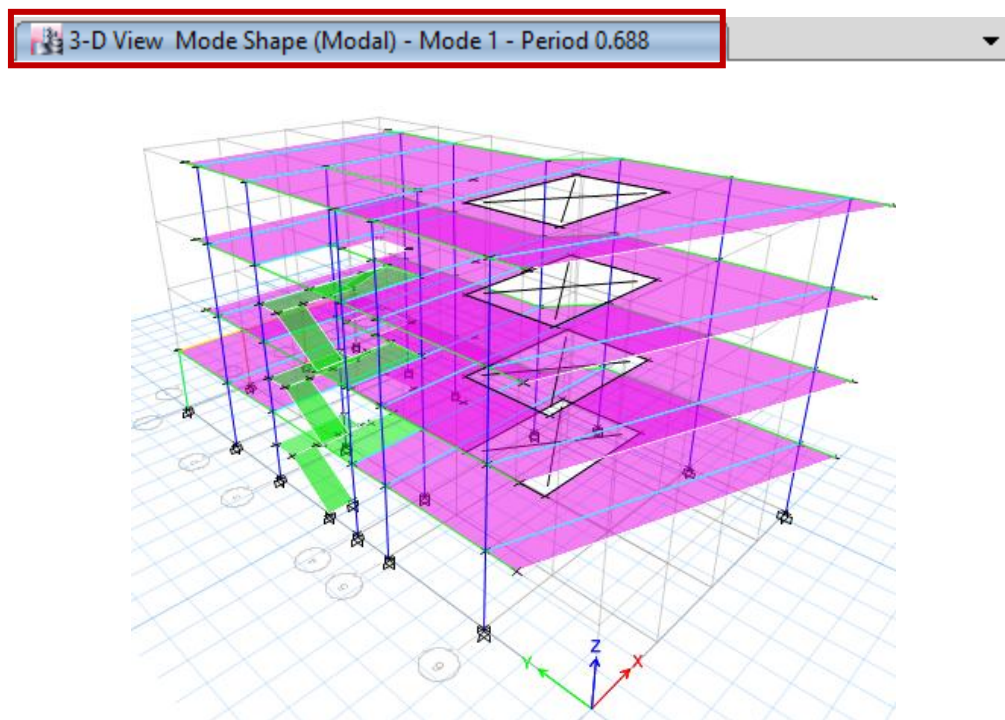
El análisis modal realizado en ETABS 2016, determinó un período fundamental de vibración de la estructura  $T_a = 0.688$  (s), el cual servirá para definir parámetros asociados al análisis de cortante basal.

**Tabla 76.** Períodos de Vibración.

<b>Primer Período de Vibración de la Estructura</b>
<b>Estructura Tipo II</b>
0.688 (s)

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Figura 43.** Período de vibración Estructura Tipo II.



**Fuente:** ETABS 2016.

La NEC-15 establece que el valor de  $T_a$  según el método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de  $T_a$  calculado con el método 1, expresado en segundos.

$$T \leq T_a \leq 1.3 T$$

$$0.55 < 0.688 \leq 1.3 * 0.55$$

$$0.55 < 0.688 < 0.72$$

Esta relación nos indica que la estructura cumple con la especificación normativa.

- **Control de Torsión en Planta.**

El análisis deberá considerar los efectos torsionales, incluyendo los efectos debidos a la torsión accidental especificados, los mismos que no deberán superar el 30% como se detalló anteriormente en la estructura Tipo I.

**Tabla 77.** Porcentajes de Torsión.

<b>Modo</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>RZ</b>	<b>% Torsión</b>	
<b>1</b>	0.3678	0.0768	0.3845	104.54	%
<b>2</b>	0.1059	0.719	0.0043	0.60	%
<b>3</b>	0.3549	0.0322	0.4133	116.46	%

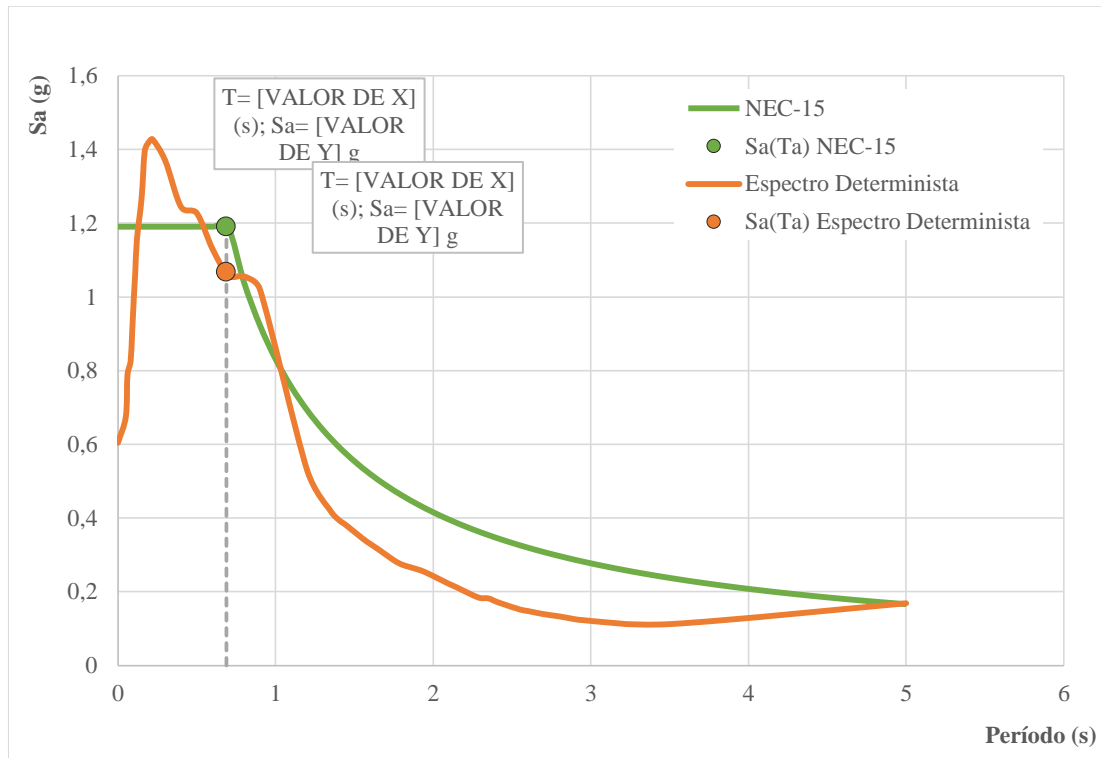
**Fuente:** ETABS.

Como podemos observar en la Tabla 57 el porcentaje de torsión en el primer y tercer modo es mayor que el admisible.

- **Determinación del Coeficiente Basal.**

El coeficiente basal estático será calculado mediante las ecuaciones descritas anteriormente en el literal **4.2.5.1.**, en la ecuación **34**. Teniendo en cuenta estas especificaciones y las variables del coeficiente de Corte Basal detalladas en la **Tabla 50** procedemos a indicar el valor del período de vibración  $T_a = 0.688$  (s) en las gráficas del espectro de la NEC-15 y Espectro Determinista para de esta manera obtener la aceleración  $S_a(T_a)$  con la que cada uno de los espectros solicita a la estructura.

**Gráfico 25.** Determinación de  $S_a(T_a)$  – Estructura Tipo II.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Del Gráfico 25 podemos observar que los valores de  $S_a(T_a)$  para el espectro NEC-15 y el Espectro Determinista son de 1.1904 g y 1.067 g respectivamente, dichos valores permitirán el cálculo del coeficiente basal para cada espectro.

- **Determinación del Coeficiente Basal con el Espectro NEC-15.**

$$CB = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_P * \phi_E}$$

$$CB = \frac{1 * 1.1904}{8 * 0.9 * 1}$$

$$CB = 0.1653$$

- **Determinación del Coeficiente Basal con el Espectro Determinista.**

$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_P * \phi_E}$$

$$CB = \frac{1 * 1.067}{8 * 0.9 * 1}$$

$$CB = 0.148194$$

- **Validación del Análisis Dinámico.**

Como se describió anteriormente la estructura deberá cumplir con los parámetros establecidos en la normativa.

**Tabla 78.** Porcentaje del cortante basal V.

Validación del análisis en la dirección:	Cortantes (Ton)		Porcentaje del Cortante Basal (V)	Factor de Corrección
<b>NEC-15</b>				
<b>X</b>	<b>Estático</b>	157.67	58.32	1.267
	<b>Dinámico</b>	91.96		
<b>Y</b>	<b>Estático</b>	157.67	75.78	1.092
	<b>Dinámico</b>	119.49		
<b>Espectro Determinista</b>				
<b>X</b>	<b>Estático</b>	140.30	63.72	1.213
	<b>Dinámico</b>	89.40		
<b>Y</b>	<b>Estático</b>	140.30	84.02	1.010
	<b>Dinámico</b>	117.88		

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Como se puede observar en la Tabla 58, la estructura en análisis no cumple con la normativa.

Una vez realizadas las correcciones necesarias para cumplir con la normativa, se obtuvieron los siguientes porcentajes de cortante basal y el factor de corrección con el cual la estructura cumple los parámetros establecidos:

**Tabla 79.** Porcentajes de Cortante Basal Corregidos.

<b>Validación del análisis en la dirección:</b>	<b>Cortantes (Ton)</b>		<b>Porcentaje del Cortante Basal (V)</b>	<b>Factor de Corrección</b>
<b>NEC-15</b>				
<b>X</b>	<b>Estático</b>	157.67	84.92	1.005
	<b>Dinámico</b>	133.90		
<b>Y</b>	<b>Estático</b>	157.67	85.01	1.001
	<b>Dinámico</b>	134.03		
<b>Espectro Determinista</b>				
<b>X</b>	<b>Estático</b>	140.30	85.00	1.003
	<b>Dinámico</b>	119.26		
<b>Y</b>	<b>Estático</b>	140.30	85.03	1.001
	<b>Dinámico</b>	119.30		

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

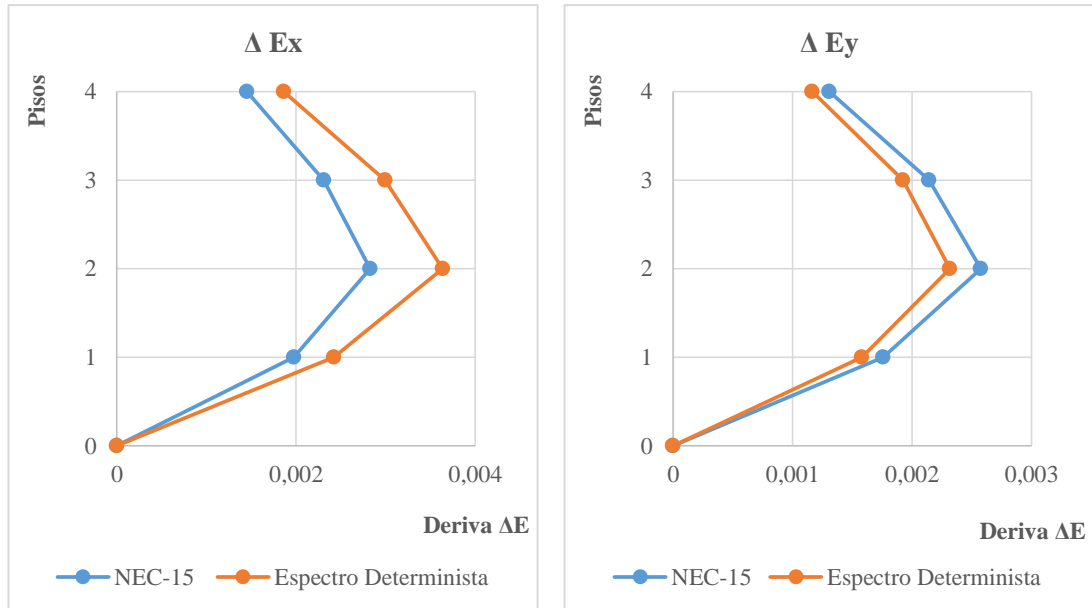
- **Análisis de Derivas de Piso.**

Para estructuras de hormigón armado, estructuras metálicas y de madera la deriva inelástica máxima no superará el 2%.

A continuación, se realizará la verificación de derivas mediante el uso de los espectros NEC-15 y Determinista en las dos direcciones principales de la estructura.

- **Derivas causadas por Cortantes Estáticos.**

**Gráfico 26.** Derivas Elásticas causadas por Cortantes Estáticos.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

A continuación, se muestra la transformación de las derivas elásticas mostradas en el Gráfico 26 a derivas inelásticas.

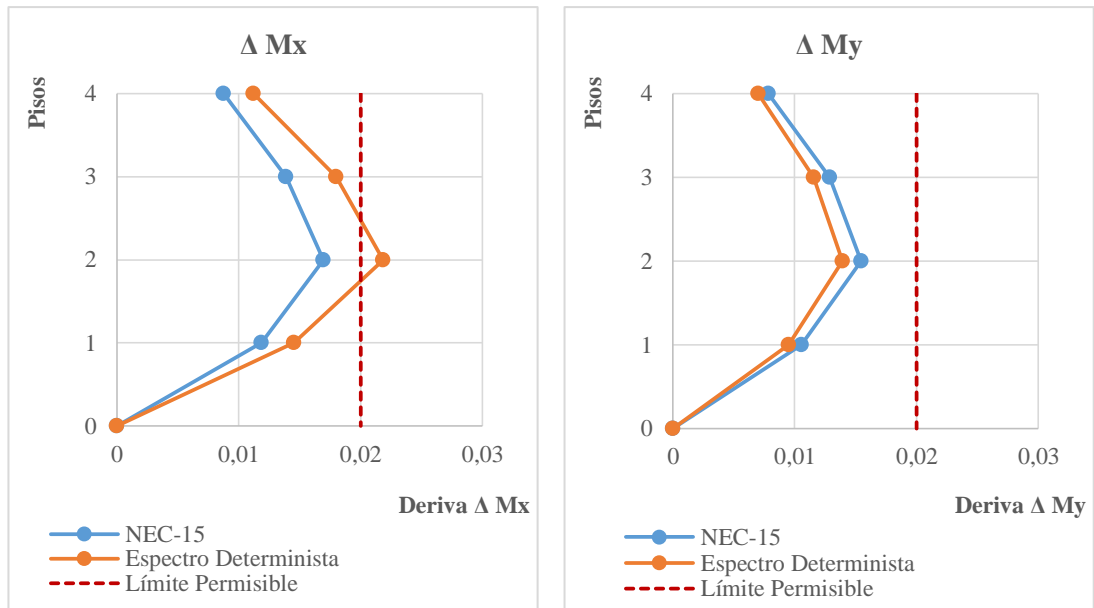
**Tabla 80.** Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas.

<b>NEC-15</b>				
<b>Piso</b>	<b>Deriva <math>\Delta E</math></b>		<b>Deriva Inelástica <math>\Delta E</math></b>	
	<b>Sentido X</b>	<b>Sentido Y</b>	<b>Sentido X</b>	<b>Sentido Y</b>
<b>4</b>	0.001456	0.001307	0.008736	0.007842
<b>3</b>	0.002309	0.002142	0.013854	0.012852
<b>2</b>	0.002826	0.002576	0.016956	0.015456
<b>1</b>	0.001978	0.00176	0.011868	0.01056
<b>0</b>	0	0	0	0
<b>Espectro Determinista</b>				
<b>Piso</b>	<b>Deriva <math>\Delta E</math></b>		<b>Deriva Inelástica <math>\Delta E</math></b>	
	<b>Sentido X</b>	<b>Sentido Y</b>	<b>Sentido X</b>	<b>Sentido Y</b>
<b>4</b>	0.001866	0.001165	0.011196	0.00699
<b>3</b>	0.002995	0.001925	0.01797	0.01155
<b>2</b>	0.00364	0.00232	0.02184	0.01392
<b>1</b>	0.002423	0.001582	0.014538	0.009492
<b>0</b>	0	0	0	0

**Elaborado por:** Talía Cevallos.



**Gráfico 27.** Derivas Inelásticas causadas por Cortantes Estáticos.

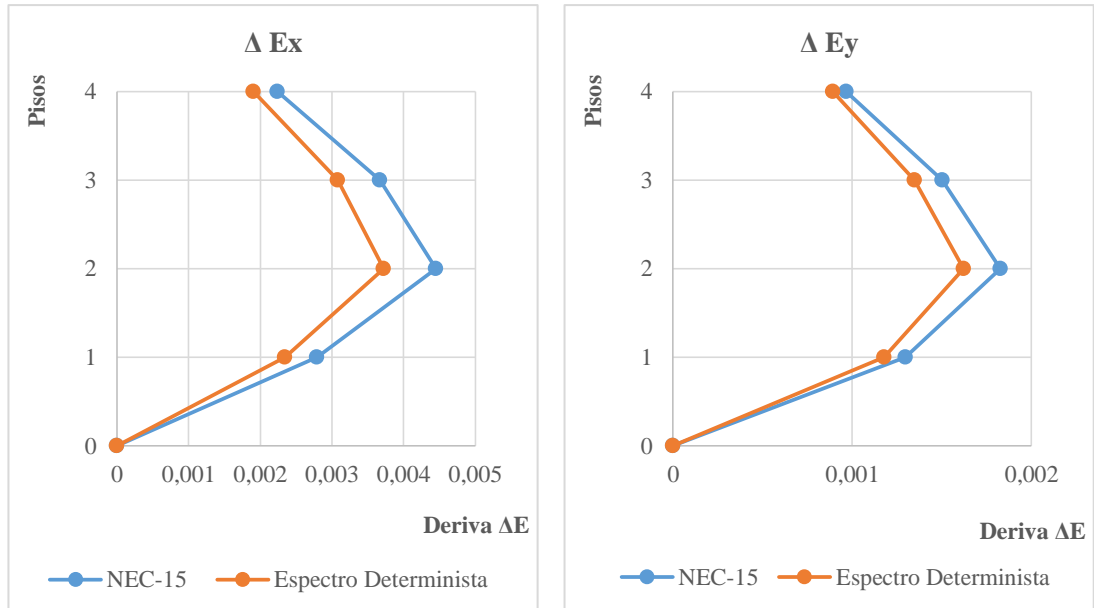


**Elaborado por:** Talía Cevallos.

El análisis debido a cortantes estáticos demuestra que el Espectro Determinista induce a mayores derivas inelásticas que las producidas por el espectro de la NEC-15 en la dirección X y cabe mencionar que la estructura supera los límites permisibles en el entrepiso 2, mientras que en la dirección Y no ocurre esto y las derivas se mantienen dentro el límite establecido por la normativa, pero en este caso el espectro de la NEC-15 genera mayores derivas inelásticas que el Espectro Determinista.

- **Derivas causadas por Cortantes Dinámicos.**

**Gráfico 28.** Derivas Elásticas causadas por Cortantes Dinámicos.



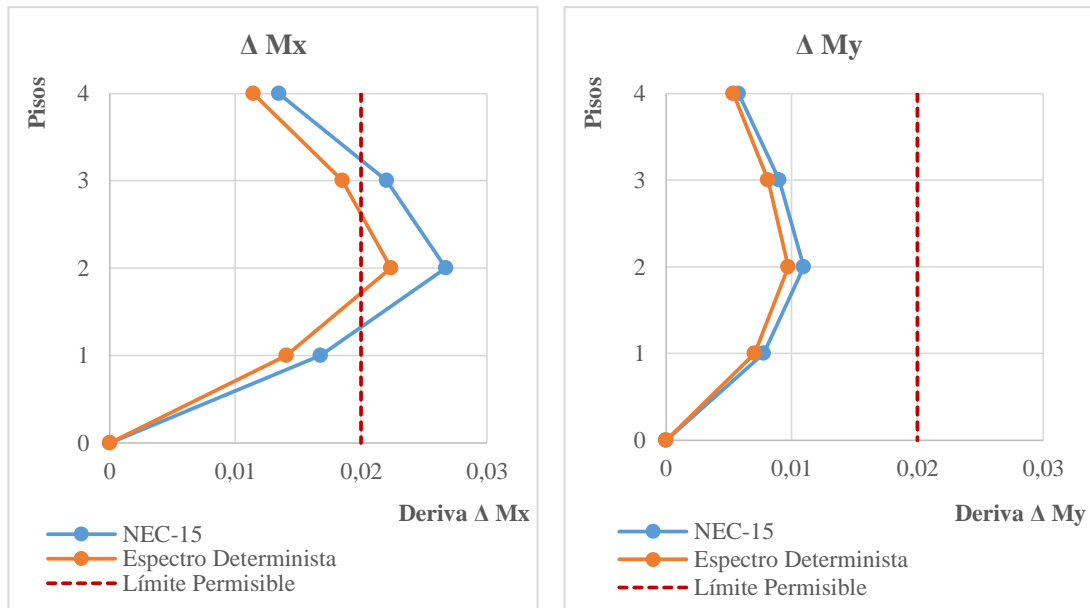
**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 81.** Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas.

NEC-15				
Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta E$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
4	0.002244	0.000968	0.013464	0.005808
3	0.003672	0.001505	0.022032	0.00903
2	0.004452	0.001829	0.026712	0.010974
1	0.002795	0.001297	0.01677	0.007782
0	0	0	0	0
Espectro Determinista				
Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta E$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
4	0.001903	0.000893	0.011418	0.005358
3	0.003084	0.00135	0.018504	0.0081
2	0.003726	0.001622	0.022356	0.009732
1	0.002342	0.001179	0.014052	0.007074
0	0	0	0	0

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Gráfico 29.** Derivas Inelásticas causadas por Cortantes Dinámicos.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

El análisis debido a cortantes dinámicos demuestra que el espectro de la NEC-15 induce a mayores derivas inelásticas que las producidas por el Espectro Determinista, cabe destacar que la estructura supera los límites permisibles establecidos por la normativa en la dirección X en el entrepiso 2, por otro lado las derivas inelásticas en la dirección Y se mantienen por debajo del límite permisible.

Podemos concluir que las demandas producidas por el espectro de la NEC-15 superan a las del Espectro Determinista tanto en el ámbito estático como dinámico, destacando que el espectro de la NEC-15 es el más crítico en el análisis lineal.

- **Participación Modal de la Masa.**

**Tabla 82.** Porcentajes de Participación Modal de la Masa.

Modo	Período	% de Participación Másica	% de Participación Másica	% Acumulado de Participación Másica	% Acumulado de Participación Másica
	(s)	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
1	0.688	36.78%	7.68%	36.78%	7.68%
2	0.553	10.59%	71.90%	47.37%	79.58%
3	0.483	35.49%	3.22%	82.86%	82.80%
4	0.215	4.75%	0.95%	87.61%	83.75%
5	0.183	0.91%	10.63%	88.52%	94.38%
6	0.163	6.02%	0.15%	94.55%	94.53%
7	0.117	1.64%	0.41%	96.19%	94.94%
8	0.104	0.42%	3.73%	96.60%	98.67%
9	0.097	2.12%	0.12%	98.72%	98.79%
10	0.08	0.63%	0.12%	99.35%	98.91%
11	0.074	0.18%	0.92%	99.53%	99.83%
12	0.07	0.38%	0.08%	99.91%	99.91%

**Fuente:** ETABS.

La participación modal de la masa cumple con los requerimientos exigidos por la normativa, en el quinto modo de la dirección Y de la estructura en el cual existe la acumulación del 94.65% de la masa, mientras que para la dirección X se logra acumular un porcentaje mayor al 90% a partir del sexto modo de vibración.

#### **4.2.5.2.3. Estructura Tipo III (5 Pisos).**

La última estructura en análisis se escogió para observar la incidencia del espectro determinista sobre edificaciones de períodos altos.

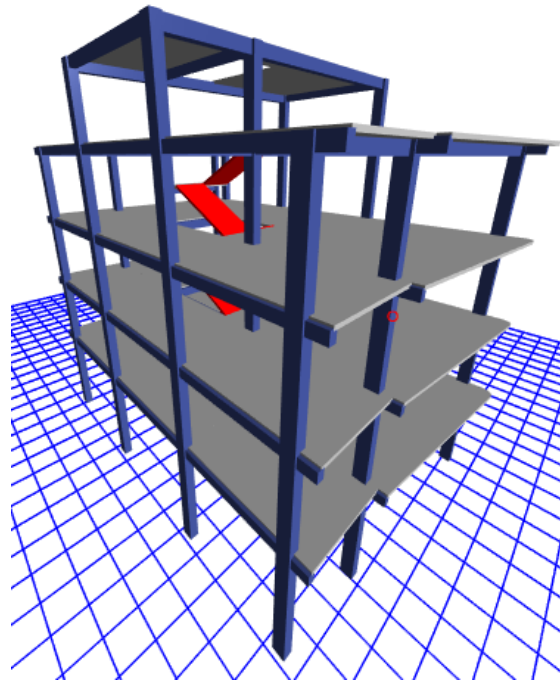
En la siguiente tabla se detallan las características y configuraciones estructurales de la estructura Tipo III.

**Tabla 83.** Descripción Estructural Edificación 5 Pisos.

<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>Características</b>	<b>Coefficientes utilizados</b>
Tipo de estructura	-	Pórticos especiales de hormigón armado – Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras.	$C_t = 0.055$
			$\alpha = 0.9$
Coefficiente de Importancia (I)	-	Otras estructuras	$I = 1$
Reducción de Resistencia sísmica (R)	-	Sistemas Duales - Pórticos especiales sismo resistentes, hormigón armado con vigas descolgadas.	$R = 8$
Distribución geométrica en elevación ( $\phi_E$ )	-	Regular	$\phi_E = 1$
Distribución geométrica en planta ( $\phi_P$ )	-	Irregular	$\phi_P = 0.9$
Altura de entrepisos	m	2.88	-
Altura total del edificio	m	$h_n = 15.00$	-
Resistencia del hormigón	$\text{Kg/cm}^2$	$f'c = 210$	-
Límite de fluencia del acero	$\text{Kg/cm}^2$	$f_y = 4200$	-
Dimensión de columnas	cm	30x40 (Todos los niveles)	-
Dimensión de vigas	cm	25x35 (Todos los niveles) 20x30 (Todos los niveles)	-
Tipo de losa	-	Nervada	-
Espesor de losa	cm	20	-
Ancho de nervios	cm	10	-
Recubrimiento en vigas	cm	2.5	-
Recubrimiento en columnas	cm	3	-
Recubrimiento en losas	cm	2.5	-

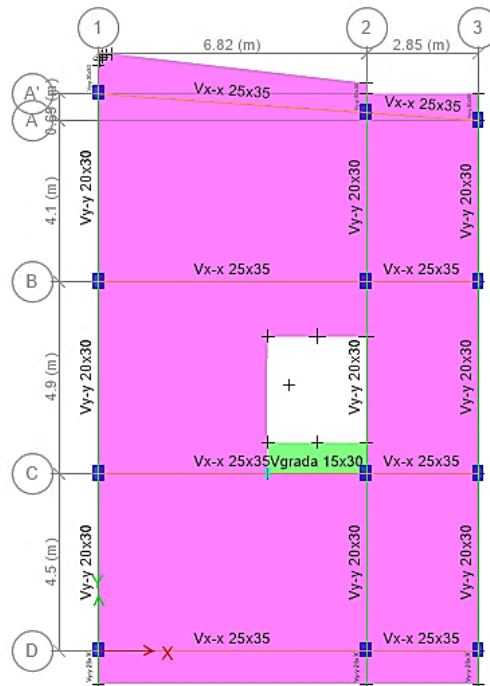
**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Figura 44.** Vista 3D Edificación Tipo III.



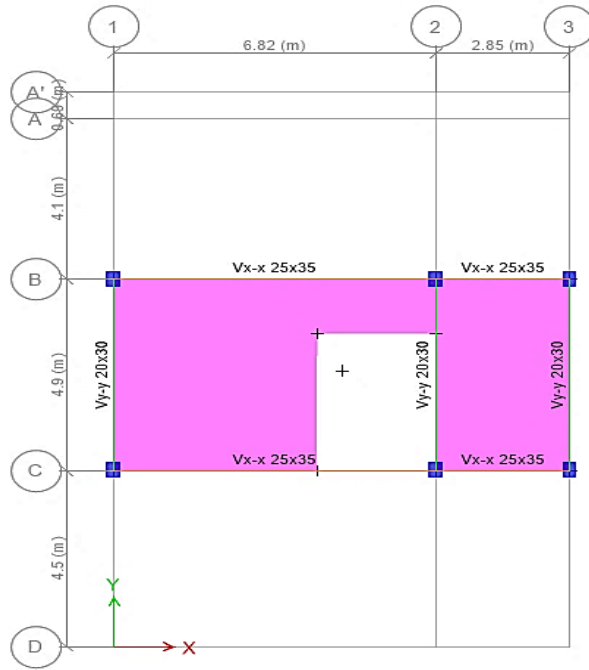
**Fuente:** ETABS 2016.

**Figura 45.** Vista en planta Nv. +3.96, Nv. 6.84, Nv. +9.72 y Nv. +12.60.



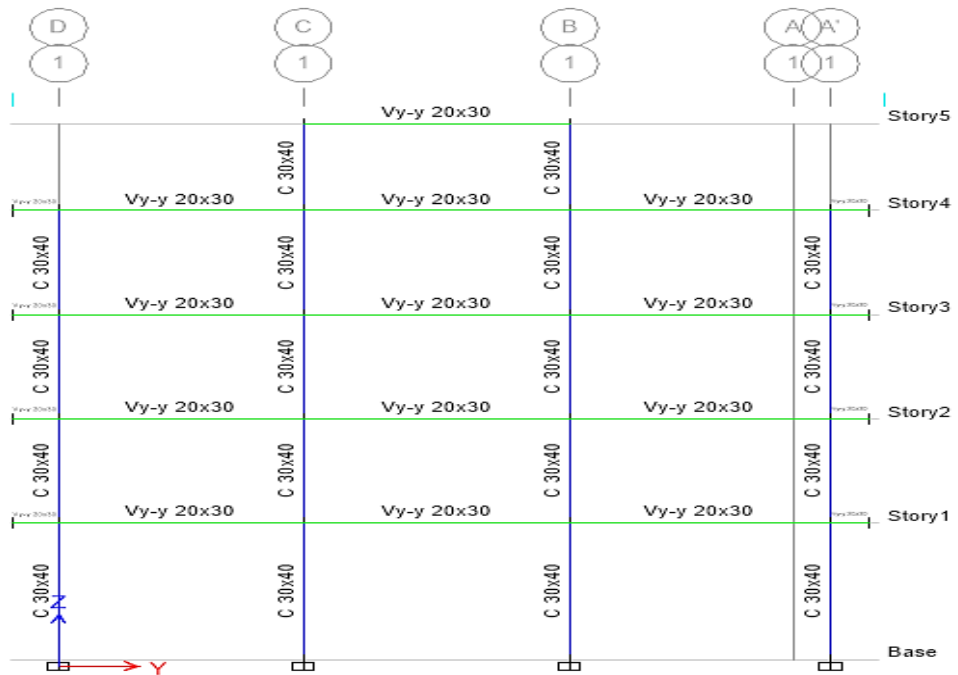
**Fuente:** ETABS 2016.

**Figura 46.** Vista en planta del tapagradas Nv. +15.00.



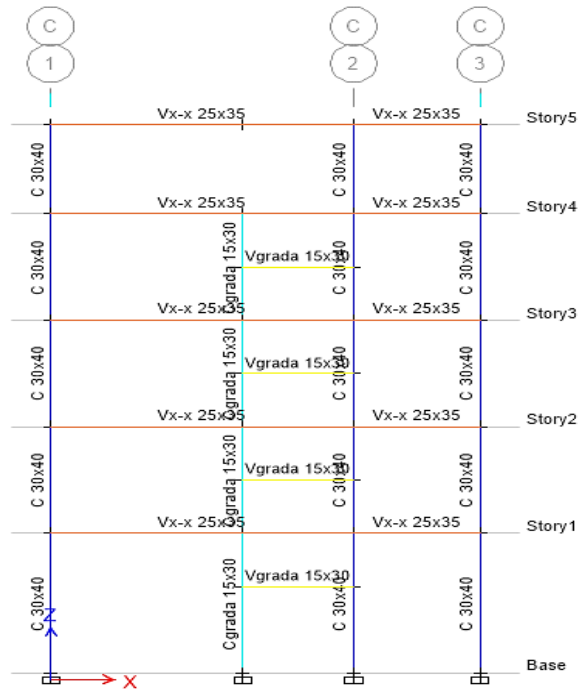
**Fuente:** ETABS 2016.

**Figura 47.** Vista en elevación Pórtico 1.



**Fuente:** ETABS 2016.

**Figura 48.** Vista en elevación Pórtico C.



**Fuente:** ETABS 2016.

### Análisis Lineal de las Estructuras Tipo.

- **Determinación del Período Fundamental de Vibración.**
  - Método 1.**

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

$$T = 0.055 * 15.00^{0.9}$$

$$T = 0.63 \text{ (s)}$$

- Método 2.**

El análisis modal realizado en ETABS 2016, determinó un período fundamental de vibración de la estructura  $T_a = 1.107 \text{ (s)}$ , el cual servirá para definir parámetros asociados al análisis de cortante basal.

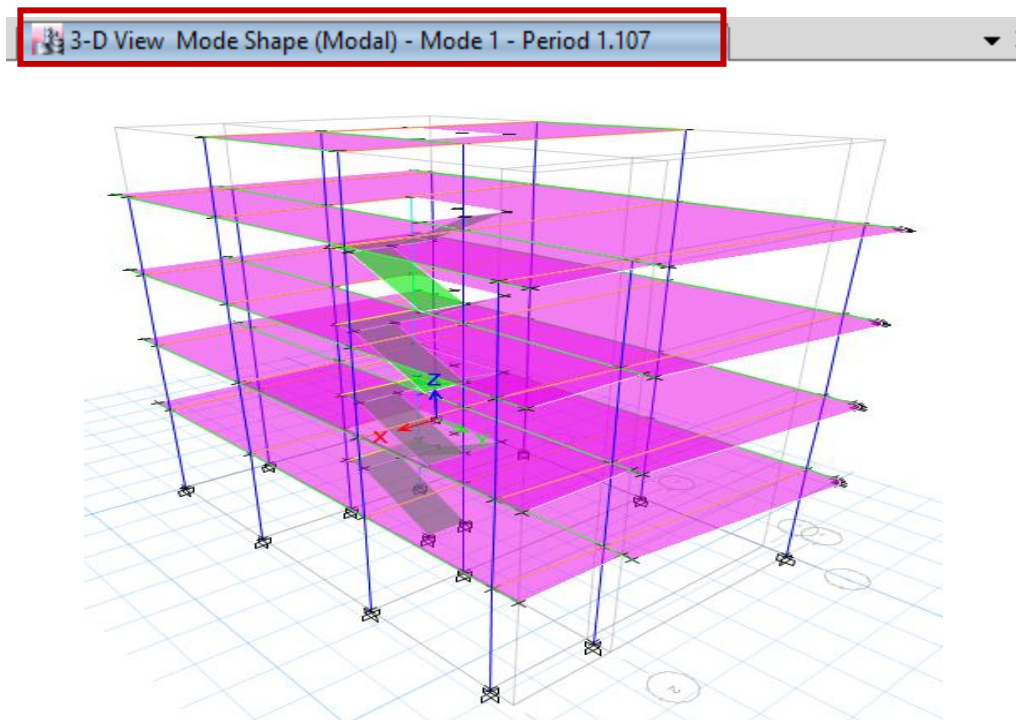


**Tabla 84.** Períodos de Vibración.

<b>Primer Período de Vibración de la Estructura</b>
<b>Estructura Tipo II</b>
1.107 (s)

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Figura 49.** Período de vibración Estructura Tipo III.



**Fuente:** ETABS 2016.

La NEC-15 establece que el valor de  $T_a$  según el método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de  $T_a$  calculado con el método 1, expresado en segundos.

$$T \leq T_a \leq 1.3 T$$

$$0.63 \leq 1.107 \leq 1.3 * 0.63$$

$$0.55 < 1.107 > 0.82$$

Esta relación nos indica que el período calculado con el método 2 es mayor al 30% del valor de T obtenido con el método 1, lo cual determina que la estructura es muy dúctil.

- **Control de Torsión en Planta.**

El análisis deberá considerar los efectos torsionales, incluyendo los efectos debidos a la torsión accidental especificados, los mismos que no deberán superar el 30%.

**Tabla 85.** Porcentajes de Torsión.

<b>Modo</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>RZ</b>	<b>% Torsión usar UX o UY máximo</b>	
<b>1</b>	0.0004	0.2615	0.6286	240.38	%
<b>2</b>	0.751	0.0834	0.0484	6.44	%
<b>3</b>	0.132	0.5191	0.2221	42.79	%

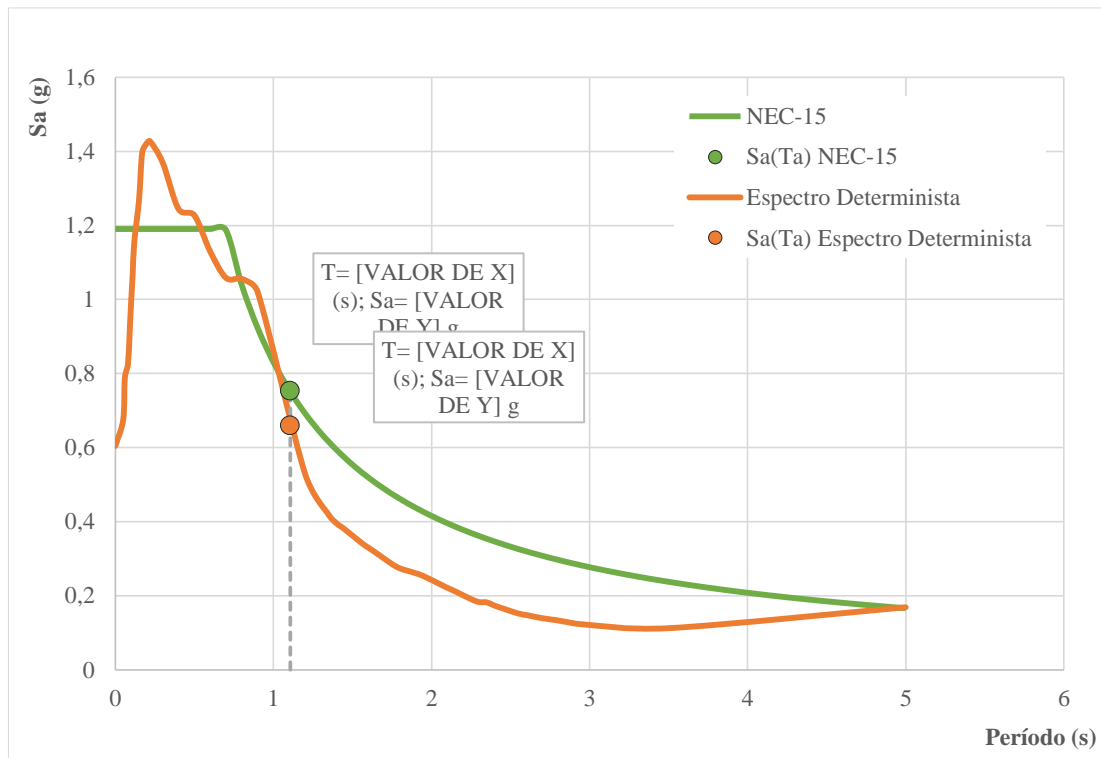
**Fuente:** ETABS.

Como podemos observar en la Tabla 65 el porcentaje de torsión en el primer modo es mayor que el admisible.

- **Determinación del Coeficiente Basal.**

El coeficiente basal estático será calculado mediante las ecuaciones descritas anteriormente en el literal **4.2.5.1.**, en la ecuación **34**. Teniendo en cuenta estas especificaciones y las variables del coeficiente de Corte Basal detalladas en la **Tabla 58** procedemos a indicar el valor del período de vibración  $T_a = 1.107$  (s) en las gráficas del espectro de la NEC-15 y Espectro Determinista para de esta manera obtener la aceleración  $S_a(T_a)$  con el que cada uno de los espectros solicita a la estructura.

**Gráfico 30.** Determinación de Sa(Ta) – Estructura Tipo III.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Del Gráfico 30 podemos observar que los valores de Sa(Ta) para el espectro NEC-15 y el Espectro Determinista son de 0.753 g y 0.659 g respectivamente, dichos valores permitirán el cálculo del coeficiente basal para cada espectro.

- **Determinación del Coeficiente Basal con el Espectro NEC-15.**

$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_P * \phi_E}$$

$$CB = \frac{1 * 0.753}{8 * 0.9 * 1}$$

$$CB = 0.104583$$

- **Determinación del Coeficiente Basal con el Espectro Determinista.**

$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_P * \phi_E}$$

$$CB = \frac{1 * 0.659}{8 * 0.9 * 1}$$

$$CB = 0.09153$$

- **Validación del Análisis Dinámico.**

**Tabla 86.** Porcentaje del cortante basal V.

Validación del análisis en la dirección:	Cortantes (Ton)		Porcentaje del Cortante Basal (V)	Factor de Corrección
<b>NEC-15</b>				
X	Estático	41.97	102.74	-
	Dinámico	43.12		
Y	Estático	41.97	91.35	-
	Dinámico	38.34		
<b>Espectro Determinista</b>				
X	Estático	36.73	132.97	-
	Dinámico	48.84		
Y	Estático	36.73	123.44	-
	Dinámico	45.34		

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

Como se puede observar en la Tabla 59, la estructura en análisis cumple con la normativa.

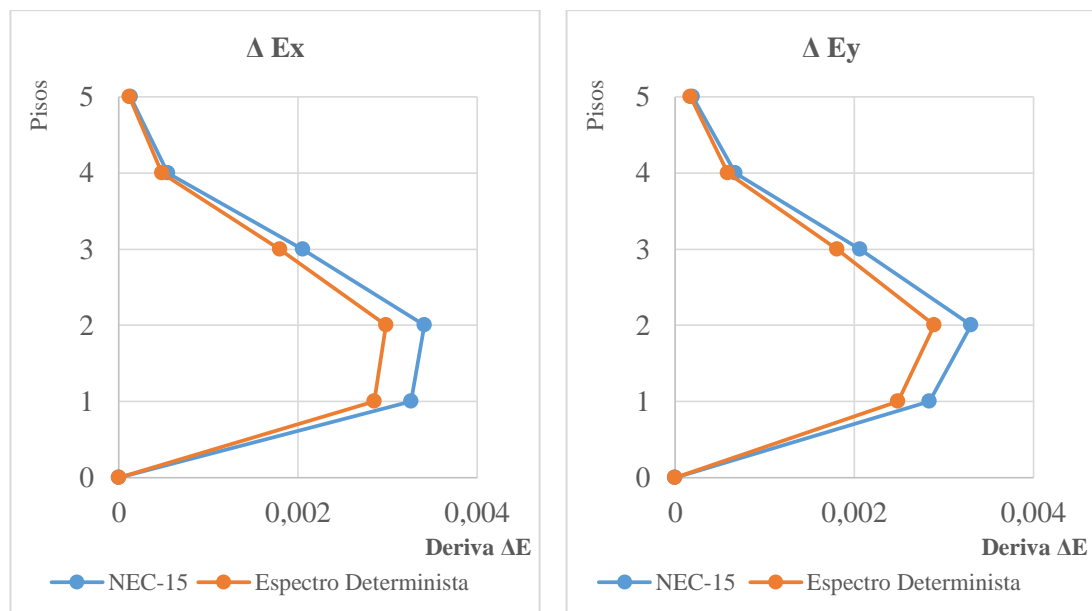
- **Análisis de Derivas de Piso.**

Para estructuras de hormigón armado, estructuras metálicas y de madera la deriva inelástica máxima no superará el 2%.

A continuación, se realizará la verificación de derivas mediante el uso de los espectros NEC-15 y Determinista en las dos direcciones principales de la estructura.

- **Derivas causadas por Cortantes Estáticos.**

**Gráfico 31.** Derivas Elásticas causadas por Cortantes Estáticos.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

A continuación, se muestra la transformación de las derivas elásticas mostradas en el Gráfico 21 a derivas inelásticas.

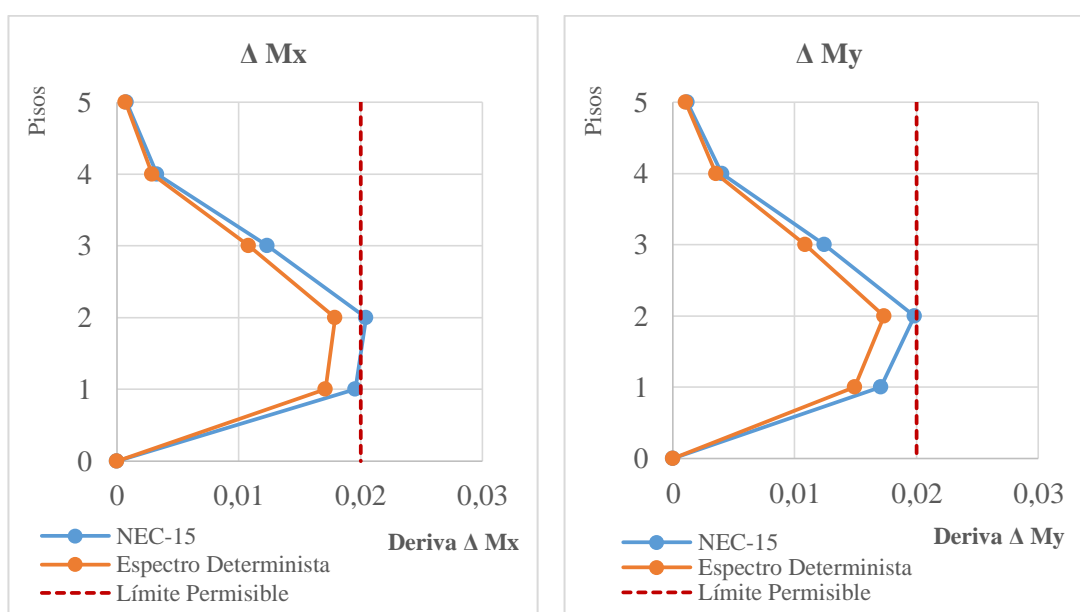
**Tabla 87.** Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas.

NEC-15				
Piso	Deriva ΔE		Deriva Inelástica ΔE	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
5	0.000133	0.000197	0.000798	0.001182
4	0.00055	0.000672	0.0033	0.004032
3	0.002056	0.002069	0.012336	0.012414
2	0.00341	0.003304	0.02046	0.019824
1	0.003262	0.002843	0.019572	0.017058
0	0	0	0	0

Espectro Determinista				
Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta E$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
5	0.000117	0.000173	0.000702	0.001038
4	0.000482	0.000588	0.002892	0.003528
3	0.001799	0.001811	0.010794	0.010866
2	0.002985	0.002892	0.01791	0.017352
1	0.002855	0.002489	0.01713	0.014934
0	0	0	0	0

Elaborado por: Talía Cevallos.

Gráfico 32. Derivas Inelásticas causadas por Cortantes Estáticos.

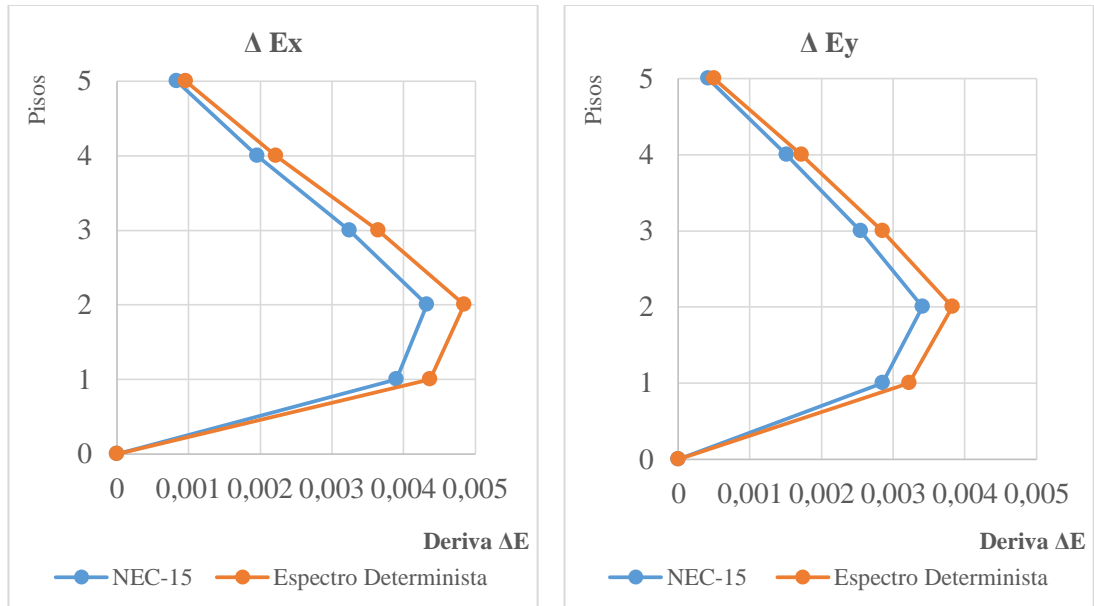


Elaborado por: Talía Cevallos.

El análisis debido a cortantes estáticos demuestra que el espectro de la NEC-15 induce a mayores derivas inelásticas que las producidas por el Espectro Determinista, cabe mencionar que la estructura se encuentra cercana los límites permisibles establecidos por la normativa tanto en la dirección X como en la dirección Y en el entrepiso 2 con los dos espectros usados.

- Derivas causadas por Cortantes Dinámicos.

**Gráfico 33.** Derivas Elásticas por Cortantes Dinámicos.



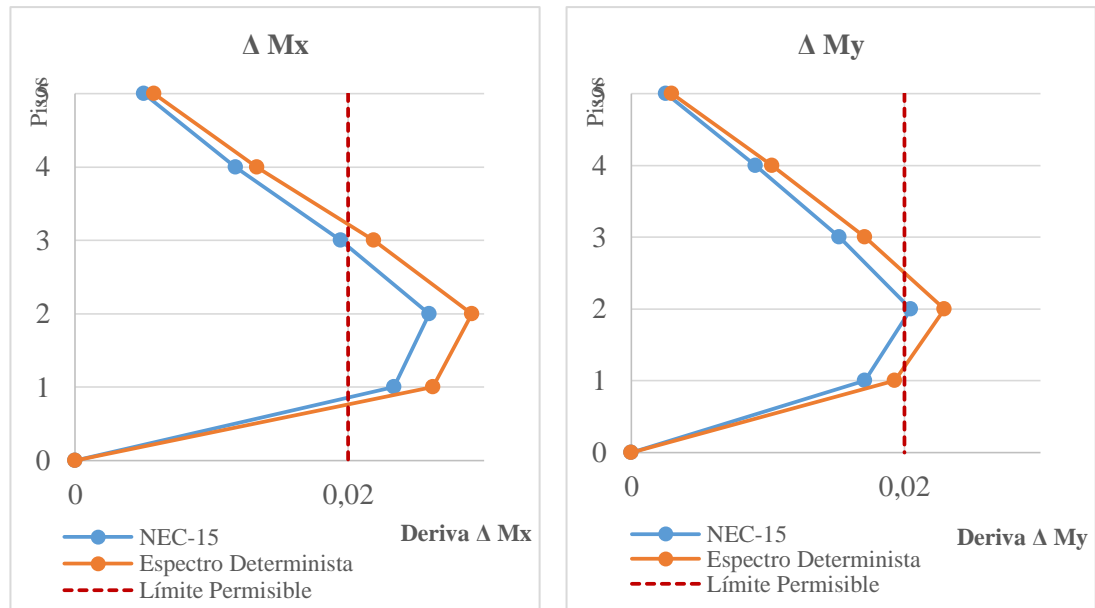
**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Tabla 88.** Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas.

NEC-15				
Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta E$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
5	0.000837	0.00042	0.005022	0.00252
4	0.001961	0.001514	0.011766	0.009084
3	0.003246	0.002543	0.019476	0.015258
2	0.004329	0.003412	0.025974	0.020472
1	0.003898	0.002852	0.023388	0.017112
0	0	0	0	0
Espectro Determinista				
Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta E$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
5	0.000963	0.000496	0.005778	0.002976
4	0.002222	0.001719	0.013332	0.010314
3	0.003646	0.002853	0.021876	0.017118
2	0.004845	0.003826	0.02907	0.022956
1	0.004369	0.003221	0.026214	0.019326
0	0	0	0	0

**Elaborado por:** Talía Cevallos.

**Gráfico 34.** Derivas Inelásticas causadas por Cortantes Dinámicos.



**Elaborado por:** Talía Cevallos.

El análisis debido a cortantes dinámicos demuestra que el Espectro Determinista induce a mayores derivas inelásticas que las producidas por el espectro de la NEC-15, cabe destacar que la estructura supera los límites permisibles establecidos por la normativa en las dos direcciones principales.

- **Participación Modal de la Masa.**

En este parámetro la NEC-15 exige que el número de modos necesarios a utilizar deben ser aquellos en los que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas. [4]



**Tabla 89.** Porcentajes de Participación Modal de la Masa.

Modo	Período	% de Participación Másica	% de Participación Másica	% Acumulado de Participación Másica	% Acumulado de Participación Másica
	(s)	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
1	1.107	0.04%	26.15%	0.04%	26.15%
2	1.023	75.10%	8.34%	75.15%	34.49%
3	0.898	13.20%	51.91%	88.34%	86.40%
4	0.349	0.01%	4.33%	88.35%	90.73%
5	0.329	7.74%	0.58%	96.09%	91.31%
6	0.296	1.05%	4.43%	97.14%	95.74%
7	0.194	0.03%	1.64%	97.17%	97.38%
8	0.189	2.01%	0.14%	99.18%	97.52%
9	0.17	0.09%	1.25%	99.28%	98.77%
10	0.133	0.09%	0.30%	99.36%	99.07%
11	0.131	0.48%	0.11%	99.85%	99.18%
12	0.116	0.01%	0.44%	99.86%	99.61%
13	0.109	0.04%	0.06%	99.89%	99.67%
14	0.107	0.04%	0.07%	99.93%	99.75%
15	0.091	0.00%	0.18%	99.93%	99.93%

**Fuente:** ETABS.

La participación modal de la masa cumple con los requerimientos exigidos por la normativa, en el cuarto modo de la dirección Y de la estructura en el cual existe la acumulación del 90.73% de la masa, mientras que para la dirección X se logra acumular un porcentaje mayor al 90% a partir del quinto modo de vibración.

### **4.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.**

En base a los resultados obtenidos mediante los distintos análisis realizados en el “Estudio del Peligro Sísmico Determinista para las estructuras del Cantón Ambato Sector Huachi Loreto ubicado en la Avenida Las Américas, Avenida Del Rey, Avenida Bolivariana y Camino del Rey”, se pudo confirmar la hipótesis anteriormente planteada la cual ratifica que el Espectro Determinista influye en el comportamiento de las estructuras analizadas de dicho sector.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES.

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de determinar un espectro de sitio para el sector Huachi Loreto de la ciudad de Ambato y evaluar la incidencia del mismo en el comportamiento de las edificaciones construidas en la zona ante la acción sísmica.

A continuación, se resumen los resultados obtenidos:

- Se logró determinar una velocidad de onda de cortante igual a 342.26 m/s, la cual ratifica que el tipo de perfil del área en estudio corresponde a un **Perfil Tipo D**.
- La falla geológica cortical más cercana al área de estudio es la falla Ambato con un Mw: 6.5 sin embargo, las fallas que generan mayor magnitud sísmica son las fallas de Samanga y Subducción con Mw: 6.9 y Mw: 9.3 respectivamente, debido a que estas fallas poseen mayor longitud de ruptura superficial.
- De los porcentajes obtenidos según la variación de la aceleración respecto a los valores establecidos por la NEC-15, se observó que para la falla Ambato el modelo que predomina es el de Akkar & Bommer (2010) con una aceleración de 1.28 g para un período de 0.3 (s), el mismo que supera la aceleración máxima de la normativa en un 7.56%, teniendo en cuenta dicho período crítico se estima que las edificaciones que se encuentren en este período estarán susceptibles a sufrir daños.

- De los porcentajes obtenidos según la variación de la aceleración respecto a los valores establecidos por la NEC-15, se observó que para la falla Huachi el modelo que predomina es el de Akkar & Bommer (2010) con una aceleración de 1.11 g para un período de 0.3 (s), el cual no llega a superar los valores de la aceleración máxima de la normativa, sin embargo se debe tener en cuenta dicho período crítico ya que se estima que las edificaciones que se encuentren en este período estarán susceptibles a sufrir daños.
- De los porcentajes obtenidos según la variación de la aceleración respecto a los valores establecidos por la NEC-15, se observó que para la falla Totoras los modelos que predominan son el de Akkar & Bommer (2010) con una aceleración de 1.17 g para un período de 0.3 (s) y el de Kanno, et al. (2006) con una aceleración de 1.17 g para un período de 0.2 (s), los cuales no llegan a superar los valores de la aceleración máxima de la normativa, sin embargo se debe tener en cuenta dichos períodos crítico ya que se estima que las edificaciones que se encuentren en este período estarán susceptibles a sufrir daños.
- De los porcentajes obtenidos según la variación de la aceleración respecto a los valores establecidos por la NEC-15, se observó que para la falla Samanga el modelo que predomina es el de Kanno, et al. (2006) con una aceleración de 1.44 g para un período de 0.3 (s), el mismo que supera la aceleración máxima de la normativa en un 21.01%, teniendo en cuenta dicho período crítico se estima que las edificaciones que se encuentren en este período estarán susceptibles a sufrir daños.
- Del estudio de peligro sísmico determinista para el régimen cortical, se pudo apreciar en las gráficas que el espectro crítico para períodos cortos está asociado a un evento producido por la falla Samanga el cual fue obtenido mediante el modelo de Kanno (2006), el mismo que genera una aceleración

espectral máxima de 1.44 g en un intervalo de períodos de 0.16 a 0.37 (s) superando a la aceleración establecida por la NEC-15.

- De los porcentajes obtenidos según la variación de la aceleración respecto a los valores establecidos por la NEC-15, se observó que para la falla de Subducción el modelo que predomina es el de Zhao (2006) con una aceleración de 1.23 g para un período de 0.5 (s), el mismo que supera la aceleración máxima de la normativa en un 3.36%.
- Para el régimen de Subducción el espectro generado por el modelo de atenuación de Zhao (2006) presenta valores de aceleraciones mayores en relación a las propuestas por la norma; dicho valor alcanza una aceleración máxima de 1.23 g en un intervalo de 0.46 a 0.54 (s).
- El Espectro Determinista genera valores superiores de aceleración ( $S_a$ ) en comparación con el espectro que establece la NEC-15 para estructuras que tengan períodos de vibración dentro de un intervalo de 0.13 a 0.54 (s) y de igual manera para un intervalo de períodos de entre 0.79 a 1.04 (s), en los cuales se llega a una aceleración máxima de 1.43 g dicho valor de aceleración supera la aceleración máxima de la normativa en un 20.17%.
- La estructura Tipo I presenta mayores derivas de piso al ser analizada con el Espectro Determinista debido a que presenta un período de 0.377 (s), mismo que se encuentra en el rango crítico del espectro específico de 0.13 a 0.54 (s).
- Las estructuras Tipo II y Tipo III muestran resultados mayores al ser analizadas con el espectro NEC-15 dado a que los valores de aceleración se encuentran en el rango establecido por la normativa, los cuales son 1.19 g y 0.753 g respectivamente.

- En el análisis lineal de la estructura Tipo I de **tres pisos** indica un período de vibración de **0.377 (s)**, encontrándose dentro de la especificación de la normativa ( $T \leq T_a \leq 1.3 T$ ), además se registraron problemas de torsión en planta ya que el primer modo de vibración es mayor al 30%, sin embargo las derivas de piso inelásticas causadas por los cortantes estáticos y dinámicos se encuentran por debajo del límite máximo, es decir no superan el 2% permisible.
- En el análisis lineal de la estructura Tipo II de **cuatro pisos** se tiene un período de vibración de **0.688 (s)**, por lo que al estar dentro de los límites especificados por la NEC-15 se establece que su ductilidad es adecuada. Asimismo se registraron problemas de torsión en planta ya que el primer modo de vibración es mayor al 30%. Con respecto a las derivas de piso inelásticas obtenidas en el **Sentido X** de la estructura estas llegan a superar el límite permisible del 2%, pero esto no ocurre en el **Sentido Y** ya que el porcentaje de derivas están debajo del límite máximo.
- En el análisis lineal de la estructura Tipo III de **cinco pisos** se tiene un período de vibración de **1.107 (s)**, lo cual establece que es demasiado flexible, de igual manera se registraron problemas de torsión en planta ya que el primer modo de vibración traslacional es mayor al 30%, en el análisis de las derivas de piso inelásticas obtenidas con los cortantes estáticos estas se encuentran cercanas al límite permisible del 2%, de igual manera con las derivas obtenidas de los cortantes dinámicos superan el límite permisible, lo cual ratifica que la estructura es muy flexible.

## **5.2. RECOMENDACIONES.**

- Es necesario actualizar constantemente la información que engloban las Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo, ya que debido a los incrementos de registros de estaciones sismológicas se obtienen nuevos coeficientes para este tipo de investigaciones.
- Se recomienda realizar un estudio de suelos que logre proporcionar la información adecuada para la correcta construcción de nuevas estructuras, en base a la normativa vigente.
- Para estructuras nuevas en la zona de estudio se recomienda realizar un cálculo y diseño sismorresistente en base a la NEC-15, verificando también su comportamiento y desempeño estructural con un espectro específico.
- Para estructuras existentes en el área de estudio se recomienda realizar una evaluación del desempeño estructural acorde a la NEC-15 y comparar resultados con el espectro específico.
- Es de vital importancia que la ciudad de Ambato cuente con un mapa de zonificación sísmica en donde se puedan diferenciar las diversas zonas de alto peligro, para de esta manera evitar futuros desastres.

## C. MATERIALES DE REFERENCIA

### 1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Wikipedia. Cinturón de Fuego del Pacífico. [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cintur%C3%B3n de Fuego del Pac%C3%ADfico](https://es.wikipedia.org/wiki/Cintur%C3%B3n_de_Fuego_del_Pac%C3%ADfico)
- [2] H. A. Parra Cárdenas, “Desarrollos metodológicos y aplicaciones hacia el cálculo de la peligrosidad sísmica en el Ecuador continental y estudio de Riesgo sísmico en la ciudad de Quito,” Tesis doctoral, Dep. Ingeniería Topográfica y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/2465>
- [3] P. Quinde y E. Reinoso, “Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca”, Revista de Ingeniería Sísmica, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n94/0185-092X-ris-94-00001.pdf>
- [4] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “Peligro Sísmico – Diseño Sismo Resistente (NEC – SE - DS)”, 2015.
- [5] La Hora. (2002). Ambato Necesita identificar zonas de alto riesgo. [En línea]. Disponible en: <https://lahora.com.ec/noticia/1000077460/ambato-necesita-identificar-zonas-de-alto-riesgo>
- [6] Quizanga, D. (2015). Espectros específicos para la ciudad de Quito en función de fallas ciegas inversas. Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiri7ac8eDNAhUIFR4KHcfMDU0QFggvMAc&url=http%3A%2F%2Fbibdigital.epn.edu.ec%2Fbits>



[tream%2F15000%2F11856%2F1%2FCD-6563.pdf&usg=AFQjCNHtomV5lx5RKzGy04bwTFpPWJJWLg&bvm%20=%20bv.%20126130881,d.dmo](#)

[7] Ortega, C. (2010). La vulnerabilidad y el riesgo sísmico. Entrevista al ingeniero Eric Hernández. [En Línea]. Disponible en: <https://arquitecto.com/2011/06/la-vulnerabilidad-el-riesgo-sismico/>

[8] Wikipedia. Terremotos. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Terremotos>

[9] Wikipedia. Terremoto de Ambato de 1949. [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto de Ambato de 1949](https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_Ambato_de_1949)

[10] Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. [En línea]. Disponible en: <http://www.igepn.edu.ec/cayambe/805-terremoto-del-5-de-agosto-de-1949>

[11] Corporación OSSO. (2003). Proyectos de Microzonificación Sísmica. [En línea]. Disponible en: [http://osso.org.co/proyectos/micro\\_buenav/tallersoc/docs/folleto\\_presentacion\\_MzBtura.pdf](http://osso.org.co/proyectos/micro_buenav/tallersoc/docs/folleto_presentacion_MzBtura.pdf)

[12] Aguilar, Z. (2015). Análisis del Peligro Sísmico y Estimado del Movimiento Sísmico de Diseño. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/237684107\\_ANALISIS\\_DE\\_PELIGRO\\_SISMICO\\_Y\\_ESTIMADO\\_DEL\\_MOVIMIENTO\\_SISMICO\\_DE\\_DISENO](https://www.researchgate.net/publication/237684107_ANALISIS_DE_PELIGRO_SISMICO_Y_ESTIMADO_DEL_MOVIMIENTO_SISMICO_DE_DISENO)

[13] Wikipedia. Tectónica de Placas. [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Tect%C3%B3nica de placas](https://es.wikipedia.org/wiki/Tect%C3%B3nica_de_placas)

- [14] Profesor en Línea. Teoría de las Placas Tectónicas (Origen del Relieve). [En línea]. Disponible en: [http://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/Placas\\_tectonicas\\_Teoria.htm](http://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/Placas_tectonicas_Teoria.htm)
- [15] Servicio Geológico Mexicano. (2017). Tectónica de Placas. [En línea]. Disponible en: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Tectonica-de-placas.html>
- [16] AstroMía. Tectónica de Placas. [En línea]. Disponible en: <http://www.astromia.com/tierraluna/tectonica.htm>
- [17] National Geographic. (2011). Placas Tectónicas. [En línea]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/placas-tectonicas>
- [18] Fernández, Á. El Funcionamiento Global de la Tierra: La Tectónica de Placas. [En línea]. Disponible en: [http://roble.pntic.mec.es/afep0032/tectonica\\_index.html](http://roble.pntic.mec.es/afep0032/tectonica_index.html)
- [19] La Alianza de Gaia. Obducción. [En línea]. Disponible en: <http://www.laalianzadegaia.com/obduccion.html>
- [20] Tarbuck, E. y Lutgens, F. (2005) "Ciencias de la Tierra". [En línea]. Disponible en: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbm91YWN0Z2VvbGF2YW56YWRhfGd4OjRiNWQ0ZDI1MTg1ZjgyZmQ>
- [21] La Ciencia Evolucionaria. (2012). Causas y Tipos de Terremotos. [En línea]. Disponible en: <https://joaquinraul22.wordpress.com/2012/06/09/causas-y-tipos-de-terremotos/>

- [22] Inspiration. Tipos de Terremotos. [En línea]. Disponible en: <https://www.inspiration.org/emergencias-y-crisis/desastres-naturales/terremotos/tipos-de-terremotos>
- [23] Tiposde. (2017). Tipos de Terremotos. [En línea]. Disponible en: <http://www.tiposde.org/ciencias-naturales/461-tipos-de-terremotos/>
- [24] Tiposde.com. (2016) Tipos de Terremoto. [En línea]. Disponible en: <https://www.tiposde.com/terremoto.html>
- [25] ClubEnsayos. (2013). Sismos Artificiales. [En línea]. Disponible en: <https://www.clubensayos.com/Temas-Variados/Sismos-Artificiales/1137805.html>
- [26] Ventanas al Universo. (2010). ¿Qué es una falla geológica? [En línea]. Disponible en: <https://www.windows2universe.org/earth/geology/fault.html&lang=sp>
- [27] CONICYT. Ministerio de Educación del Gobierno de Chile. (2014) Explora. ¿Sabías que existen tres tipos de terremotos? [En línea]. Disponible en: <https://www.explora.cl/regiones/100-sabias-que/sabias-sismologia/1386-sabias-que-existes-tres-tipos-de-terremotos>
- [28] Taipe, L. (2013). Análisis de las Ecuaciones de Predicción de Movimientos de Suelo para el Ecuador utilizando datos registrados durante el periodo 2000-2011 en estaciones sísmicas de banda ancha y acelerógrafos. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6447/1/CD-4961.pdf>
- [29] esgSolutions. ¿Qué es la magnitud momento? [En línea]. Disponible en: <https://www.esgsolutions.com/es/recursos-tecnicos/base-de-conocimientos-microsismicos/que-es-la-magnitud-de-momento>
- [30] Wells, D. y Coppersmith, K. (1994) Nuevas relaciones empíricas entre magnitud, longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y

desplazamiento de superficie. [En línea]. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.527.9732&rep=rep1&type=pdf>

[31] Portillo, G. (2016). Meteorología en Red. La litosfera. [En línea]. Disponible en: <https://www.meteorologiaenred.com/litosfera.html>

[32] Universidad de Coruña. Ondas Sísmicas. [En línea]. Disponible en: [https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Investigacion/Terremotos/ondas\\_s%EDsmicas.htm](https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Investigacion/Terremotos/ondas_s%EDsmicas.htm)

[33] Universidad de Valladolid. Laboratorio de Procesado de Imagen. Ondas Sísmicas. [En línea]. Disponible en: [https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_06\\_07/i03/public\\_html/Ondas/Ondas.html](https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_06_07/i03/public_html/Ondas/Ondas.html)

[34] Strasser, F. O., Arango, M. C. y Bommer, J. J. (2010). Scaling of the Source Dimensions of Interface and Intraslab Subduction-zone Earthquakes with Moment Magnitude. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/277479804\\_Scaling\\_of\\_the\\_Source\\_Dimensions\\_of\\_Interface\\_and\\_Intraslab\\_Subduction-zone\\_Earthquakes\\_with\\_Moment\\_Magnitude?enrichId=rgreq-8ee837389f669f9f957c7a8de89b78fb-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI3NzQ3OTgwNDtBUzoyMzgWMTYxMzIyODQ0MTdAMTQzMzc1ODg3NjU3NQ%3D%3D&el=1\\_x\\_2&\\_esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/277479804_Scaling_of_the_Source_Dimensions_of_Interface_and_Intraslab_Subduction-zone_Earthquakes_with_Moment_Magnitude?enrichId=rgreq-8ee837389f669f9f957c7a8de89b78fb-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI3NzQ3OTgwNDtBUzoyMzgWMTYxMzIyODQ0MTdAMTQzMzc1ODg3NjU3NQ%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf)

[35] Aguiar, R. (2008). Análisis Sísmico de Edificios (Primera Edición). [En línea]. Disponible en: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33401821/ANALISIS\\_SISMICODEEDIFICIOS.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1517180668&Signature=JTXyb0PM8Pner8%2FasE1RqlFezZ0%3D&response-content-](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33401821/ANALISIS_SISMICODEEDIFICIOS.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1517180668&Signature=JTXyb0PM8Pner8%2FasE1RqlFezZ0%3D&response-content-)

[disposition=inline%3B%20filename%3DANALISIS\\_SISMICO\\_DE\\_EDIFICIOS.pdf](#)

- [36] Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2013). Informe Sísmico para el Ecuador. [En línea]. Disponible en: <https://www.igepn.edu.ec/inf-sism/sismicos-anuales/231--50/file>
- [37] Rivadeneira, F. et al. (2007). Breves Fundamentos sobre los Terremotos en el Ecuador. [En línea]. Disponible en: <http://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file>
- [38] Parra, H. et al. (2017). Estimación de la Peligrosidad Sísmica en Ecuador continental. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13741/1/978-9942-765-10-9.pdf>
- [39] Ortiz, O. (2013). "Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador", Maestría en Geología Ambiental y Recursos Geológicos, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2013. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf>
- [40] Secretaría de Comunicaciones y Transporte (2003). Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales. [En línea]. Disponible en: <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-02-03.pdf>
- [41] Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN (1982). Mecánica de Suelos - Ensayo de Penetración Estándar. [En línea]. Disponible en: <https://ia801903.us.archive.org/5/items/ec.nte.0689.1982/ec.nte.0689.1982.pdf>
- [42] Lazcano, S. (2012). "Perfiles de velocidad de onda de corte y análisis del comportamiento sísmico del suelo en el poniente de Guadalajara".

XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica. [En línea]. Disponible en: [http://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1\\_Reunion\\_Cancun/2\\_X XVI\\_Reunion\\_Nacional/6\\_Geotecnia\\_sismica/I5LADS\\_1.pdf](http://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_X XVI_Reunion_Nacional/6_Geotecnia_sismica/I5LADS_1.pdf)



- [43] Montalva, G. "¿Qué Vs30 se debe usar como índice para la amplificación sísmica?". Universidad de Concepción. [En línea]. Disponible en: <http://vu2018.admin.hosting.ing.udec.cl/descargas/46.pdf>
- [44] Kirar, B. et al. (2015). Correlación entre la velocidad de onda de corte (Vs) y la resistencia SPT (N) para la región de Roorkee. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40891-016-0047-5>
- [45] CSN. Centro Sismológico Nacional, Universidad de Chile. Sismicidad y Terremotos en Chile. [En línea]. Disponible en: [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)
- [46] Boore, D. y Atkinson, G. (2008). Ecuaciones de predicción de movimiento en tierra para el componente horizontal promedio de PGA, PGY y PSA amortiguado al 5% en períodos espectrales entre 0.01 s y 10.0 s. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/237785597\\_Ground-Motion\\_Prediction\\_Equations\\_for\\_the\\_Average\\_Horizontal\\_Component\\_of\\_PGA\\_PGV\\_and\\_5Damped\\_PSA\\_at\\_Spectral\\_Periods\\_between\\_001\\_s\\_and\\_100\\_s](https://www.researchgate.net/publication/237785597_Ground-Motion_Prediction_Equations_for_the_Average_Horizontal_Component_of_PGA_PGV_and_5Damped_PSA_at_Spectral_Periods_between_001_s_and_100_s)
- [47] Akkar, S. y Bommer, J. (2010). Ecuaciones empíricas para la predicción de PGA, PGV y aceleraciones espectrales en Europa, la región mediterránea y el Medio Oriente. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/250075340\\_Empirical\\_Equations\\_for\\_the\\_Prediction\\_of\\_PGA\\_PGV\\_and\\_Spectral\\_Accelerations\\_in\\_Europe\\_the\\_Mediterranean\\_Region\\_and\\_the\\_Middle\\_East](https://www.researchgate.net/publication/250075340_Empirical_Equations_for_the_Prediction_of_PGA_PGV_and_Spectral_Accelerations_in_Europe_the_Mediterranean_Region_and_the_Middle_East)

- [48] Kanno, T. et al. (2006). Una nueva relación de atenuación para el movimiento de tierra fuerte en Japón en base a los datos registrados. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/228663447\\_A\\_new\\_attenuation\\_relation\\_for\\_strong\\_ground\\_motion\\_in\\_Japan\\_based\\_on\\_recorded\\_data](https://www.researchgate.net/publication/228663447_A_new_attenuation_relation_for_strong_ground_motion_in_Japan_based_on_recorded_data)
- [49] Youngs, R. et al. (1997). Relaciones fuertes de atenuación de movimiento en el suelo para subducción de zonas de terremotos. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/247656235\\_Strong\\_Ground\\_Motion\\_Attenuation\\_Relationships\\_for\\_Subduction\\_Zone\\_Earthquakes](https://www.researchgate.net/publication/247656235_Strong_Ground_Motion_Attenuation_Relationships_for_Subduction_Zone_Earthquakes)
- [50] Zhao, T. et al. (2006). Relaciones de atenuación del movimiento de tierra fuerte en Japón usando la clasificación del sitio basada en el período predominante. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/250074756\\_Attenuation\\_Relations\\_of\\_Strong\\_Ground\\_Motion\\_in\\_Japan\\_Using\\_Site\\_Classification\\_Based\\_on\\_Predominant\\_Period](https://www.researchgate.net/publication/250074756_Attenuation_Relations_of_Strong_Ground_Motion_in_Japan_Using_Site_Classification_Based_on_Predominant_Period)
- [51] Atkinson, G. y Boore, D. (2003). Relaciones empíricas entre el suelo y el movimiento para los terremotos de la zona de subducción y su aplicación a Cascadia y otras regiones. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/279867701\\_Empirical\\_ground-motion\\_relations\\_for\\_subduction-zone\\_earthquakes\\_and\\_their\\_application\\_to\\_Cascadia\\_and\\_other\\_regions](https://www.researchgate.net/publication/279867701_Empirical_ground-motion_relations_for_subduction-zone_earthquakes_and_their_application_to_Cascadia_and_other_regions)
- [52] Crisafuli, F. y Villafañe, E. (2002). Espectros de Respuesta y de Diseño. [En línea]. Disponible en: <http://blog.uca.edu.ni/estructuras/files/2011/02/espectros-de-respuesta-y-de-dise%C3%B1o.pdf>

[53] C. Medina, "Reducción de la Vulnerabilidad en Estructuras Esenciales y Especiales de Hormigón Armado, situadas en zonas de alto peligro sísmico en el Ecuador", Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15076>  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15076>

## 2. ANEXOS.

### ANEXO A.

	
<p><b>Fotografía 1.</b> Preparación del equipo SPT.</p>	<p><b>Fotografía 2.</b> Ensayos de Campo.</p>





**Fotografía 3.**

Toma de muestras en diferentes estratos.



**Fotografía 4.**

Muestras húmedas obtenidas en cada punto de ensayo.



**Fotografía 5.**

Colocación de las muestras húmedas en el horno para secado.



**Fotografía 6.**

Tamizada de las muestras secas.



**Fotografía 7.**

Obtención de pesos del suelo de los distintos estratos.



**Fotografía 8.**

Tipos de granulometría del suelo.

## ANEXO B.

### B-1. Coeficientes de escala de magnitud ( $F_M$ ).

T	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	Mh
PGA	-0.53804	-0.5035	-0.75472	-0.5097	0.28805	-0.10164	0	6.75
0.01	-0.52883	-0.49429	-0.74551	-0.49966	0.28897	-0.10019	0	6.75
0.02	-0.52192	-0.48508	-0.73906	-0.48895	0.25144	-0.11006	0	6.75
0.03	-0.45285	-0.41831	-0.66722	-0.42229	0.17976	-0.12858	0	6.75
0.05	-0.28476	-0.25022	-0.48462	-0.26092	0.06369	-0.15752	0	6.75
0.075	0.00767	0.04912	-0.20578	0.02706	0.0117	-0.17051	0	6.75
0.1	0.20109	0.23102	0.03058	0.22193	0.04697	-0.15948	0	6.75
0.15	0.46128	0.48661	0.30185	0.49328	0.1799	-0.14539	0	6.75
0.2	0.5718	0.59253	0.4086	0.61472	0.52729	-0.12964	0.00102	6.75
0.25	0.51884	0.53496	0.3388	0.57747	0.6088	-0.13843	0.08607	6.75
0.3	0.43825	0.44516	0.25356	0.5199	0.64472	-0.15694	0.10601	6.75
0.4	0.3922	0.40602	0.21398	0.4608	0.7861	-0.07843	0.02262	6.75
0.5	0.18957	0.19878	0.00967	0.26337	0.76837	-0.09054	0	6.75
0.75	-0.21338	-0.19496	-0.49176	-0.10813	0.75179	-0.14053	0.10302	6.75

1	-0.46896	-0.43443	-0.78465	-0.3933	0.6788	-0.18257	0.05393	6.75
1.5	-0.86271	-0.79593	-1.20902	-0.88085	0.70689	-0.2595	0.19082	6.75
2	-1.22652	-1.15514	-1.57697	-1.27669	0.77989	-0.29657	0.29888	6.75
3	-1.82979	-1.7469	-2.22584	-1.91814	0.77966	-0.45384	0.67466	6.75
4	-2.24656	-2.15906	-2.58228	-2.38168	1.24961	-0.35874	0.79508	6.75
5	-1.28408	-1.2127	-1.50904	-1.41093	0.14271	-0.39006	0	8.5
7.5	-1.43145	-1.31632	-1.81022	-1.59217	0.52407	-0.37578	0	8.5
10	-2.15446	-2.16137	-2.53323	-2.14635	0.40387	-0.48492	0	8.5

**Fuente:** Modelo de Atkinson y Boore (2008).

**B-2.** Coeficientes de escala de distancias ( $M_{ref} = 4.5$  y  $R_{ref} = 1.0$  km para todos los períodos, excepto  $R_{ref} = 5.0$  km para  $pga4ln$ ) ( $F_D$ ).

PERÍODO	c1	c2	c3	h
PGA	-0.6605	0.1197	-0.01151	1.35
0.01	-0.6622	0.12	-0.01151	1.35
0.02	-0.666	0.1228	-0.01151	1.35
0.03	-0.6901	0.1283	-0.01151	1.35
0.05	-0.717	0.1317	-0.01151	1.35
0.075	-0.7205	0.1237	-0.01151	1.55
0.1	-0.7081	0.1117	-0.01151	1.68
0.15	-0.6961	0.09884	-0.01113	1.86
0.2	-0.583	0.04273	-0.00952	1.98
0.25	-0.5726	0.02977	-0.00837	2.07
0.3	-0.5543	0.01955	-0.0075	2.14
0.4	-0.6443	0.04394	-0.00626	2.24
0.5	-0.6914	0.0608	-0.0054	2.32
0.75	-0.7408	0.07518	-0.00409	2.46
1	-0.8183	0.1027	-0.00334	2.54

1.5	-0.8303	0.09793	-0.00255	2.66
2	-0.8285	0.09432	-0.00217	2.73
3	-0.7844	0.07282	-0.00191	2.83
4	-0.6854	0.03758	-0.00191	2.89
5	-0.5096	-0.02391	-0.00191	2.93
7.5	-0.3724	-0.06568	-0.00191	3
10	-0.09824	-0.138	-0.00191	3.04

**Fuente:** Modelo de Atkinson y Boore (2008).

**B-3.** Coeficientes de amplificación del sitio dependiendo del período ( $F_s$ ).

<b>PERÍODO</b>	<b>b lin</b>	<b>b1</b>	<b>b2</b>
PGA	-0.36	-0.64	-0.14
0.01	-0.36	-0.64	-0.14
0.02	-0.34	-0.63	-0.12
0.03	-0.33	-0.62	-0.11
0.05	-0.29	-0.64	-0.11
0.075	-0.23	-0.64	-0.11
0.1	-0.25	-0.60	-0.13
0.15	-0.28	-0.53	-0.18
0.2	-0.31	-0.52	-0.19
0.25	-0.39	-0.52	-0.16
0.3	-0.44	-0.52	-0.14
0.4	-0.50	-0.51	-0.10
0.5	-0.60	-0.50	-0.06
0.75	-0.69	-0.47	0.00
1	-0.70	-0.44	0.00
1.5	-0.72	-0.40	0.00

2	-0.73	-0.38	0.00
3	-0.74	-0.34	0.00
4	-0.75	-0.31	0.00
5	-0.75	-0.29	0.00
7.5	-0.69	-0.25	0.00
10	-0.65	-0.22	0.00

**Fuente:** Modelo de Atkinson y Boore (2008).

## ANEXO C.

**C-1.** Coeficientes para la predicción de pseudoaceleración espectral para las ecuaciones Ec. 1 y Ec. 2.

<b>T</b>	<b><math>b_1</math></b>	<b><math>b_2</math></b>	<b><math>b_3</math></b>	<b><math>b_4</math></b>	<b><math>b_5</math></b>	<b><math>b_6</math></b>
0	1.0416	0.9133	-0.0814	-2.9273	0.2812	7.8664
0.05	2.1153	0.7257	-0.0735	-3.332	0.3353	7.7473
0.1	2.1199	0.7518	-0.0745	-3.1054	0.3025	8.2141
0.15	1.6449	0.8368	-0.0754	-2.7585	0.2549	8.3179
0.2	0.9207	0.9682	-0.079	-2.4926	0.2179	8.2191
0.25	0.1398	1.1307	-0.0876	-2.3382	0.2009	7.2069
0.3	-0.8401	1.3744	-0.1035	-2.1912	0.1814	6.543
0.35	-1.3221	1.4706	-0.1087	-2.1299	0.1749	6.2475
0.4	-1.7032	1.5593	-0.1139	-2.1272	0.1714	6.5717
0.45	-1.972	1.6165	-0.1174	-2.1662	0.177	6.7808
0.5	-2.7693	1.8327	-0.132	-2.1297	0.1688	7.1742

0.55	-3.5167	2.0252	-0.145	-2.0421	0.1562	6.7617
0.6	-3.9276	2.0847	-0.1465	-1.8814	0.1362	6.101
0.65	-4.4949	2.2115	-0.1552	-1.7903	0.1292	5.1914
0.7	-4.6293	2.2176	-0.1549	-1.798	0.135	4.4632
0.75	-4.9505	2.2914	-0.1598	-1.8132	0.1392	4.2795
0.8	-5.3286	2.3839	-0.1657	-1.7727	0.1327	4.3701
0.85	-5.758	2.5064	-0.1748	-1.7707	0.131	4.6219
0.9	-5.8269	2.5029	-0.1737	-1.763	0.1306	4.6539
0.95	-5.9059	2.5141	-0.1742	-1.7985	0.1354	4.8454
1	-6.1707	2.5856	-0.1794	-1.8072	0.136	4.976
1.05	-6.6034	2.6958	-0.1865	-1.7384	0.1249	5.0449
1.1	-6.9038	2.7704	-0.1917	-1.7111	0.1223	5.0098
1.15	-6.9618	2.7586	-0.1889	-1.6659	0.1145	5.089
1.2	-6.9924	2.7343	-0.1849	-1.5912	0.1027	5.0327
1.25	-6.7461	2.6238	-0.1739	-1.5289	0.0913	5.0835
1.3	-6.5172	2.5187	-0.1633	-1.4653	0.0801	5.1442
1.35	-6.5582	2.5224	-0.1631	-1.4822	0.0817	5.2901
1.4	-6.6195	2.5261	-0.1627	-1.4826	0.0821	5.3349
1.45	-6.6274	2.4986	-0.1591	-1.4331	0.0758	5.1941
1.5	-6.7179	2.4949	-0.1569	-1.353	0.0638	5.1575
1.55	-6.8078	2.5029	-0.1563	-1.3123	0.057	5.2744
1.6	-6.8363	2.5101	-0.1568	-1.3326	0.0587	5.5454
1.65	-6.8868	2.5405	-0.16	-1.4093	0.0686	5.9383
1.7	-6.946	2.5715	-0.1629	-1.4768	0.0767	6.366
1.75	-7.0917	2.6294	-0.1679	-1.5404	0.0843	6.8229
1.8	-7.2282	2.6682	-0.1706	-1.5427	0.0833	7.116
1.85	-7.2977	2.6757	-0.17	-1.5094	0.0766	7.3193
1.9	-7.3552	2.6775	-0.1693	-1.4699	0.0707	7.2599
1.95	-7.4072	2.6821	-0.1691	-1.4382	0.0653	7.2534
2	-7.504	2.71	-0.1713	-1.444	0.066	7.2606
2.05	-7.556	2.7274	-0.1729	-1.4579	0.0677	7.4032
2.1	-7.5346	2.7171	-0.1722	-1.4666	0.0694	7.4617
2.15	-7.5081	2.7104	-0.1721	-1.4968	0.0743	7.5127
2.2	-8.0917	2.9116	-0.1892	-1.5564	0.0843	7.7706
2.25	-8.1106	2.9209	-0.1904	-1.5954	0.0905	7.877
2.3	-8.1627	2.9333	-0.1916	-1.6046	0.0928	7.9175
2.35	-7.947	2.8533	-0.1854	-1.5743	0.0908	7.6196
2.4	-7.9668	2.8536	-0.1856	-1.5783	0.0929	7.5964
2.45	-7.9788	2.849	-0.1853	-1.5773	0.0943	7.5034
2.5	-7.884	2.8182	-0.1832	-1.6038	0.0989	7.5395
2.55	-7.681	2.7572	-0.1791	-1.6521	0.1068	7.6189
2.6	-7.7257	2.8204	-0.1872	-1.8878	0.1405	8.1225
2.65	-7.5329	2.7482	-0.1814	-1.8953	0.1436	7.9224
2.7	-7.4159	2.6901	-0.1763	-1.8704	0.1428	7.5
2.75	-7.3454	2.6535	-0.1731	-1.8608	0.1434	7.2667

2.8	-7.2456	2.6103	-0.1695	-1.8561	0.1444	7.1186
2.85	-7.0711	2.5612	-0.1662	-1.9042	0.1513	7.3628
2.9	-6.9933	2.527	-0.163	-1.897	0.1504	7.4504
2.95	-6.9567	2.5101	-0.1614	-1.9013	0.1508	7.6023
3	-6.9292	2.459	-0.1551	-1.768	0.1331	7.2195

**Fuente:** Modelo de Akkar y Bommer (2010).

**C-1.** Coeficientes para la predicción de pseudoaceleración espectral para las ecuaciones Ec. 1 y Ec. 2.

$b_7$	$b_8$	$b_9$	$b_{10}$	$\sigma_1$	$\sigma_2$
0.0875	0.0153	-0.0419	0.0802	0.261	0.0994
0.0471	-0.0243	-0.0426	0.0865	0.272	0.1142
0.0267	-0.0006	-0.0491	0.0791	0.2728	0.1167
0.0258	0.017	-0.0418	0.0784	0.2788	0.1192
0.0656	0.0211	-0.021	0.0844	0.2821	0.1081
0.0981	0.0392	-0.0485	0.0858	0.2871	0.099
0.1285	0.0434	-0.0555	0.0922	0.2902	0.0976
0.1621	0.067	-0.0472	0.09	0.2983	0.1054
0.2122	0.092	-0.0515	0.099	0.2998	0.1101
0.2412	0.1168	-0.052	0.0994	0.3037	0.1123
0.2594	0.1356	-0.0428	0.0858	0.3078	0.1163
0.265	0.1445	-0.0426	0.0695	0.307	0.1274
0.2772	0.1516	-0.0385	0.0593	0.3007	0.143
0.2857	0.1524	-0.0342	0.0511	0.3004	0.1546

0.3035	0.1565	-0.0415	0.0466	0.2978	0.1626
0.3152	0.1633	-0.0405	0.0425	0.2973	0.1602
0.3215	0.1737	-0.0395	0.0337	0.2927	0.1584
0.3352	0.1848	-0.0379	0.0287	0.2917	0.1543
0.3485	0.1906	-0.0288	0.0248	0.2915	0.1521
0.3592	0.1941	-0.0221	0.025	0.2912	0.1484
0.3662	0.1952	-0.0227	0.0212	0.2895	0.1483
0.3728	0.1946	-0.0261	0.0112	0.2888	0.1465
0.3776	0.1942	-0.0266	0.0014	0.2896	0.1427
0.3815	0.194	-0.0209	0.0015	0.2871	0.1435
0.3812	0.1931	-0.0162	0.0041	0.2878	0.1439
0.3878	0.1939	-0.0183	0.0041	0.2863	0.1453
0.3886	0.1927	-0.019	-0.0037	0.2869	0.1427
0.3868	0.1908	-0.0184	-0.009	0.2885	0.1428
0.3863	0.1929	-0.0161	-0.0088	0.2875	0.1458
0.3829	0.1916	-0.0129	-0.0056	0.2857	0.1477
0.3787	0.1881	-0.0121	-0.0022	0.2839	0.1468
0.3727	0.1857	-0.0085	-0.0005	0.2845	0.145
0.3695	0.1815	-0.0053	-6.00E-05	0.2844	0.1457
0.3653	0.1762	-0.0085	-0.003	0.2841	0.1503
0.3594	0.173	-0.012	-0.0074	0.284	0.1537
0.3528	0.1695	-0.0139	-0.0139	0.284	0.1558
0.3478	0.1674	-0.014	-0.0149	0.2834	0.1582
0.3456	0.1673	-0.0153	-0.0119	0.2828	0.1592
0.3414	0.1633	-0.0156	-0.007	0.2826	0.1611
0.3372	0.1617	-0.0185	-0.0035	0.2832	0.1642
0.333	0.1584	-0.0226	-0.0049	0.2835	0.1657
0.3301	0.155	-0.0263	-0.0073	0.2836	0.1665
0.3265	0.1534	-0.0292	-0.0087	0.2832	0.1663
0.3244	0.1526	-0.0348	-0.0123	0.283	0.1661
0.3135	0.1443	-0.0399	-0.0193	0.283	0.1627
0.31	0.1443	-0.0416	-0.0232	0.283	0.1627
0.3083	0.1441	-0.0424	-0.0263	0.2829	0.1633
0.3207	0.1432	-0.0496	-0.0234	0.2815	0.1632
0.318	0.143	-0.0491	-0.0257	0.2826	0.1645
0.314	0.1432	-0.0481	-0.0264	0.2825	0.1665
0.311	0.1433	-0.0471	-0.0277	0.2818	0.1681
0.3088	0.1434	-0.0461	-0.0282	0.2818	0.1688
0.3112	0.1426	-0.0511	-0.0297	0.2838	0.1741
0.3094	0.1422	-0.0502	-0.0293	0.2845	0.1759
0.3069	0.1407	-0.0489	-0.0296	0.2854	0.1772
0.3064	0.1405	-0.0474	-0.0292	0.2862	0.1783
0.3053	0.1392	-0.0473	-0.0275	0.2867	0.1794
0.3051	0.1393	-0.0452	-0.0278	0.2869	0.1788
0.3036	0.1378	-0.042	-0.0262	0.2874	0.1784



0.2999	0.1358	-0.0386	-0.0249	0.2872	0.1783
0.2977	0.132	-0.0386	-0.0247	0.2876	0.1785

**Fuente:** Modelo de Akkar y Bommer (2010).

## ANEXO D.

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

PERÍODO	$a_1$	$b_1$	$c_1$	$d_1$	$\varepsilon_1$
0	0.56	-0.0031	0.26	0.0055	0.37
0.05	0.54	-0.0035	0.48	0.0061	0.37
0.06	0.54	-0.0037	0.57	0.0065	0.38
0.07	0.53	-0.0039	0.67	0.0066	0.38
0.08	0.52	-0.004	0.75	0.0069	0.39
0.09	0.52	-0.0041	0.8	0.0071	0.4
0.1	0.52	-0.0041	0.85	0.0073	0.4
0.11	0.5	-0.004	0.96	0.0061	0.4
0.12	0.51	-0.004	0.93	0.0062	0.4
0.13	0.51	-0.0039	0.91	0.0062	0.4
0.15	0.52	-0.0038	0.89	0.006	0.41
0.17	0.53	-0.0037	0.84	0.0056	0.41
0.2	0.54	-0.0034	0.76	0.0053	0.4

0.22	0.54	-0.0032	0.73	0.0048	0.4
0.25	0.54	-0.0029	0.66	0.0044	0.4
0.3	0.56	-0.0026	0.51	0.0039	0.39
0.35	0.56	-0.0024	0.42	0.0036	0.4
0.4	0.58	-0.0021	0.26	0.0033	0.4
0.45	0.59	-0.0019	0.13	0.003	0.41
0.5	0.59	-0.0016	0.04	0.0022	0.41
0.6	0.62	-0.0014	-0.22	0.0025	0.41
0.7	0.63	-0.0012	-0.37	0.0022	0.41
0.8	0.65	-0.0011	-0.54	0.002	0.41
0.9	0.68	-0.0009	-0.8	0.0019	0.41
1	0.71	-0.0009	-1.04	0.0021	0.41
1.1	0.72	-0.0007	-1.19	0.0018	0.41
1.2	0.73	-0.0006	-1.32	0.0014	0.41
1.3	0.74	-0.0006	-1.44	0.0014	0.41
1.5	0.77	-0.0005	-1.7	0.0017	0.4
1.7	0.79	-0.0005	-1.89	0.0019	0.39
2	0.8	-0.0004	-2.08	0.002	0.39
2.2	0.82	-0.0004	-2.24	0.0022	0.38
2.5	0.84	-0.0003	-2.46	0.0023	0.38
3	0.86	-0.0002	-2.72	0.0021	0.38
3.5	0.9	-0.0003	-2.99	0.0032	0.37
4	0.92	-0.0005	-3.21	0.0045	0.38
4.5	0.94	-0.0007	-3.39	0.0064	0.38
5	0.92	-0.0004	-3.35	0.003	0.38

**Fuente:** Modelo de Kanno (2006).

**ANEXO E.**

**E-1.** Coeficientes de relación de atenuación para aceleraciones espectrales de respuesta horizontal (*amortiguación del 5%*) para los terremotos de subducción para el suelo.

<b>PERÍODO</b>	<b><math>C_1</math></b>	<b><math>C_2</math></b>	<b><math>C_3</math></b>	<b><math>C * 4</math></b>	<b><math>C * 5</math></b>	<b><math>DE</math></b>
0	0	0	-2.329	1.45	-0.1	0.65
0.075	2.4	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1	0.65
0.1	2.516	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1	0.65
0.2	1.549	-0.0019	-2.464	1.45	-0.1	0.65
0.3	0.793	-0.002	-2.327	1.45	-0.1	0.65
0.4	0.144	-0.002	-2.23	1.45	-0.1	0.65
0.5	-0.438	-0.0035	-2.14	1.45	-0.1	0.65
0.75	-1.704	-0.0048	-1.952	1.45	-0.1	0.65
1	-2.87	-0.0066	-1.785	1.45	-0.1	0.65
1.5	-5.101	-0.0114	-1.47	1.5	-0.1	0.7
2	-6.433	-0.0164	-1.29	1.55	-0.1	0.75
3	-6.672	-0.0221	-1.347	1.65	-0.1	0.85
4	-7.618	-0.0235	-1.272	1.65	-0.1	0.85

**Fuente:** Modelo de Youngs (1997).

**ANEXO F.**

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

<b>T</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>S<sub>R</sub></b>	<b>S<sub>I</sub></b>	<b>S<sub>S</sub></b>	<b>S<sub>SL</sub></b>
0.00	1.101	-0.00564	0.0055	1.080	0.01412	0.251	0.000	2.607	-0.528
0.05	1.076	-0.00671	0.0075	1.060	0.01463	0.251	0.000	2.764	-0.551
0.10	1.118	-0.00787	0.0090	1.083	0.01423	0.240	0.000	2.156	-0.420
0.15	1.134	-0.00722	0.0100	1.053	0.01509	0.251	0.000	2.161	-0.431
0.20	1.147	-0.00659	0.0120	1.014	0.01462	0.260	0.000	1.901	-0.372
0.25	1.149	-0.00590	0.0140	0.966	0.01459	0.027	0.000	1.814	-0.360
0.30	1.163	-0.00520	0.0150	0.934	0.01458	0.259	0.000	2.181	-0.450
0.40	1.2	-0.00422	0.0100	0.959	0.01257	0.248	-0.041	2.432	-0.506
0.50	1.25	-0.00338	0.0060	1.008	0.01114	0.247	-0.053	2.629	-0.554
0.60	1.293	-0.00282	0.0030	1.088	0.01019	0.233	-0.103	2.702	-0.575
0.70	1.336	-0.00258	0.0025	1.084	0.00979	0.220	-0.146	2.654	-0.572
0.80	1.386	-0.00242	0.0022	1.088	0.00944	0.232	-0.164	2.480	-0.540
0.90	1.433	-0.00232	0.0020	1.109	0.00972	0.220	-0.206	2.332	-0.522
1.00	1.479	-0.00220	0.0020	1.115	0.01005	0.211	-0.239	2.233	-0.509
1.25	1.551	-0.00207	0.0020	1.083	0.01003	0.251	-0.256	2.029	-0.469
1.50	1.621	-0.00224	0.0020	1.091	0.00928	0.248	-0.306	1.589	-0.379
2.00	1.694	-0.00201	0.0025	1.055	0.00833	0.263	-0.320	0.966	-0.248
2.50	1.748	-0.00187	0.0028	1.052	0.00776	0.262	-0.337	0.789	-0.221
3.00	1.759	-0.00147	0.0032	1.025	0.00644	0.307	-0.331	1.037	-0.263
4.00	1.826	-0.00195	0.0040	1.044	0.00590	0.353	-0.390	0.561	-0.169
5.00	1.825	-0.00237	0.0050	1.065	0.00510	0.248	-0.498	0.225	-0.120

**Fuente:** Modelo de Zhao (2006).

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

$C_H$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_k$	$\sigma$	$\tau$	$\sigma_\tau$
0.239	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	-0.62	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:** Modelo de Zhao (2006).

## ANEXO G.

**G-1. Coeficientes para eventos interplaca.**

<b>T</b>	<b>c<sub>1</sub></b>	<b>c<sub>2</sub></b>	<b>c<sub>3</sub></b>	<b>c<sub>4</sub></b>	<b>c<sub>5</sub></b>	<b>c<sub>6</sub></b>	<b>c<sub>7</sub></b>	<b>σ</b>	<b>σ1</b>	<b>σ2</b>
0.00	3.14	0.03525	0.00759	-0.00206	0.190	0.24	0.29	0.23	0.20	0.11
0.04	3.05	0.07052	0.01004	-0.00278	0.150	0.20	0.20	0.26	0.22	0.14
0.10	2.95	0.09841	0.00974	-0.00287	0.150	0.23	0.20	0.27	0.25	0.10
0.20	2.84	0.12386	0.00884	-0.0028	0.150	0.27	0.25	0.28	0.25	0.13
0.40	2.58	0.1477	0.00728	-0.00235	0.130	0.37	0.38	0.29	0.25	0.15
1.00	2.18	0.1345	0.00521	-0.0011	0.100	0.30	0.55	0.34	0.28	0.19
2.00	2.14	0.07148	0.00224	0	0.100	0.25	0.40	0.34	0.29	0.18
3.03	2.27	0.02237	0.00012	0	0.100	0.25	0.36	0.36	0.31	0.18

**Fuente:** Modelo de Atkinson y Boore (2003).