



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

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Tema:

**“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS
ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA PRADERA, PARROQUIA CELIANO
MONGE, DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA TUNGURAHUA”**

AUTOR: Jennifer Paulina Guamán Chicaiza

TUTOR: Ing. M.Sc. Maritza Ureña

Ambato – Ecuador

2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. M. Sc. Maritza Ureña en calidad de tutora, certifico que el presente trabajo bajo el tema: **“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA PRADERA, PARROQUIA CELIANO MONGE, DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA TUNGURAHUA”**, es de autoría de la Srta. Jennifer Paulina Guamán Chicaiza, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Septiembre del 2018

Ing. M.Sc. Maritza Ureña

AUTORÍA

Yo, Jennifer Paulina Guamán Chicaiza con C.I: 0504002478, 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 DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA PRADERA, PARROQUIA CELIANO MONGE, DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA TUNGURAHUA”**, es de mi completa autoría.

Ambato, Septiembre del 2018

Jennifer Paulina Guamán Chicaiza

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, Septiembre del 2018

Jennifer Paulina Guamán Chicaiza

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueba el informe de investigación, sobre el tema: **“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA PRADERA, PARROQUIA CELIANO MONGE, DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA TUNGURAHUA”**, de la egresada Jennifer Paulina Guamán Chicaiza, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman.

Ing. Mg. Jorge Cevallos

Ing. Mg. Christian Medina

DEDICATORIA

A Dios por ser mi fortaleza, por guiarme en la vida que me ha dado, por permitirme llegar a este momento tan especial de mi vida.

A mis padres: Blanca y Cesario, por ser los pilares más importantes en mi vida, por ser mis guías, mi ejemplo, por estar siempre brindándome su amor y comprensión, pero sobre todo su apoyo incondicional, porque con sus palabras me animaron a seguir siempre adelante cuando sentía que ya no podía, por ser mi motor para seguir esforzándome cada día

A mis queridos hermanos Brayan y Fatima que siempre han estado junto a mí brindándome su apoyo y acompañándome en este arduo camino.

A esa persona especial que siempre ha creído en mí y me ha dado la fuerza y el apoyo necesario para seguir adelante.

A mi familia en general que me han brindado su apoyo incondicional y por compartir buenos y malos momentos.

Jennifer Paulina Guamán Chicaiza

AGRADECIMIENTO

En primer lugar doy infinitamente gracias a Dios por protegerme durante todo este camino y darme fuerzas para superar los obstáculos y dificultades que se me han presentado.

A mi madre, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mi padre por guiarme por el camino correcto, por su amor incondicional.

A mis hermanos, por que más que eso han sido mis amigos y son los seres más importantes en mi vida.

A mi tutora Ing. M.Sc. Maritza Ureña por su asesoría y tiempo en la realización de este trabajo. Gracias por su paciencia y dedicación.

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

Agradezco a mis amigas (o) Paola, Carlos, Andrés, Lenin, Tanya y Alexander por su paciencia y comprensión durante este arduo camino pero sobre todo por su apoyo incondicional en todo momento, agradezco su amistad sincera y desinteresada durante todos estos años.

A la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de ingeniería Civil y Mecánica, por la Formación obtenida, a los docentes por los conocimientos brindados para mi formación profesional.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa o indirectamente en la realización de este proyecto.

Jennifer Paulina Guamán Chicaiza

ÍNDICE

A. PAGINAS PRELIMINARES

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE.....	VIII
A. PAGINAS PRELIMINARES	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICES DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE ANEXOS	XX
RESUMEN EJECUTIVO	XXII

B. TEXTO

CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES	1
1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	1
1.2 ANTECEDENTES.....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 Objetivo General	3
1.4.2 Objetivos Específicos	3

CAPITULO II	4
FUNDAMENTACIÓN	4
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1.1 ESTRUCTURA DE LA TIERRA.....	4
2.1.2 FORMACIÓN DE LOS CONTINENTES.....	6
2.1.3 TECTÓNICA DE PLACAS.....	7
2.1.4 PELIGRO SISMICO	16
2.1.5 Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (Ground Motion Prediction Equations) siglas en ingles GMPE's.....	21
2.2 HIPÓTESIS	26
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	26
2.3.1 Variable Dependiente	26
2.3.2 Variable Independiente.....	26
CAPITULO III	27
METODOLOGÍA	27
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	27
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	27
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	28
3.3.1 Variable Independiente.....	28
3.3.2 Variable Dependiente	29
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	30
3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	31
CAPITULO IV	32
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	32
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS	32
4.1.1 Régimen Tectónico.....	32

4.1.2	Selección de Fallas Geológicas	33
4.1.3	Características del suelo	41
4.1.3.1	Ensayo de penetración estándar SPT	48
4.1.3.2	Velocidad media de la onda de corte VS30	55
4.1.4	Ecuaciones de atenuación para sismos intraplaca cortical	64
4.1.4.1	Modelo de Boore y Atkinson (2008)	65
4.1.4.2	Modelo Akkar y Bommer (2010)	70
4.1.4.3	Modelo de Kanno (2006).....	72
4.1.5	Ecuaciones de atenuación para subducción.....	74
4.1.5.1	Modelo de Youngs (1997)	74
4.1.5.2	Modelo de Zhao (2006)	76
4.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	78
4.2.1	Magnitud de las fallas.....	63
4.2.2	Cálculo de espectros	78
4.2.2.1	Espectros calculados con el modelo de Borre y Atkinson.....	78
4.2.2.2	Espectros calculados con el Modelo de Akkar y Bommer	80
4.2.2.3	Espectros calculados con el Modelo de Kanno 2006.	81
4.2.2.4	Espectros calculados con el Modelo de Youngs.....	82
4.2.2.5	Espectros calculados con el Modelo de Zhao.....	83
4.2.3	Espectros con los modelos para cada Falla	85
4.2.4	Espectros con los modelos y la NEC-2015 para cada Falla.....	91
4.2.5	Espectros de todos los modelos con la NEC 2015	96
4.2.6	Espectro critico obtenido con los modelos.....	97
4.2.7	Espectro específico comparando con la NEC-15.	99
4.2.8	Comportamiento estructural de las estructuras tipo en el sitio de análisis.....	100

4.2.8.1	Características estructurales de las edificaciones en el sitio.....	100
4.2.8.2	Cálculos de los Periodos de Vibración	105
4.2.8.3	Reducción de los espectros elásticos.	107
4.2.8.4	Verificación del Comportamiento Estructural.....	109
4.2.8.4.1	Validación del Análisis Dinámico	133
4.3	VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	157
CAPÍTULO V		158
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		158
5.1	CONCLUSIONES	158
5.2	RECOMENDACIONES	161
C. MATERIALES DE REFERENCIA		162
1 .	BIBLIOGRAFÍA	162
2.	ANEXO	166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento (M).....	22
Tabla 2.	Operacionalización de la variable independiente	28
Tabla 3.	Operacionalización de la variable dependiente	29
Tabla 4.	Plan de recolección de información	30
Tabla 5.	Intensidades sismicas en la ciudad de Ambato	33
Tabla 6.	Fallas Geológicas con su longitud y distancia al punto de estudio.	40
Tabla 7.	Clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.	41
Tabla 8.	Granulometría y clasificación del suelo – Pozo 1	42
Tabla 9.	Granulometría y clasificación del suelo - Pozo 2.....	43
Tabla 10.	Granulometría y clasificación del suelo - Pozo 3.....	45
Tabla 11.	Granulometría y clasificación del suelo- Pozo 4.....	46

Tabla 12. Granulometría y clasificación del suelo- Pozo 5	47
Tabla 13. Coordenadas UTM de las perforaciones realizadas en el Sector la Pradera	49
Tabla 14. Valores del ensayo SPT parcial y total- Pozo 1	50
Tabla 15. Valores del ensayo SPT parcial y total- Pozo 2	51
Tabla 16. Valores del ensayo SPT parcial y total- Pozo 3	52
Tabla 17. Valores del ensayo SPT parcial y total- Pozo 4	53
Tabla 18. Valores del ensayo SPT parcial y total- Pozo 5	54
Tabla 19. Clasificación de los Perfiles de Suelo	55
Tabla 20. Valores de la Velocidad de la onda de corte (V_{s30}) y su respectivo tipo de perfil - Pozo 1	57
Tabla 21. Valores de la Velocidad de la onda de corte (V_{s30}) y su respectivo tipo de perfil - Pozo 2	58
Tabla 22. Valores de la Velocidad de la onda de corte (V_{s30}) y su respectivo tipo de perfil - Pozo 3	59
Tabla 23. Valores de la Velocidad de la onda de corte (V_{s30}) y su respectivo tipo de perfil - Pozo 4	60
Tabla 24. Valores de la Velocidad de la onda de corte (V_{s30}) y su respectivo tipo de perfil - Pozo 5	61
Tabla 25. Valores de la velocidad de la onda de corte V_{s30} para el Área de estudio	62
Tabla 26. Magnitud de momento (M_w) calculadas	64
Tabla 27 Valores a usar en este estudio – modelo Boore y Atkinson	69
Tabla 28. Valores a usar en este estudio – modelo Akkar y Bommer.....	71
Tabla 29. Valores a usar en este estudio – Modelo Kanno.....	73
Tabla 30. Valores a usar en este estudio – Modelo Youngs.....	75
Tabla 31 Valores a usar en este estudio – Modelo Zhao	77
Tabla 32. Valores de aceleraciones máximas y su variación porcentual.....	84
Tabla 33. Valores de Aceleración máxima y Período.	90
Tabla 34. Valores para el Espectro de Aceleración Critico.....	97
Tabla 35. Secciones de los elementos estructurales de las edificaciones en sitio.	100
Tabla 36. Valores para el Período de Vibración de las estructuras	105

Tabla 37. Valores del Período de Vibración de las estructuras	106
Tabla 38. Valores de F_a , F_d , F_s para perfil de suelo tipo D para el cálculo de los Períodos Límites de Vibración de las estructuras.....	107
Tabla 39. Coeficientes obtenidos de la NEC-15 para la reducción de los espectros elásticos.	108
Tabla 40. Valores de T_1 , T_o y T_c calculados y valores de T_2 obtenidos en el programa ETABS 2016 con los espectros ingresados.....	109
Tabla 41. Valores de aceleración y coeficientes sísmicos obtenidos con 1.3T. ...	112
Tabla 42. Participación modal de la masa - Estructura de 1 piso.....	113
Tabla 43. Participación modal de la masa - Estructura de 2 pisos	113
Tabla 44. Participación modal de la masa - Estructura de 3 pisos	114
Tabla 45. Modos de vibración de cada una de las estructuras seleccionadas.....	114
Tabla 46. Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa - Estructura de 1 pisos.....	115
Tabla 47. Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa - Estructura de 2 pisos.....	115
Tabla 48. Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa - Estructura de 3 pisos.....	116
Tabla 49 Modos de vibración necesarios para la acumulación del 90% de la masa	116
Tabla 50. Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro NEC 2015-Estructura de 1 piso.....	117
Tabla 51. Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro Específico-Estructura de 1 piso.....	118
Tabla 52. Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro NEC 2015-Estructura de 2 pisos	122
Tabla 53. Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro Específico-Estructura de 2 pisos	122
Tabla 54. Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro NEC-Estructura de 3 pisos	127
Tabla 55. Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro Específico-Estructura de 3 pisos	127

Tabla 56. Derivas Máximas Elásticas e Inelásticas Estáticas de cada una de las estructuras analizadas en sitio.	132
Tabla 57. Valores del Cortante Estático para la estructura de 1 pisos, Espectro NEC 2015 - sentido X y Y	133
Tabla 58. Valores del Cortante Dinámico para la estructura de 1 pisos, Espectro NEC 2015 - sentido X y Y	133
Tabla 59. Valores del Cortante Estático para la estructura de 1 pisos, Espectro Específico - sentido X y Y.....	134
Tabla 60. Valores del Cortante Dinámico para la estructura de 1 pisos, Espectro Específico - sentido X y Y.....	134
Tabla 61. Valores del Cortante Estático para la estructura de 2 pisos, Espectro NEC 2015 - sentido X y Y	137
Tabla 62. Valores del Cortante Dinámico para la estructura de 2 pisos, Espectro NEC 2015 - sentido X y Y	137
Tabla 63. Valores del Cortante Estático para la estructura de 2 pisos, Espectro Específico - sentido X y Y.....	138
Tabla 64. Valores del Cortante Dinámico para la estructura de 2 pisos, Espectro Específico - sentido X y Y.....	138
Tabla 65. Valores del Cortante estático para la estructura de 3 pisos, Espectro NEC - sentido X y Y	142
Tabla 66. Valores del Cortante Dinámico para la estructura de 3 pisos, Espectro NEC - sentido X y Y	142
Tabla 67. Valores del Cortante Estático para la estructura de 3 pisos, Espectro Específico - sentido X y Y.....	143
Tabla 68. Valores del Cortante Dinámico para la estructura de 3 pisos, Espectro Específico - sentido X y Y.....	143
Tabla 69 Validación del Análisis Dinámico.....	147
Tabla 70. Valores de las Derivas elásticas Dinámicas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro NEC 2015-Estructura de 1 piso.....	148
Tabla 71. Valores de las Derivas elásticas Dinámicas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro Específico-Estructura de 1 piso.....	148

Tabla 72. Valores de las Derivas elásticas Dinámicas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro NEC 2015-Estructura de 2 piso.....	150
Tabla 73. Valores de las Derivas elásticas Dinámicas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro Específico-Estructura de 2 piso.....	150
Tabla 74. Valores de las Derivas elásticas Dinámicas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro NEC 2015-Estructura de 3 piso.....	153
Tabla 75. Valores de las Derivas elásticas Dinámicas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro Específico--Estructura de 3 piso	153
Tabla 76. Derivas de piso elásticas con cada espectro	156

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1. Modelos del interior de la Tierra. Se muestra el modelo dinámico mismo que compone las siguientes capas, Litosfera, Astenósfera, Mesosfera, Núcleo externo y Núcleo interno, además se presenta el modelo estático mismo que considera las siguientes capas, Corteza, Manto, Núcleo.....	4
Figura 2. Capas de los modelos de la estructura de la Tierra. Se muestra las capas de los modelos estaticos y dinámicos de la estructura de la tierra con la respectiva profundidad que tiene cada capa.	6
Figura 3. Placas Tectónicas. Se muestra las Placas Principales las mismas que son Africana, Euroasiática, Australiana, Norteamericana, Sudamericana, Pacífica y Antártica y las microplacas: Cocos, Nazca, Caribe, Filipinas, Arábiga, Somalia, Juan de Fuca.....	8
Figura 4. Límite convergente corteza continental- corteza oceánica. La figura muestra que la placa oceánica se introduce debajo de la placa continental.	9
Figura 5. Límite divergente. Se muestra la separación de dos Placas oceánicas mima que se produce en las dorsales oceánicas, de la cual dan origen al suelo oceánico. .	9
Figura 6. Límite de falla transformante. La figura muestra la separación de las placas originando numerosos sismos.....	10
Figura 7. Falla normal. Se muestra como el bloque de techo se desliza hacia abajo mientras el bloque de piso asciende.	11

Figura 8. Falla inversa. La figura muestra como el bloque de techo asciende mientras el bloque de piso desciende.	11
Figura 9. Falla de desgarre. La figura muestra como los bloques se deslizan lateralmente uno respecto al otro.....	12
Figura 10. Hipocentro, epicentro y falla. Se observa el epicentro es el punto en la superficie perpendicular al hipocentro. El hipocentro punto en el interior de la Tierra donde se origina el sismo.	13
Figura 11. Ondas de cuerpo primarias. Se muestra la propagación de las Ondas P mismas que alcanzan una velocidad en el interior de la tierra de 11 Km/s.....	14
Figura 12. Ondas de cuerpo secundarias. La figura muestra la propagación de las Ondas S dichas ondas no se propagas en medios líquidos.	14
Figura 13. Ondas superficiales Rayleigh. Se observa la propagación de las ondas Rayleigh, son las más lentas con una velocidad de 1 a 4 Km/s.....	15
Figura 14. Ondas superficiales Love. La figura muestra la propagación de la ondas Love estas ondas provocan cortes en la superficie terrestre.....	15
Figura 15. Mapa de Zonificación Sísmica del Ecuador. La figura presenta las seis zonas sísmicas del Ecuador, mismas que son caracterizadas por el factor de zona Z.	17
Figura 16. Espectro sísmico elástico de aceleración que representa el sismo de diseño, obtenidos a partir de los valores de aceleración y el período de la estructura.	19
Figura 17. Características del muestreador para realizar el ensayo SPT.....	20
Figura 18. Fallas Geológicas cercanas al área de estudio. En la figura se muestra las Falla Geológica Corticales existentes en Ambato y las cercanas al área de estudio como son: Falla de Huachi EC-344a, Falla de Ambato EC-344b, Falla de Totoras EC-345 y la falla de Samanga EC054.	34
Figura 19. Falla geológica de subducción Ecuador. En la figura se muestra las Falla Geológica existentes en el ecuador, como son las Fallas Corticales y de Subducción.	35
Figura 20. Falla Geológica Huachi cercana al área de estudio. Se observa la falla de Huachi con el código EC-344a de acuerdo a la NeoTec esta falla tiene una longitud de 12,08 Km.	36

Figura 21. Falla Geológica Ambato cerca del área de estudio. La figura muestra la falla de Ambato con el código EC-344b de acuerdo a la NeoTec esta falla tiene una longitud de 16,35 Km.	37
Figura 22. Falla Geológica Totoras. Se presenta la falla de Totoras con el código EC-345 de acuerdo a la NeoTec esta falla tiene una longitud de 17,50 Km.	38
Figura 23. Falla Geológica Samanga. Se observa la falla de Samanga con el código EC054 de acuerdo a la NeoTec esta falla tiene una longitud de 33 Km.	39
Figura 24. Distancia perpendicular más cercana a la falla Rjb	40
Figura 25. Sector la Pradera, Ubicación de las 5 perforaciones realizadas en el área de estudio.....	49
Figura 26. Espectros de aceleración obtenidos con el Modelo de Boore y Atkinson 2008	79
Figura 27. Espectros de aceleración Modelo de Akkar y Bommer 2010.....	80
Figura 28. Espectros de aceleración Modelo de Kanno 2006	81
Figura 29. Espectro de aceleración Modelo de Youngs 1997	82
Figura 30. Espectros de aceleración Modelo de Zhao 2006.....	83
Figura 31. Espectros de aceleración Modelo de Borre-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Huachi.	85
Figura 32 Espectros de aceleración Modelo de Borre-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Ambato.....	86
Figura 33 Espectros de aceleración Modelo de Borre-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Totoras.....	87
Figura 34. Espectros de aceleración Modelo de Borre-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Samanga.	88
Figura 35. Espectros de aceleración Modelo de Youngs, Kanno para la falla de Subducción Placa de Nazca.....	89
Figura 36. Espectro de aceleración modelos: Boore-Atkinson, Akkar - Bommer, Kanno, NEC-15 para la falla de Huachi.....	91
Figura 37. Espectro de aceleración modelos: Boore-Atkinson, Akkar - Bommer, Kanno, NEC-15 para la falla de Ambato.....	92
Figura 38 Espectro de aceleración modelos: Boore-Atkinson, Akkar - Bommer, Kanno, NEC-15 para la falla de Totoras	93

Figura 39. Espectro de aceleración modelos: Boore-Atkinson, Akkar - Bommer, Kanno, NEC-15 para la falla de Samanga.....	94
Figura 40. Espectro de aceleración modelos: Youngs, Zhao, NEC-15 para la falla de subducción Placa de Nazca	95
Figura 41. Todos los espectros comparados con la NEC-15.....	96
Figura 42. Espectro Específico de aceleración.....	98
Figura 43. Espectro crítico y Espectro NEC 2015	99
Figura 44. Vista en planta de la Estructura de 1 Pisos	101
Figura 45. Vista en planta de la Estructura de 2 Pisos	102
Figura 46. Vista en planta de la Estructura de 3 Pisos	103
Figura 47. Vista en planta de la Estructura de 3 Pisos	104
Figura 48. Espectro específico y NEC-15 con los valores de T para cada estructura	111
Figura 49. Espectro específico y NEC-15 con los valores de $1.3T_1$ para cada estructura	112
Figura 50. Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido X.....	118
Figura 51. Comparación de las Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido X.....	119
Figura 52. Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido Y.....	120
Figura 53. Comparación de las Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido Y	121
Figura 54. Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 2 Piso - Sentido X.....	123
Figura 55. Comparación de las Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 2 Piso - Sentido X	124
Figura 56. Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 2 Piso - Sentido Y.....	125
Figura 57. Comparación de las Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 2 Piso - Sentido Y	126

Figura 58. Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 3 Piso - Sentido X.....	128
Figura 59. Comparación de las Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 3 Piso - Sentido X.....	129
Figura 60 Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 3 Piso - Sentido Y.....	130
Figura 61. Comparación de las Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 3 Piso - Sentido Y.....	131
Figura 62. Comparación de los Cortantes Estáticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido X-Y.....	134
Figura 63. Comparación de los Cortantes Dinámicos obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido X.....	135
Figura 65. Comparación de los Cortantes Dinámicos obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido Y.....	136
Figura 66. Comparación de los Cortantes Estáticos obtenidos con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 2 Piso – Sentido X-Y.....	139
Figura 67. Comparación de los Cortantes Dinámico obtenidos con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 2 Piso – Sentido X.....	140
Figura 69. Comparación de los Cortantes Dinámico obtenidos con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 2 Piso – Sentido Y.....	141
Figura 70. Comparación de los Cortantes Estáticos obtenidos con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 3 Piso – Sentido X - Y.....	144
Figura 71. Comparación de los Cortantes Dinámico obtenidos con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 3 Piso – Sentido X.....	145
Figura 73. Comparación de los Cortantes Dinámico obtenidos con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 3 Piso – Sentido Y.....	146
Figura 74. Comparación de las derivas elásticas dinámicas. Espectro NEC-15 y Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido X.....	149
Figura 75. Comparación de las derivas elásticas dinámicas. Espectro NEC-15 y Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido Y.....	149
Figura 76. Comparación de las derivas elásticas dinámicas. Espectro NEC-15 y Específico para la estructura de 2 Piso - Sentido X.....	151

Figura 77. Comparación de las derivas elásticas dinámicas. Espectro NEC-15 y Específico para la estructura de 2 Piso - Sentido Y.....	152
Figura 78. Comparación de las derivas elásticas dinámicas. Espectro NEC-15 y Específico para la estructura de 3 Piso - Sentido X.....	154
Figura 79. Comparación de las derivas elásticas dinámicas. Espectro NEC-15 y Específico para la estructura de 3 Piso - Sentido Y.....	155

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	166
Fotografía 1. Tripode	166
Fotografía 2. Realizando el ensayo SPT	167
Fotografía 3. Midiendo la longitud de la muestra de suelo.....	167
Fotografía 4. Muestras del Pozo 1.....	168
Fotografía 5. Pesando Muestra de Suelo.....	168
Fotografía 6. Secando las Muestras de Suelo.....	169
Fotografía 7. Tamizando la muestra de suelo para análisis granulométrico	169
Fotografía 8. Realizando el ensayo SPT y estructura de 1 piso	170
Fotografía 9. Estructura de 2 pisos.....	170
Fotografía 10. Estructura de 3 pisos.....	171
 ANEXO B	 172
B-1. Coeficientes de escala de distancia ($M_{ref} = 4,5$ y $R_{ref} = 1,0$ km para todos los períodos, excepto $R_{ref} = 5,0$ km para p_{ga4nl})	172
B-2. Coeficientes de amplificación del sitio dependiendo del período	173
B-3. Coeficientes de escala de Magnitud	174
 ANEXO C	 175
C-1. Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción Pseudoaceleración espectral.....	175

C-1. Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción Pseudoaceleración espectral.....	176
ANEXO D	178
D-1. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos poco profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de PGA 5%	178
ANEXO E	179
E-1. Relaciones de atenuación para aceleración espectral de respuesta horizontal (amortiguación del 5%) para los terremotos de subducción para el suelo.	179
ANEXO F	180
F-1 Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria	180
F-2. Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción	181

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

TEMA: “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA PRADERA, PARROQUIA CELIANO MONGE, DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA TUNGURAHUA”

Autor: Jennifer Paulina Guamán Chicaiza

Tutor: Ing. Mg. Maritza Ureña

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente proyecto de investigación se calculó el periodo de vibración para tres estructuras tipo ubicadas en el área de estudio, también se obtuvo un espectro determinístico para este sector expresado como la aceleración de gravedad S_a (g), para compararlo con el espectro de aceleraciones de la NEC-15 y verificar el comportamiento estructural de cada una de las estructuras seleccionadas del área de estudio.

Para determinar este proceso se realizaron los siguientes pasos: establecer el régimen tectónico en base al área de estudio, seleccionar las fallas geológicas que mayor afectación generaran al área de estudio, en base a la longitud de cada falla se calcula la magnitud de momento de las fallas, por medio del ensayo de penetración estándar se obtuvo el N_{spt} para determinar la velocidad media de la onda de corte V_{s30} aproximada para el tipo de perfil, por medio de parámetro como la distancia la distancia fuente-sitio, profundidad focal se emplearon ecuaciones de atenuación de predicción de movimiento de suelo obteniendo espectros de aceleración, por medio de una envolvente de todos los espectros de aceleración se obtiene un espectro específico de aceleraciones máximas, dicho espectro se compara con el espectro de la norma.

Las aceleraciones dadas por el espectro específico en un periodo de 0,14 y 1,49 son mayores a las aceleraciones obtenidas con el espectro de la NEC-15.

ABSTRACT

In the present research project, the vibration period was calculated for three type structures located in the study area. A deterministic spectrum was also obtained for this sector, expressed as the gravity acceleration S_a (g), to compare it with the spectrum of accelerations of the NEC-15 and verify the structural behavior of each of the structures selected from the study area.

To determine this process, the following steps were taken: establish the tectonic regime based on the study area, select the geological faults that will affect the study area the most, based on the length of each fault, the magnitude of the Faults, by means of the standard penetration test, the N_{spt} was obtained to determine the average speed of the approximate V_{s30} shear wave for the profile type, by means of parameters such as distance, source-site distance, focal depth, equations of Soil motion prediction attenuation obtaining acceleration spectra, by means of an envelope of all the acceleration spectra a specific spectrum of maximum accelerations is obtained, this spectrum is compared with the spectrum of the norm.

The accelerations given by the specific spectrum in a period of 0,14 and 1,49 are greater than the accelerations obtained with the NEC-15 spectrum.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“Estudio de Peligro Sísmico Determinista para las estructuras del Sector la Pradera, Parroquia Celiano Monge, de la Ciudad de Ambato Provincia Tungurahua”

1.2 ANTECEDENTES

Realizar un estudio de peligrosidad sísmica es de gran importancia debido a la gran cantidad de sismos que se presentan en el territorio Ecuatoriano, ya sean estos de pequeña o gran magnitud. Los sismos producen alteraciones en el suelo por lo que Catillo Diego en el año 2013 en su tesis considera que: En la ciudad de Loja a los 30 primeros metros de suelo la velocidad de las ondas de corte tienen un valor predominante de 700 m/s, a la vez establece que para suelos tipo C o superiores la aceleración máxima a nivel del suelo es de 0.45g y los efectos en suelos tipo D o inferiores deberán ser analizados tomando como referencia los resultados del mapa de peligro sísmico obtenido para Loja [1].

Mientras Ortiz Oscar en su tesis de Maestría en el año 2013 manifiesta que: En su estudio realizado obtuvo un mapa de peligrosidad sísmica del Ecuador en términos de PGA para un periodo de 500 años, donde se observa que los valores más bajos de aceleración se presenta en la región oriental los mismos que oscilan entre 150 y 250 gales, mientras que en el interior del Ecuador los valores de aceleración varían entre 350 y 450 gales y los valores más altos de aceleración se presentan en las regiones colindantes a la zona de subducción, dichos valores están entre 500 y 750 gales [2].

En el año 2014 Castillo David su tesis determina que la gran mayoría de las estructuras de Quito están construidas sobre relleno, en un suelo de este tipo las ondas sísmicas se amplifican más, por lo que los factores obtenidos por cercanía para las distintas fallas ciegas que se encuentran en la ciudades de Quito, amplifican el espectro de diseño con el cual obtuvo mayor seguridad sísmica para dichas estructuras [3].

En el estudio realizado por Diego Quizanga en el año 2015 se pudo determinar que a partir del sector sur y centro-sur de la ciudad de Quito se obtuvo un espectro crítico, en sitios donde la V_{s30} alcanzada fue 460 m/s, este espectro será mayor ya que está asociado a la liberación de energía producida por la falla Puengasí. Las aceleraciones espectrales en estos sitios varían entre 1.2 y 2.2 g [4].

Con el presente tema de investigación se pretende determinar el peligro sísmico determinista en base a un área de estudio específico y de esa manera obtener espectros de respuesta de sitio en función de las fallas que mayor probabilidad de afectación produzcan al sitio; además de ello se pretende comparar el espectro de sitio con el espectro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015) y determinar la factibilidad del espectro NEC.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El Ecuador presenta un historial sísmico importante, ya que está ubicada en una zona de alto riesgo sísmico, lo que ha permitido la generación de numerosos sismos cuya acción destructiva ha provocado pérdidas materiales y de vidas humanas.

Las principales fuentes de generación de sismos dentro del territorio continental son: las fallas geológicas, la acción de la subducción de la Placa de Nazca dentro de la Placa Sudamericana y la actividad volcánica [5].

Ambato posee un alto grado de amenaza sísmica por las fallas geológicas que abarca su área según lo detectado por el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, en el cual existen suelos vulnerables, por lo que históricamente ha sido sacudida por fuertes sismos uno de los de mayor intensidad es el de 1949 con una intensidad de 6.8 grados en la escala de Richter [6].

El estudio de peligro sísmico es la base fundamental para el diseño de estructuras para lo cual se ve la necesidad de realizar estudios de microzonificación sísmica, con el propósito de conocer la geología local, la distribución espacial de los estratos de suelo y poder dividir el área de estudio con características dinámicas similares y posteriormente generar directrices constructivas para la correcta edificación

antisísmica, particularizando cada obra según el tipo de suelo en que será fundada ya que es importante señalar que para diferentes tipos de suelo, la reacción del mismo ante un sismo es diferente [1] [7].

Los estudios de peligrosidad sísmica llevan a cabo una estimación de la aceleración máxima del terreno provocada por sismos, basándose en el análisis de los terremotos producidos, su probabilidad de ocurrencia, las características de las fuentes sismo tectónicas y las leyes de atenuación de la energía sísmica [8].

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Realizar el estudio de Peligro Sísmico Determinista para las estructuras del sector La Pradera de la parroquia Celiano Monje, de la ciudad de Ambato, Provincia Tungurahua.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar las fallas activas que abarcan el Régimen Tectónico en base al área de estudio.
- Determinar un espectro de diseño propio para la zona de estudio.
- Comparar el espectro de diseño obtenido del análisis de peligro sísmico determinístico con lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 ESTRUCTURA DE LA TIERRA

La tierra está compuesta de roca derretida que está en constante movimiento en su interior, lo que genera un fuerte campo magnético, sobre el magma que existe en el interior de la tierra flota roca solidificada o corteza terrestre sobre la cual está la tierra firme y los océanos [9].

Mediante estudios de las ondas sísmicas se han desarrollado dos modelos del interior de la Tierra denominados de la siguiente manera:

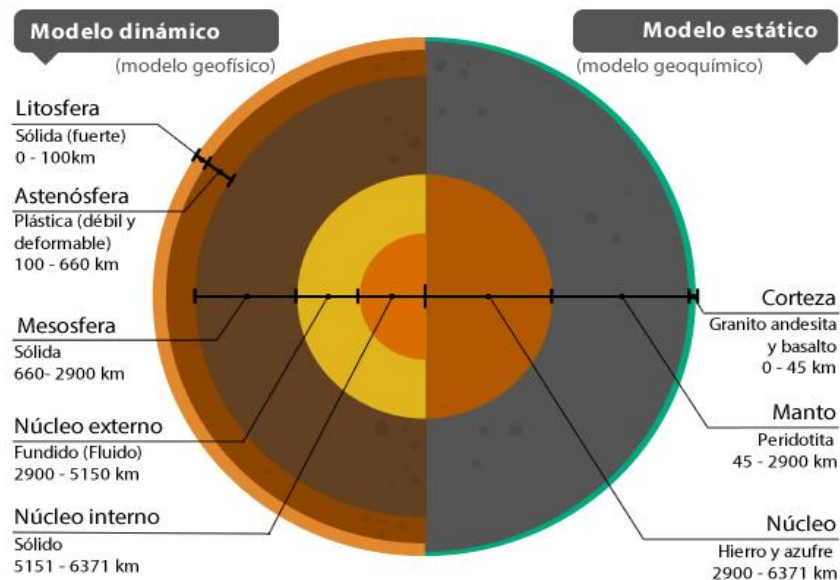


Figura 1. Modelos del interior de la Tierra. Se muestra el modelo dinámico mismo que compone las siguientes capas, Litósfera, Astenósfera, Mesosfera, Núcleo externo y Núcleo interno, además se presenta el modelo estático mismo que considera las siguientes capas, Corteza, Manto, Núcleo.

Fuente: Vera G., Paz G. Portal Educativo

Modelo estático: mismo que está basado en la composición química de la Tierra, el cual considera tres capas que son: la corteza, manto y núcleo.

- **Corteza:** Es la capa más externa, esta capa se divide en corteza oceánica y continental. La corteza continental es menos densa y más gruesa que la oceánica.
- **Manto:** Se encuentra en estado sólido
- **Núcleo:** Es la capa más interna de la Tierra. El núcleo se divide en núcleo externo el cual se encuentra en estado líquido, y el núcleo interno que es sólido.

Modelo dinámico: mismo que considera el comportamiento mecánico en el interior de la Tierra, este modelo contempla cinco capas que son: la litosfera, astenósfera, mesosfera, núcleo externo y núcleo interno [10].

- **La Litosfera:** Capa solida formada por rocas, compuesta sobre toda la corteza terrestre, su espesor varía de los 100 a los 150 Km, se encuentra fragmentada en placa, llamadas placas tectónicas o litosfericas. Esta capa la comprende la parte superior del manto y la corteza a estas las separa una discontinuidad sísmica llamada la discontinuidad de Mohorovicic [10].
- **La astenósfera:** esta capa se encuentra desde los 100 Km hasta los 660 Km de profundidad. Debido a las elevadas temperaturas, está en constante movimiento, produciendo el desplazamiento de las placas que se encuentran en ella [10].
- **Mesosfera:** Esta capa se distingue por no presentar el comportamiento plástico que tiene las astenósfera, ya que aquí el manto se vuelve a comportar de manera rígida, esta capa alcanza hasta los 2900 Km de profundidad [10].
- **Núcleo externo:** Se encuentra en estado líquido
- **Núcleo interno:** Se encuentra en estado sólido

La figura 2 muestra los modelos dinámico y estático de la Tierra y el espesor de las diferentes capas [10].

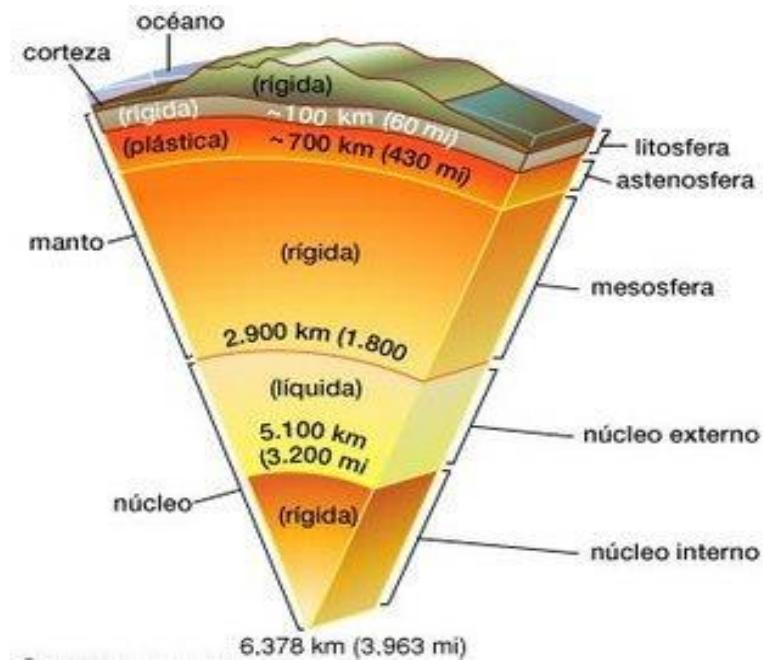


Figura 2. Capas de los modelos de la estructura de la Tierra. Se muestra las capas de los modelos estaticos y dinámicos de la estructura de la tierra con la respectiva profundidad que tiene cada capa.

Fuente: Vera G., Paz G. Portal Educativo

2.1.2 FORMACIÓN DE LOS CONTINENTES

Para explicar la formación de los continentes existen varias teorías, las mismas que son:

Deriva continental (Alfred Wegener)

Planteó la existencia de un supercontinente, que se va separando con el movimiento de rotación de la Tierra [10].

Corrientes de convección

Debido a la diferencia de densidad y temperatura de las rocas en el manto, el manto caliente va surgiendo de la parte más profunda, mientras que el manto que se va enfriando se va hundiendo, esto hace que la corteza crezca lo que va empujando y desplazando a la corteza marina y continental [10].

Expansión de los fondos Oceánicos (Hess en 1960, y Dietz en 1961)

La Tierra está en un proceso de expansión, donde en la dorsal se forma continuamente nueva corteza oceánica, es decir que el suelo oceánico se desplaza debido al material que asciende de la atenosfera a través del eje de las dorsales. [10].

La velocidad de expansión de un lado y otro de la dorsal es la misma, variando la tasa de expansión de un océano a otro, en el Atlántico Norte la velocidad de expansión es de 2 cm, en el atlántico sur la velocidad de expansión es de 3 cm, y en el Océano Pacifico es de 6 a 10 cm [10].

Contracción del manto

Esta teoría manifiesta que la corteza terrestre se fractura y se rompe debido a que el manto se enfría y contrae. Esto facilita la salida del material del manto mismo que forma cordilleras y relieves [10].

Placas Tectónicas

La corteza terrestre está dividida en grandes fragmentos llamados placas tectónicas, que se mueven y flotan sobre el fluido superior del manto [10].

Esta investigación la basamos en la teoría de Tectónica de Placas.

2.1.3 TECTÓNICA DE PLACAS

La tectónica de placas es la teoría que manifiesta la estructura y la dinámica de la superficie terrestre. La superficie de la tierra está formada de placas tectónicas, por lo que se señala que la capa externa de la misma está dividida por una serie de placas las cuales presentan movimiento relativo una respecto a la otra, estas placas son causantes de terremotos y erupciones volcánicas, los límites de las placas son áreas específicas para que se produzcan estos fenómenos naturales. Una de las áreas sismológica y volcánicamente más activas la constituye el llamado “Cinturón de Fuego del Pacifico” donde varias placas rodean la Placa Pacifica [11].

Una placa tectónica está formada por un fragmento de litosfera, la litosfera terrestre está constituida por grandes placas (placas principales) y en varias placas menores o micro placas, dichas placas se mueven de forma independiente [12].

- **Placas Principales:** Africana, Euroasiática, Australiana, Norteamericana, Sudamericana, Pacífica y Antártica.
- **Microplacas:** Cocos, Nazca, Caribe, Filipinas, Arábiga, Somalia, Juan de fuca.

En la figura 3 se observa las placas Tectónicas principales y las microplacas.

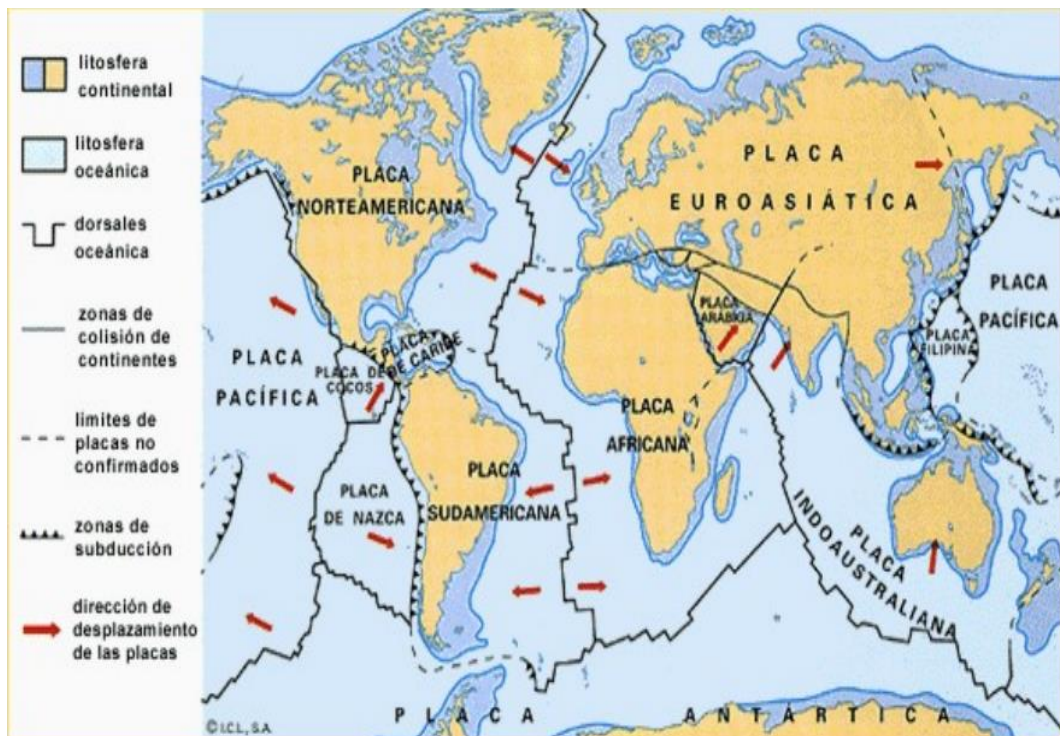


Figura 3. Placas Tectónicas. Se muestra las Placas Principales las mismas que son Africana, Euroasiática, Australiana, Norteamericana, Sudamericana, Pacífica y Antártica y las microplacas: Cocos, Nazca, Caribe, Filipinas, Arábiga, Somalia, Juan de Fuca.

Fuente: Editorial Vicens Vives-Mapa que muestra las placas Tectónicas

- **Tipos de límite de placa**

Límites convergentes o fosas: denominado límite destructivo o zona de subducción donde la placa más densa se introduce bajo la otra. Dependiendo del tipo de corteza se puede dar tres tipos de convergencia: Corteza Continental – Corteza Oceánica, Corteza Continental - Corteza continental y Corteza Oceánica Corteza Oceánica [13].

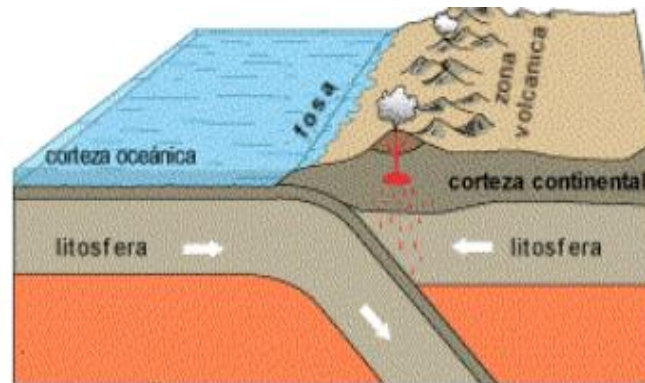


Figura 4. Límite convergente corteza continental- corteza oceánica. La figura muestra que la placa oceánica se introduce debajo de la placa continental.

Fuente: USGS, Understanding plate motions.

Límites divergentes o dorsales: También conocido como límite constructivo, es el límite donde las placas se separan creando en la litosfera un “hueco” en donde las rocas magmáticas crean una nueva corteza oceánica [13].

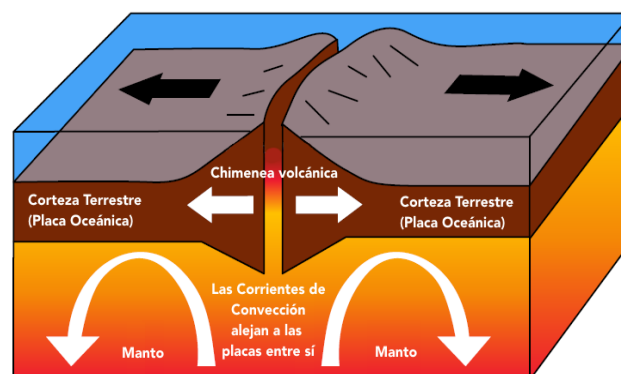


Figura 5. Límite divergente. Se muestra la separación de dos Placas oceánicas mima que se produce en las dorsales oceánicas, de la cual dan origen al suelo oceánico.

Fuente: Tectonics website

Límite transformante: el movimiento de las placas es paralelo y de sentido contrario, donde el rozamiento de las placas originaran una intensa sismicidad [13].

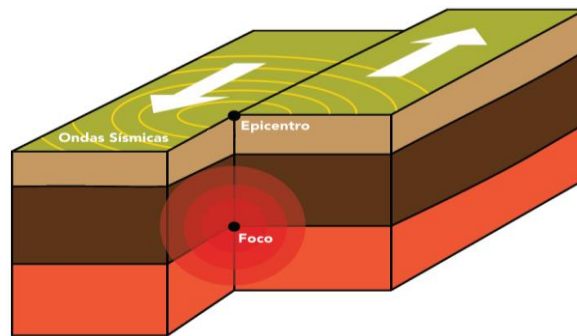


Figura 6. Límite de falla transformante. La figura muestra la separación de las placas originando numerosos sismos.

Fuente: Tectonics website

- **Tipos de fallas**

Las Fallas son deformaciones discontinuas, en donde se producen movimientos en los bloques que han sido separados por la fractura, se puede decir que existen tres tipos de fallas principales las cuales son:

Falla normal: Una falla normal se presenta donde dos placas tectónicas divergen produciendo que el bloque que se encuentra por encima del plano de falla (techo) se desliza hacia abajo, mientras que el bloque que se encuentra por debajo del plano de falla (piso) asciende. Esta falla es generada por tensión horizontal y el movimiento que presenta es vertical respecto al plano de falla y las fuerzas que están siendo inducidas en la roca son perpendiculares a la línea de ruptura superficial de la falla, esto se presenta en la Fig 7 [14].

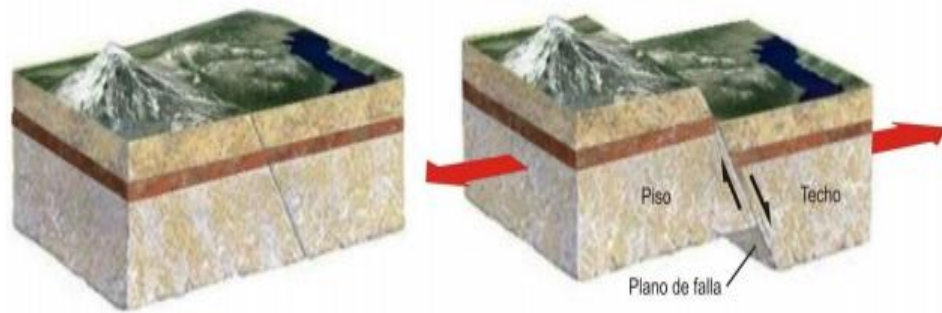


Figura 7. Falla normal. Se muestra como el bloque de techo se desliza hacia abajo mientras el bloque de piso asciende.

Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica

Falla inversa: Se presenta donde las placas tectónicas convergen, este tipo de falla se genera por compresión horizontal produciendo que el bloque de techo se encuentre sobre el bloque de piso [14].

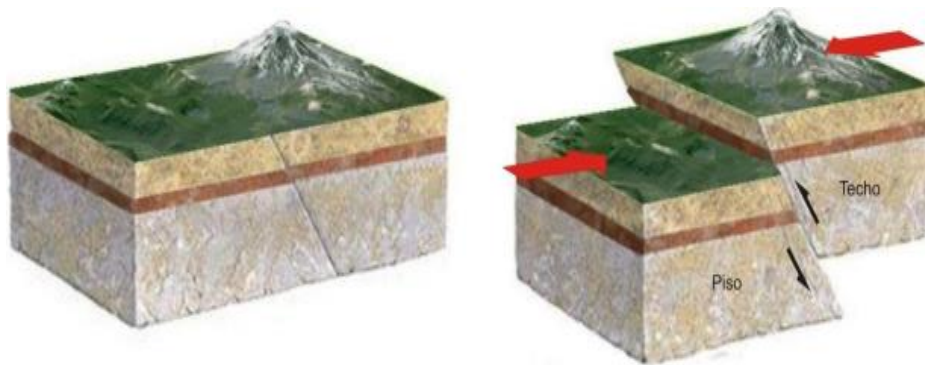


Figura 8. Falla inversa. La figura muestra como el bloque de techo asciende mientras el bloque de piso desciende.

Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica

Falla de desgarre: En este tipo de falla las placas se deslizan lateralmente en dirección al plano de falla, una respecto a la otra [15]. (Figura 9)



Figura 9. Falla de desgarre. La figura muestra como los bloques se deslizan lateralmente uno respecto al otro.

Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica

- **Tipos de Sismos**

Un terremoto es producido por el choque de las placas tectónicas de la corteza terrestre, lo que genera movimientos en el interior de la tierra provocando liberación de energía en forma de ondas sísmicas [16].

Hipocentro o foco: punto en el interior de la tierra donde se libera la energía de un terremoto, el hipocentro o foco puede estar a una profundidad máxima de 700 Km.

Epicentro: punto en la superficie terrestre, perpendicular al hipocentro, donde el sismo alcanza su mayor intensidad.

Falla: causada por la liberación repentina de los esfuerzos [17].

En la figura 10 podemos observar el hipocentro, epicentro y falla.

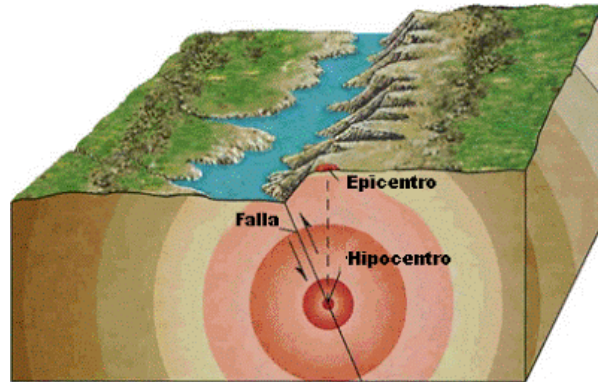


Figura 10. Hipocentro, epicentro y falla. Se observa el epicentro es el punto en la superficie perpendicular al hipocentro. El hipocentro punto en el interior de la Tierra donde se origina el sismo.

Fuente: Paula D.C. Geográfica de América

Podemos definir los principales tipos de terremotos ligados a causas naturales:

Terremoto Tectónico: se producen a través de una falla tectónica, donde se libera energía proveniente de las zonas más profundas, este tipo de terremoto generalmente se presenta en los bordes de contacto de las placas lo cual se le denomina terremoto interplaca y raramente se producen dentro de la placa lo que se denomina terremoto intraplaca [15].

Terremoto Volcánico: se desarrolla en el interior de un volcán y son ocasionados generalmente por la ruptura de la roca debido al movimiento del magma [17].

- **Ondas Sísmicas**

Las ondas sísmicas se originan en el interior de la corteza terrestre, debido a repentinos desplazamientos de fallas o hendiduras en la tierra, dichas ondas se propagan hasta la superficie terrestre originando movimientos sísmicos. La energía que genera dichas perturbaciones es difundida hacia el exterior en forma de ondas sísmicas [18].

La velocidad de las ondas depende de las propiedades del medio; fundamentalmente de la elasticidad y densidad de los materiales por los cuales se propaga [18].

Ondas de cuerpo

Las ondas P o Primarias son ondas longitudinales donde la vibración de las partículas se trasmite en la dirección de propagación de la onda, produciendo compresión y dilataciones en el medio, se propagan por sólidos, líquidos y gases. Se caracterizan por ser las ondas que se propagan con mayor velocidad, alcanzan más de 11 Km/s en el interior de la tierra y por ende es la primera en llegar a cualquier punto [18].

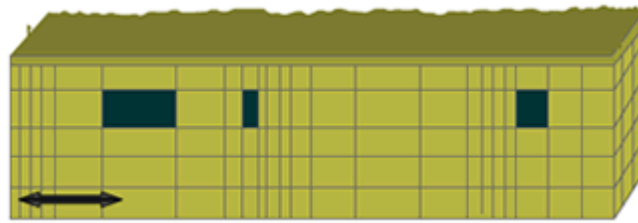


Figura 11. Ondas de cuerpo primarias. Se muestra la propagación de las Ondas P mismas que alcanzan una velocidad en el interior de la tierra de 11 Km/s.

Fuente: E-ducativa.catedu

Las ondas S o Secundarias son ondas transversales y las partículas vibran perpendicularmente a la dirección de propagación, estas ondas no se pueden propagar en medios líquidos [18].

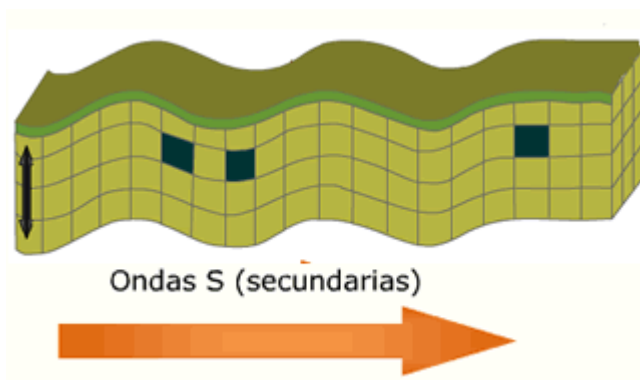


Figura 12. Ondas de cuerpo secundarias. La figura muestra la propagación de las Ondas S dichas ondas no se propagas en medios líquidos.

Fuente: E-ducativa.catedu

Ondas Superficiales

Estas ondas viajan por la superficie terrestre, estas ondas se dividen en dos categorías que son:

Las ondas Rayleigh se originan entre la interacción de las ondas y la componente vertical de las ondas S. Estas ondas son las más lentas con velocidades de 1 a 4 Km/s, dichas ondas provocan el hundimiento de algunas zonas y el apareamiento de otras [18].

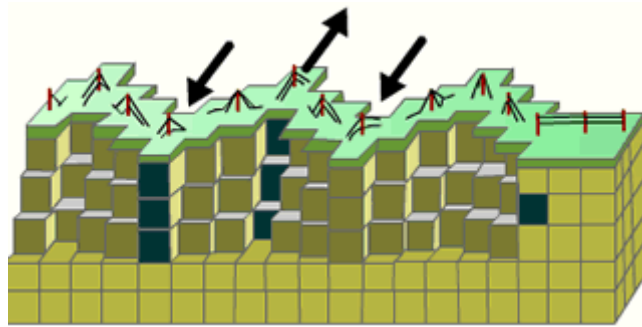


Figura 13. Ondas superficiales Rayleigh. Se observa la propagación de las ondas Rayleigh, son las más lentas con una velocidad de 1 a 4 Km/s.

Fuente: E-ducativa.catedu

Las Ondas Love se comportan de manera muy parecida a las ondas Rayleigh, pero se origina por la interacción de la componente horizontal de las ondas S. Estas ondas tienen una velocidad de 1 a 4,5 Km/s, dichas ondas provocan cortes en la superficie terrestre [18].

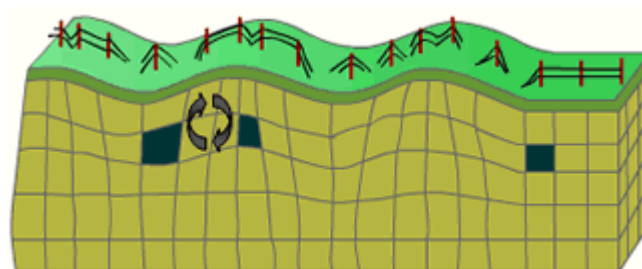


Figura 14. Ondas superficiales Love. La figura muestra la propagación de las ondas Love estas ondas provocan cortes en la superficie terrestre.

Fuente: E-ducativa.catedu

2.1.4 PELIGRO SISMICO

Para determinar los efectos que causan los sismos en las obras civiles es necesario tomar en cuenta la sismicidad del lugar, la que se obtiene mediante un análisis de peligro o amenaza sísmica y la vulnerabilidad de la obra, que se estima al conocer las características de las edificaciones [19].

Existen dos formas para realizar un análisis el peligro sísmico:

- Análisis Determinístico
- Análisis Probabilístico

Peligro sísmico determinístico

Cuantifica el peligro considerando el sismo más destructivo que pueda ocurrir en el sitio de estudio, tomando en cuenta el historial sísmico local [19].

El proceso de cálculo se lo realiza con los siguientes pasos:

- a) Identificación de todas las fuentes sísmicas que influirán en el área de estudio.
- b) Seleccionamos el sismo de mayor magnitud ocurrido en el área de estudio.
- c) Determinamos la menor distancia entre la fuente sísmica y el lugar de estudio, la misma que puede ser epicentral o hipocentral dependiendo de la ley de atenuación que se utilizara.
- d) Determinación de la peligrosidad, el movimiento sísmico en el área de estudio por la fuente sísmica predominante en donde se originará un sismo de magnitud alta, para lo cual se utilizará las Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo con sus siglas en inglés GMPE`s (Ground Motion Prediction Equations) validadas por el Global Earthquake Model (GEM) [20].

Peligro sísmico probabilístico

Cuantifica el peligro tomando en cuenta todos los posibles sismos que puedan ocurrir en el lugar, asociados a un valor de probabilidad [19].

Zonificación sísmica en Ecuador

Todo el ecuatoriano está catalogado como un territorio de amenaza sísmica alta, ya que se encuentra ubicado en una zona de alto peligro sísmico, con excepción del Nororiente que presenta una amenaza sísmica intermedia y el Litoral Ecuatoriano que presenta una amenaza sísmica muy alta [21].

Ecuador posee seis zonas sísmicas, el mapa de zonificación sísmica para diseño, el cual proviene de estudios de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno de 475 años) [21].

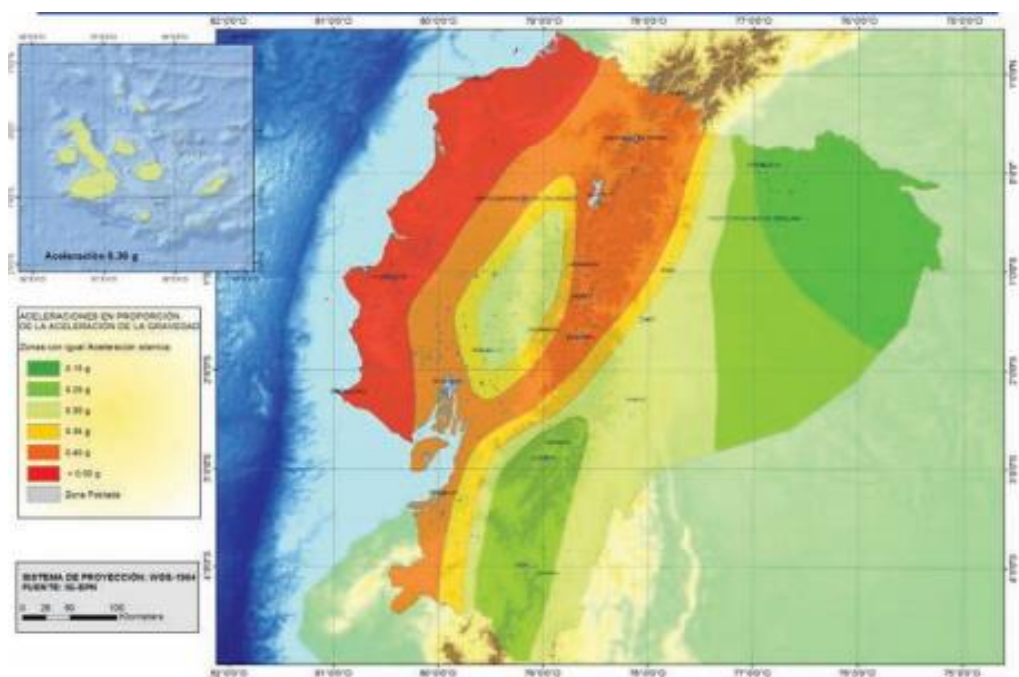


Figura 15. Mapa de Zonificación Sísmica del Ecuador. La figura presenta las seis zonas sísmicas del Ecuador, mismas que son caracterizadas por el factor de zona Z.

Fuente: NEC-SE-DS 2015

El mapa reconoce que en el Ecuador la subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana es la principal fuente de generación de energía sísmica. A este hecho se le añade las fallas locales superficiales que producen sismos importantes en gran parte del territorio ecuatoriano [21].

El estudio de peligro sísmico realizado en el territorio ecuatoriano de manera integral fue realizado en base a las metodologías actuales usadas a nivel mundial y a la disponibilidad de la información a nivel local, incluyendo: [21]

- La evaluación de los principales eventos históricos acompañados de un estudio moderno de re-evaluación de la magnitud y localización de dichos eventos [21].
- El estudio de las principales fuentes sísmicas conocidas (cortical y de subducción) y sus mecanismos focales, que junto con la sismicidad y la neotectónica, permitió modelar la geometría de las fuentes sismogénicas y sus partes sismológicas [21].
- La utilización de ecuaciones de predicción, validadas por el Global Earthquake Model, para las fuentes intraplaca (entre ellas las de Boore y Atkinson, 2008; Akkar y Boomer, 2010; Kanno et. al., 2006; Bindi et. al., 2009) y para las fuentes de subducción (Youngs et. el., 1997; Atkinson y Boore, 2003; Kanno et. al., 2006; McVerry et. al., 2006; Lin y Lee, 2008; Zhao et. al., 2006) [21].

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 [21].

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 [21].

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , expresado como fracción de aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, consistente con: [21]

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

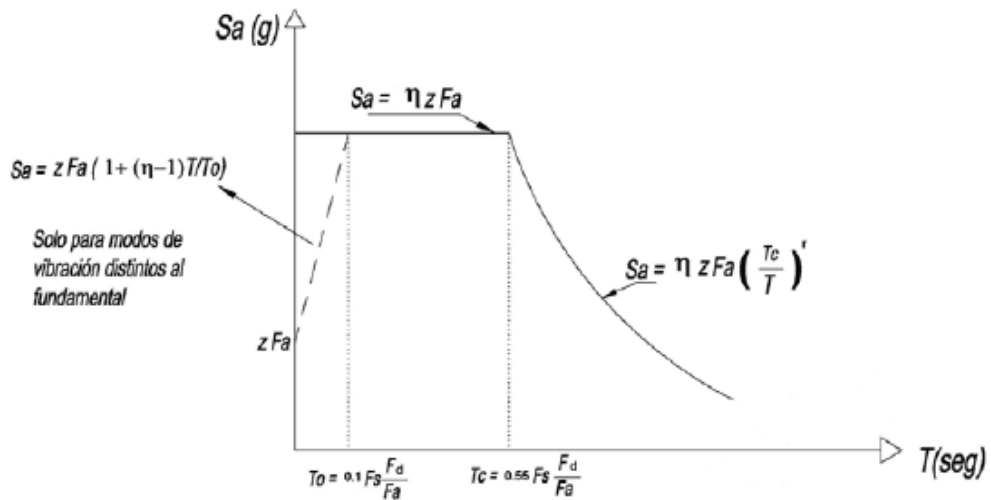


Figura 16. Espectro sísmico elástico de aceleración que representa el sismo de diseño, obtenidos a partir de los valores de aceleración y el período de la estructura.

Fuente: NEC-SE-DS 2015

Periodo 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 [21].

Periodo de vibración fundamental: Es el mayor periodo de vibración de la estructura en la dirección horizontal de interés [21].

PGA (Peak Ground Acceleration): Aceleración sísmica máxima en el terreno [21].

Ensayo para determinar el tipo de perfil de suelo.

Existen diferentes métodos para determinar el tipo de perfil de suelo, dos de ellos son el método de refracción sísmica y el ensayo de penetración estándar SPT, en la investigación para determinar el tipo de perfil de suelo lo haremos mediante el ensayo

de penetración estándar como indica la norma INEN 689, con los resultados obtenidos en el ensayo y mediante la NEC de peligro sísmico determinaremos el tipo de perfil de suelo.

- **Ensayo de penetración estándar SPT**

El método consiste en contar el número de golpes para hincar una determinada longitud el muestreador, mediante un peso determinado que cae de una altura establecida. El ensayo debe hacerse en cada cambio de estrato o con intervalos no mayores de un metro en capas homogéneas [22].

El instrumento a utilizar es el siguiente:

- Equipo de perforación.
- Muestreador o tubo partido: La punta del muestreador debe ser de acero duro y el cabezal de ensamble, debe tener 2 o 4 orificios de ventilación. En la figura 17 se observa las características y dimensiones [22]

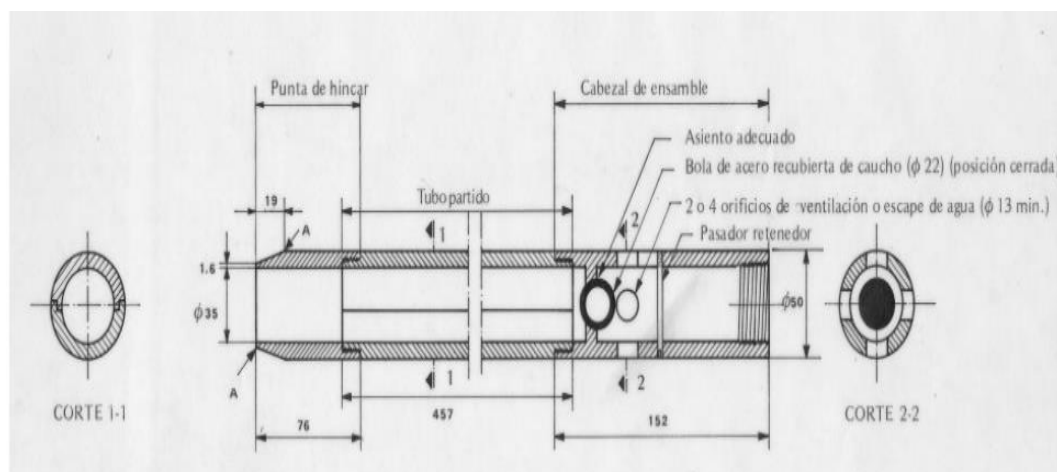


Figura 17. Características del muestreador para realizar el ensayo SPT.

Fuente: INEN 689

- Dispositivo para la aplicación de carga: la carga debe ser aplicada dinámicamente sin perder la energía. El martinete tiene una masa total de 65 Kg, una barra rígida de acero que sirve como guía para la caída del martinete,

un dispositivo para accionar el martinete y barras de conexión de diámetro AW [22].

2.1.5 Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (Ground Motion Prediction Equations) siglas en ingles GMPE's

Atenuación sísmica

Es la disminución de la amplitud de las ondas sísmicas debido a su transmisión por el interior y por la superficie de la tierra. Las leyes de atenuación sísmica se disponen en términos de aceleración máxima (PGA) y de las ordenadas espectrales en términos de aceleración (S_a), mismas que describen la variación de la intensidad del movimiento del terreno, las cuales están en función de la magnitud y distancia epicentral o de la distancia de la fuente sísmica [23].

Magnitud de sismo

Indica el tamaño y la energía liberada por un sismo en forma de onda sísmica. Actualmente la forma más usada para medir el tamaño de los sismos es la escala de Richter [23].

Magnitud de momento

Es la cantidad de energía liberada por un sismo a partir del momento sísmico [23].

Un análisis de peligro sísmico ya sea probabilista como determinista, requiere realizar en una región una evaluación del potencial de sismos futuros. Por lo que es necesario estimar el tamaño de los sismos más grandes que podrían ser generados por una falla en particular o una fuente del sismo. El potencial de sismos futuros de una falla se evalúa a partir de los parámetros estimados de ruptura de falla tales como la longitud y el desplazamiento, los mismos que están relacionados con la magnitud del sismo [24].

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

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

*SRL—surface rupture length (km); RLD—subsurface rupture length (km); RW—down-dip rupture width (km), RA—rupture area (km²).
†SS—strike slip; R—reverse; N—normal.

Fuente: Wells y Coppersmith

Ecuaciones de atenuación GMPE's

Este tipo de ecuaciones permiten estimar los efectos de los terremotos sobre la superficie terrestre, a su vez los GMPEs proporcionan estimaciones pico del movimiento del suelo y respuesta espectrales, mediante la selección de una serie de ecuaciones predeterminadas para la diferentes regiones tectónicas del planeta [25].

En los modelos propuestos generalmente intervienen el tipo de suelo en el emplazamiento, lo que se incluye a través de un factor S que lo identifica de acuerdo a la clasificación que haya obtenido el suelo donde se realiza el análisis, dichos

modelos se relacionan con la magnitud y/o velocidades espectrales los cuales se dan en función de la magnitud y distancia, cada modelo tiene zona fuente de los datos, por lo que es recomendable examinar las características principales de cada modelo para poder extraer los datos necesarios para el posterior cálculo de espectros [25].

Se seleccionaran los siguientes modelos:

Sismos Intraplaca (Fallamiento cortical)

- **Boore y Atkinson (2008)**

$$\ln y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \varepsilon \quad (1)$$

Donde:

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

M : Magnitud de momento

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

V_{S30} : Velocidad media de la onda de cortante (m/s)

- **Akkar y Bommer (2010)**

$$\begin{aligned} \log y = & b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M)\log\sqrt{R^2jb + b^26} + b_7S_S + b_8S_A \\ & + b_9F_N + b_{10}F_R + \varepsilon\sigma \end{aligned} \quad (2)$$

Donde:

b: Coeficientes para la predicción de Pseudoaceleración espectral.

F_N : Mecanismo de Falla normal

F_R : Mecanismo de Falla inversa

M: Magnitud de momento

Rjb: Distancia desde donde se libera la energía hasta el punto de estudio (Km)

S_A : Suelo rígido

S_S : Suelo suave

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

Este modelo usa solo dos parámetros que son la magnitud de momento (M_w) y la distancia a la Fuente (X) y presenta dos ecuaciones una para eventos superficiales y la otra para eventos profundos. Siendo **D** la profundidad Focal.

Eventos superficiales

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

$$\text{Log pre} = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 * 10^{e_1 M_w}) + c_1 + \varepsilon_1 \quad (3)$$

Eventos profundos

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

$$\text{Log pre} = a_2 M_w + b_2 X - \log(X) + c_2 + \varepsilon_2 \quad (4)$$

Donde:

D: Profundidad Focal (Km)

a,b,c,d: Coeficientes de regresión para el modelo de evento de espectros de respuesta de aceleración atenuada de PGA 5%.

Mw: Magnitud de momento

X: Distancia de la fuente (Km)

Sismos de subducción

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

$$\begin{aligned} \ln y = & -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \\ & * \ln(r + 1.097e^{0.617*M}) + 0.00648H + 0.3643Zt \end{aligned}$$

(5)

Donde:

y: Aceleración espectral en g

C: Coeficiente de relación de atenuación.

R: Distancia desde la fuente al sitio (Km)

H: Profundidad Focal (Km)

M: Magnitud de momento

Zt: Tipo de falla, 0 para Interface, 1 para Intraplaca

- **Zhao 2006**

Modelo de predicción del movimiento sísmico, incluye los mecanismos de falla principalmente por subducción; interface o intraplaca y registro de origen cortical en menor medida.

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

(6)

Donde:

M: Magnitud de momento

a,b,e: Coeficientes

x: Distancia a la fuente en (Km)

h: Profundidad focal (Km)

hc: Profundidad Constante (Km)

Ck: Clase de sitio

2.2 HIPÓTESIS

¿El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras del Sector la Pradera, Parroquia Celiano Monge, de la Ciudad de Ambato Provincia Tungurahua?

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las estructuras del Sector la Pradera, Parroquia Celiano Monge, de la Ciudad de Ambato Provincia Tungurahua

2.3.2 Variable Independiente

Peligro sísmico determinista

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación serán de tipo: exploratorio y de laboratorio.

Exploratorio ya que en las estructuras del sector la Pradera no se ha realizado un estudio de peligro sísmico, la metodología es evaluar las estructuras con los espectros de respuesta obtenidos con los sistemas de fallas seleccionados y con el espectro propuesto por la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015, a su vez se realizara una investigación de laboratorio ya que se hará un ensayo de penetración estándar SPT en diferentes puntos del sector mencionado, donde se extraerán muestras que deberán ser analizadas en el laboratorio de Suelos de la Facultad de ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Población:

El Estudio de Peligro Sísmico Determinista de lo realizará para el Sector la Pradera, Parroquia Celiano Monge, de la Ciudad de Ambato Provincia Tungurahua. Para lo cual es necesario conocer las características geotectónicas del suelo y las GMPEs que se va a utilizar en el estudio.

Muestra:

La norma Ecuatoriana de la construcción recomienda hacer como mínimo 3 perforaciones para el estudio de suelo por tratarse de un trabajo experimental, por lo que se determina que en el sector de análisis se realizara 5 perforaciones para el estudio de suelo.

Los GMPEs que se utilizaran en el estudio son:

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

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente

Peligro Sísmico Determinista

Tabla 2. Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Probabilidad que se produzca un movimiento sísmico de cierta importancia en un plazo determinado.	Movimiento sísmico	*Sismo	¿Cuál fue la magnitud del sismo controlador?	Experimental Bibliográfico
	Distancia fuente-sitio	*PGA	¿Cuál es el PGA obtenido?	Experimental Bibliográfico
		*Distancia de Joyner-Boore	¿Cuál es la distancia existente de Joyner Boore?	Experimental Bibliográfico

Fuente: Jennifer Guamán

3.3.2 Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las estructuras del Sector la Pradera, Parroquia Celiano Monje, de la Ciudad de Ambato Provincia Tungurahua

Tabla 3. Operacionalización de la variable dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
La determinación de la amenaza sísmica se fundamenta en una metodología probabilística, que nos permite determinar: el nivel de probabilidad en el cual pueda ocurrir un sismo, en un intervalo de tiempo.	Amenaza Sísmica	*Suelo	- ¿Cómo influye el suelo en la amenaza sísmica?	Experimental Bibliográfico
		*Configuración estructural	- ¿Cuál es la configuración estructural de las edificaciones?	Experimental Bibliográfico

Fuente: Jennifer Guamán

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla 4. Plan de recolección de información

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
1. ¿Para qué?	- Comparar el espectro de diseño obtenido del análisis de peligro sísmico determinístico en el sector la Pradera con el espectro estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
2. ¿De qué personas u objetos?	- Régimen Tectónico, fallas seleccionadas y tipo de suelo en el área de estudio
3. ¿Sobre qué aspectos?	- Influencia del peligro sísmico determinista para las estructuras
4. ¿Quién?	- Jennifer Paulina Guamán Chicaiza
5. ¿Donde?	- Laboratorios de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato -Campo sector la Pradera
6. ¿Como?	-Investigación bibliográfica -Ensayos de laboratorio -Norma NEC-15

Fuente: Jennifer Guamán

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El proceso a seguir para la investigación será el siguiente:

- Identificar el régimen tectónico que tiene el área de estudio
- Seleccionar las fallas geológicas más cercanas al área de estudio, basado en la Neo Tec-Ecuador
- Determinación de la magnitud máxima de momento de las fallas que serán usadas en el análisis, basado en la metodología de Wells-Coppersmith.
- Clasificación del tipo de suelo que tiene el área de estudio mediante el ensayo de penetración estándar SPT basados en la norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Estimar las aceleraciones máximas de acuerdo al régimen tectónico, basados en las Ecuaciones de predicciones de movimiento de suelo GMPEs.
- Comparación del espectro de respuesta obtenida en el estudio con el espectro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1 Régimen Tectónico

El Sector la Pradera se encuentra en la Parroquia Celiano Monje, de la ciudad de Ambato sobre los 2580 msnm y una superficie de 1200 km^2 , misma que se encuentra en la región interandina del Ecuador. La ciudad de Ambato está ubicada en la Provincia de Tungurahua siendo una de las regiones sísmica y volcánica.

Características de la sismicidad en Ecuador

El territorio Ecuatoriano se encuentra ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, considerada como la zona más susceptible a sufrir sismos y actividad volcánica. La zona del Cinturón de Fuego del Pacífico se produce debido a la subducción de dos placas tectónicas, la Placa de Nazca va penetrándose bajo la Placa Sudamericana a una velocidad de 7 cm por año [26].

Existen tres regímenes Tectónicos en Ecuador que son: Cortical, Subducción interplaca y subducción intraplaca [26].

Los sismos de origen volcánico generan magnitudes generalmente bajas entre 1 y 4,5 grados con profundidades superficiales de 1 a 10 Km, mientras que los sismos de origen tectónico generan magnitudes de hasta 9,5 Mw. [26].

Bajo el proceso de subducción se originó el sismo más grande registrado en el país el 31 de enero de 1906 con una magnitud de 8.8, otros sismo relevantes se produjeron el 14 de mayo de 1942, el 19 de enero de 1958 con magnitudes de 7.8, y el 12 de diciembre de 1979 con una magnitud de 8.1 [26].

El 16 de abril del 2016 se produjo un sismo en la zona de subducción con una magnitud de Mw 7.7, mismo que fue registrado en la provincia de Manabí. Produjo notables daños en Pedernales y Muisne [26].

En la provincia de Tungurahua el sismo con más relevante fue registrado el 5 de agosto de 1949 con una magnitud de Mw 6.8, su epicentro fue en Pelileo, producido por una falla al sur del Nido Sísmico de Pisayambo aproximadamente a 20 Km del nororiente de Pelileo [27].

A continuación se presentan los eventos sísmicos que se han sentido con mayor intensidad en la ciudad de Ambato.

Tabla 5. Intensidades sismicas en la ciudad de Ambato

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

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

4.1.2 Selección de Fallas Geológicas

La selección de las fallas para esta investigación se la realizo en base a la distancia fuente-sitio, mismas que deben ser las más cercanas al área de estudio, ya que éstas son las que generan mayor afectación al sitio cuando se genere sismos.

Utilizando la página virtual de la Neo-Tec podemos obtener la información de las fallas activas en el Ecuador, donde obtendremos las fallas para nuestro estudio.

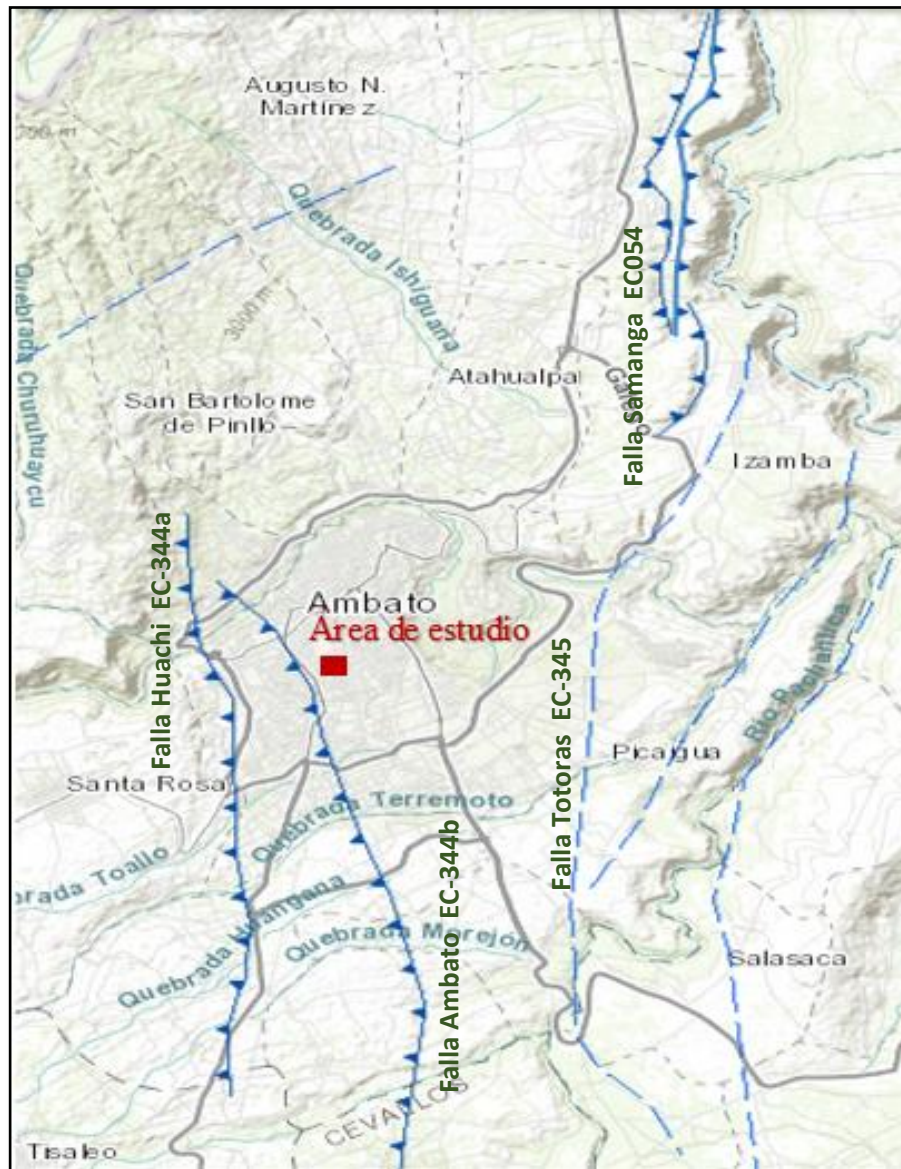


Figura 18. Fallas Geológicas cercanas al área de estudio. En la figura se muestra las Falla Geológica Corticales existentes en Ambato y las cercanas al área de estudio como son: Falla de Huachi EC-344a, Falla de Ambato EC-344b, Falla de Totoras EC-345 y la falla de Samanga EC054.

Fuente: NeoTec- Ecuador

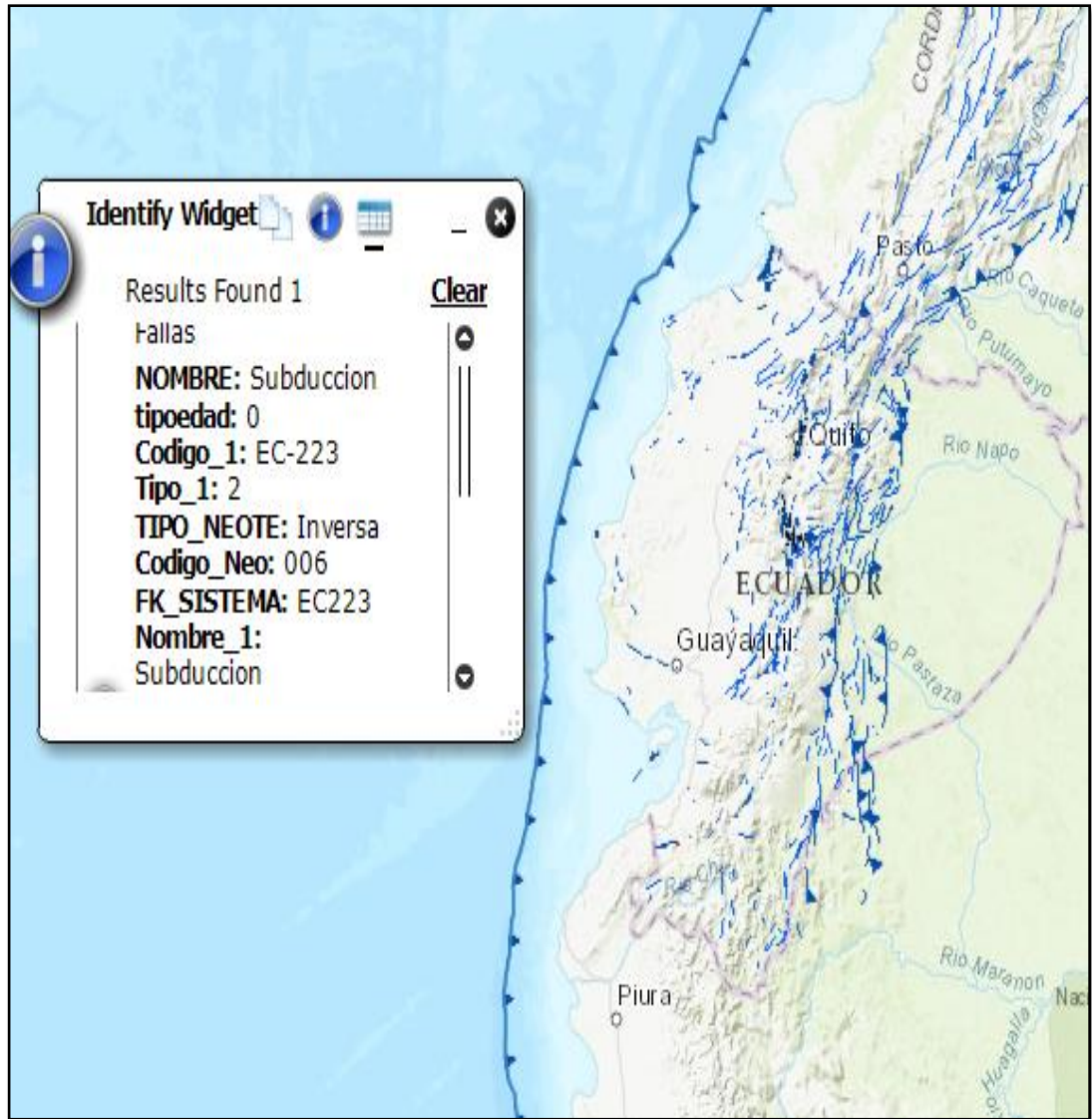


Figura 19. Falla geológica de subducción Ecuador. En la figura se muestra las Falla Geológica existentes en el Ecuador, como son las Fallas Corticales y de Subducción.

Fuente: NeoTec- Ecuador

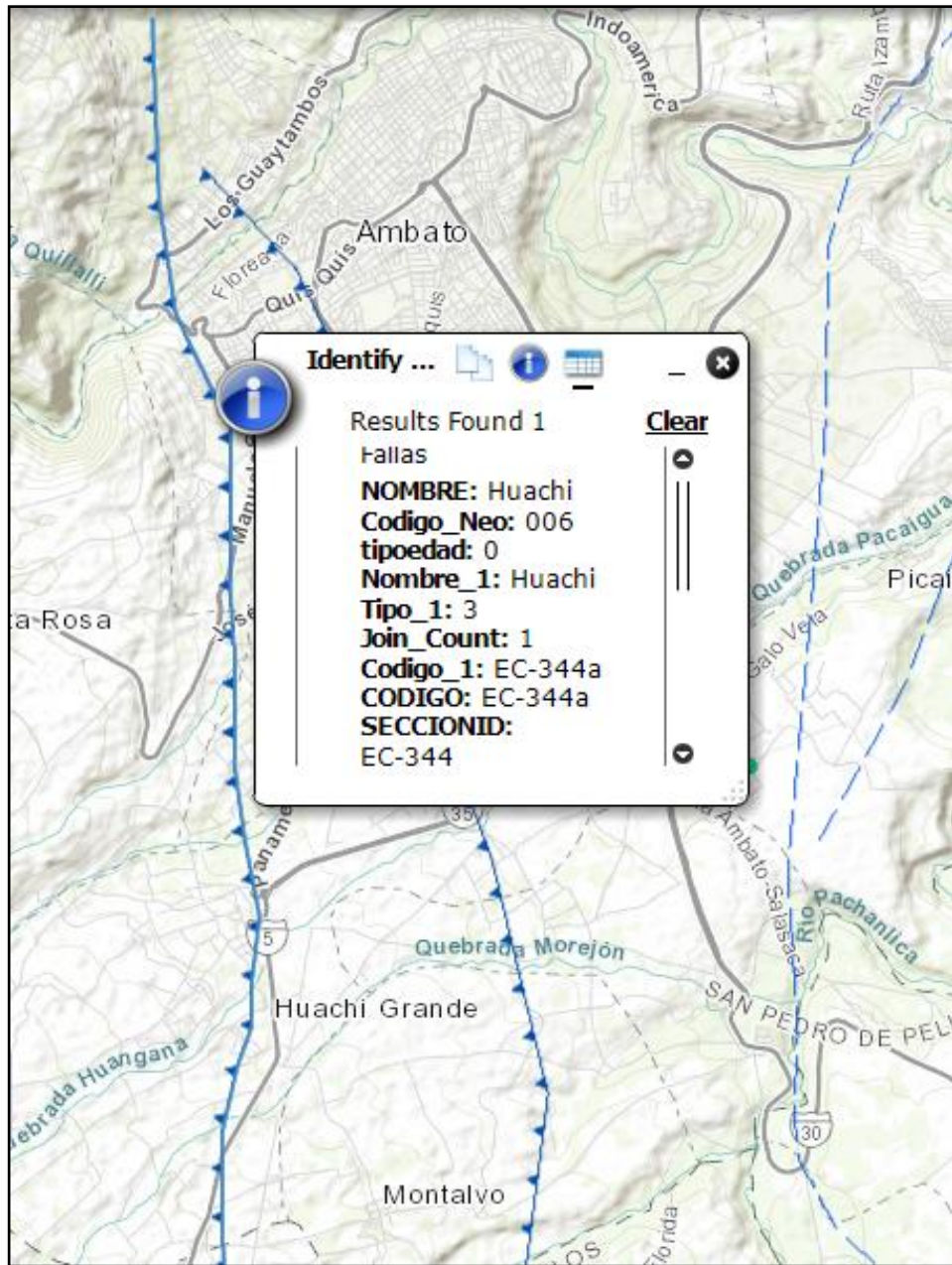


Figura 20. Falla Geológica Huachi cercana al área de estudio. Se observa la falla de Huachi con el código EC-344a de acuerdo a la NeoTec esta falla tiene una longitud de 12,08 Km.

Fuente: NeoTec- Ecuador

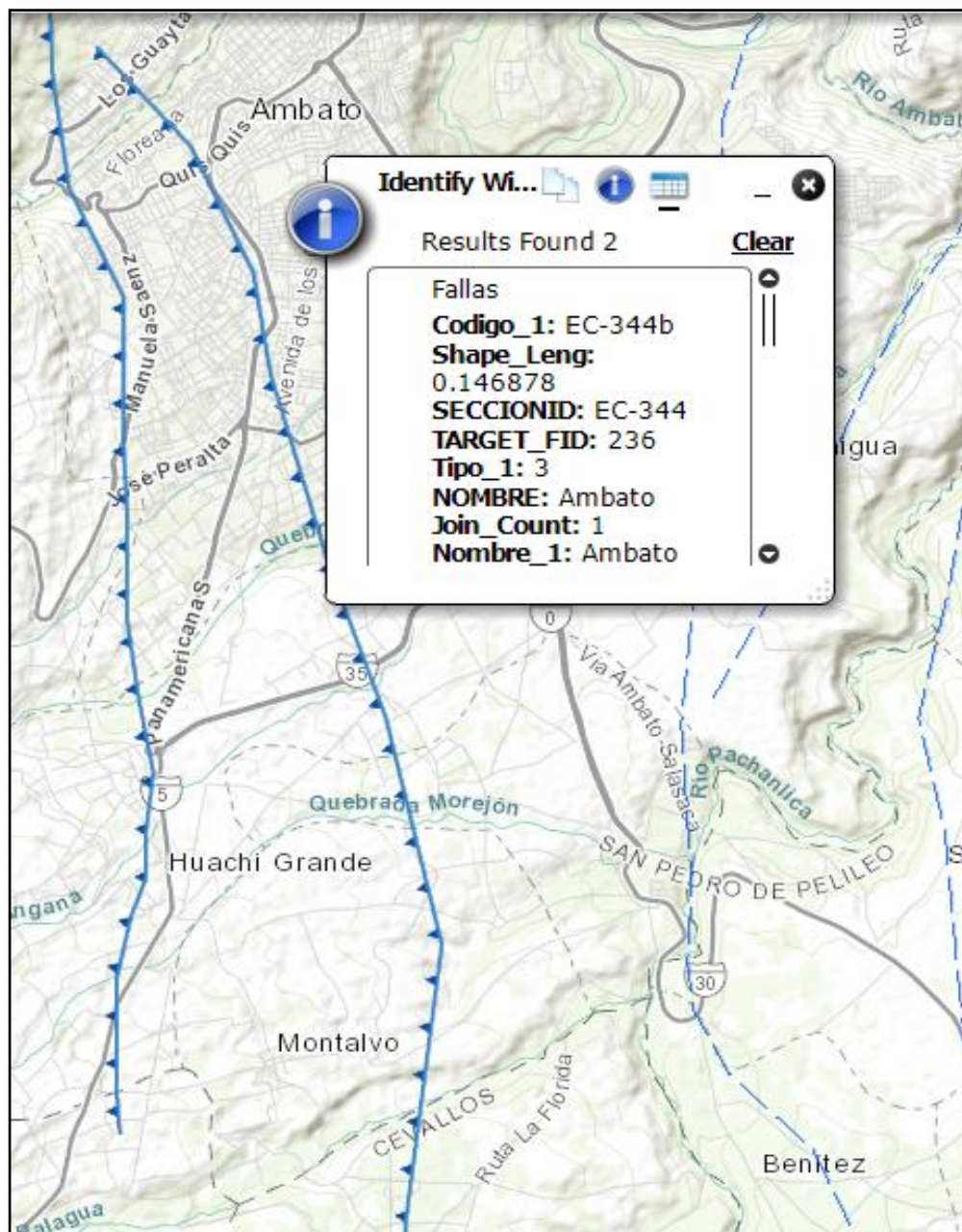


Figura 21. Falla Geológica Ambato cerca del área de estudio. La figura muestra la falla de Ambato con el código EC-344b de acuerdo a la NeoTec esta falla tiene una longitud de 16,35 Km.

Fuente: NeoTec- Ecuador

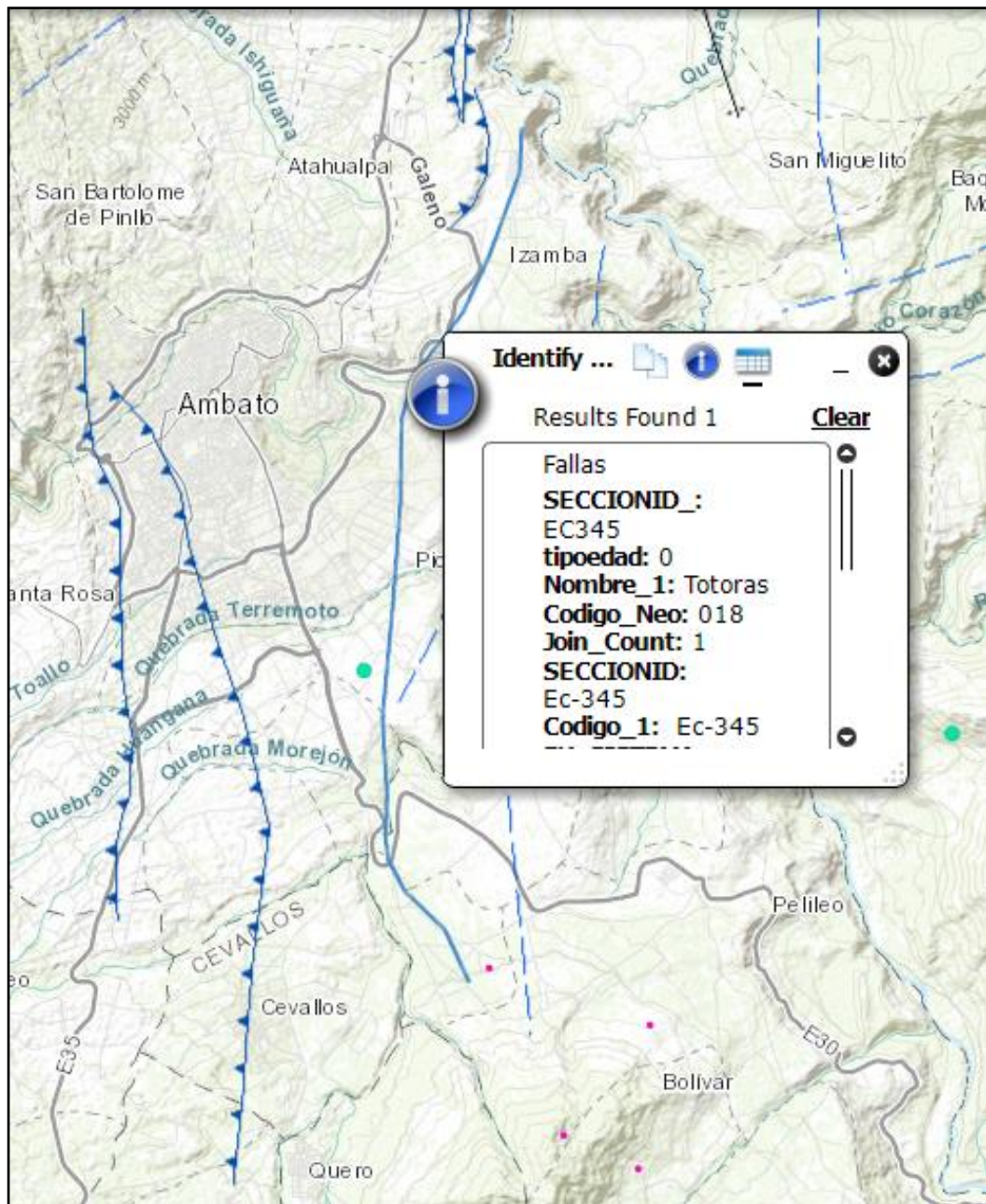


Figura 22. Falla Geológica Totoras. Se presenta la falla de Totoras con el código EC-345 de acuerdo a la NeoTec esta falla tiene una longitud de 17,50 Km.

Fuente: NeoTec- Ecuador

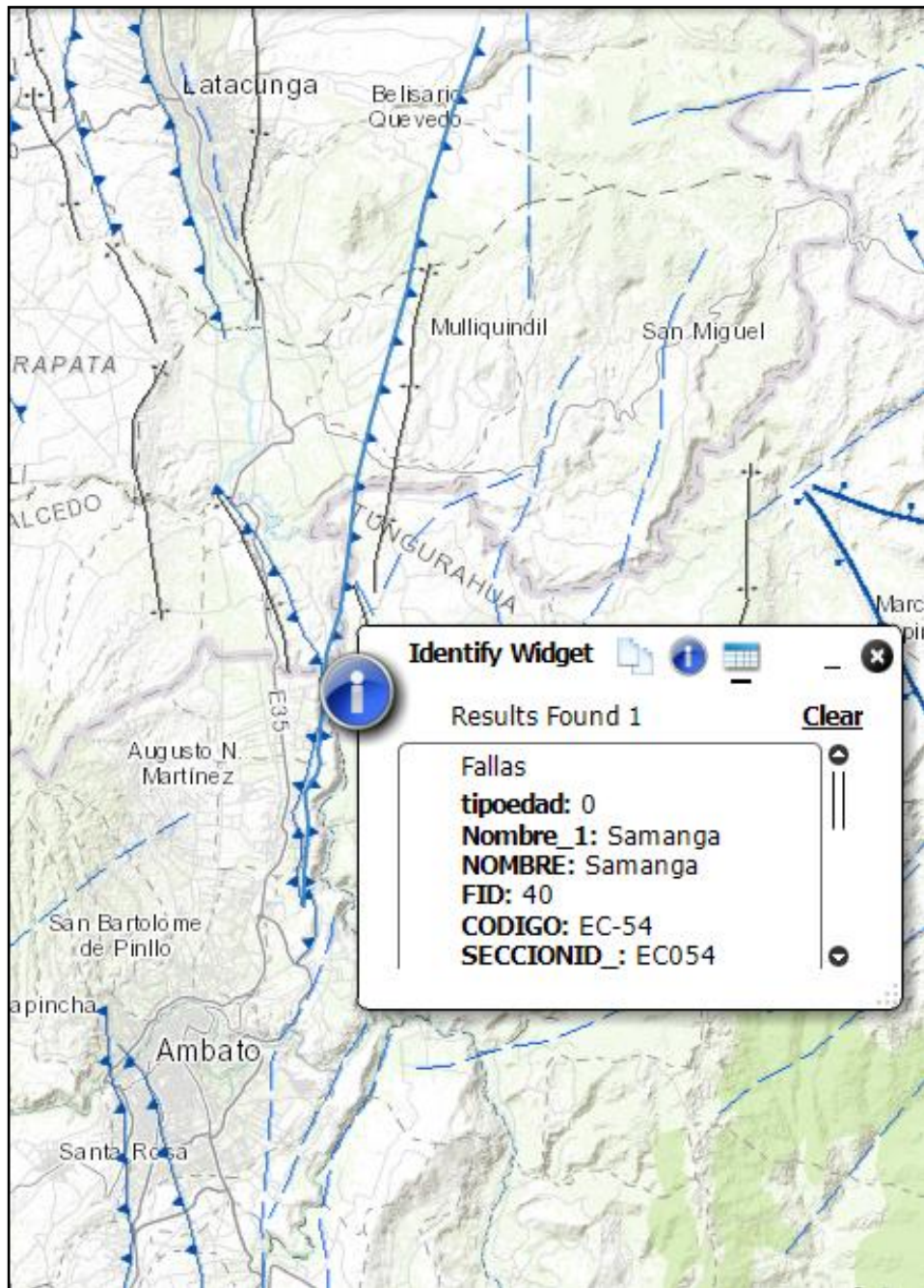


Figura 23. Falla Geológica Samanga. Se observa la falla de Samanga con el código EC054 de acuerdo a la NeoTec esta falla tiene una longitud de 33 Km.

Fuente: NeoTec- Ecuador

Para la distancia que existe entre la falla al sitio de estudio se procede a determinar un punto medio en el área de estudio, con la utilización del programa Google Earth se mide una distancia perpendicular de cada una de las fallas geológicas seleccionadas hacia el punto medio (Rjb distancia de Joyner y Boore).

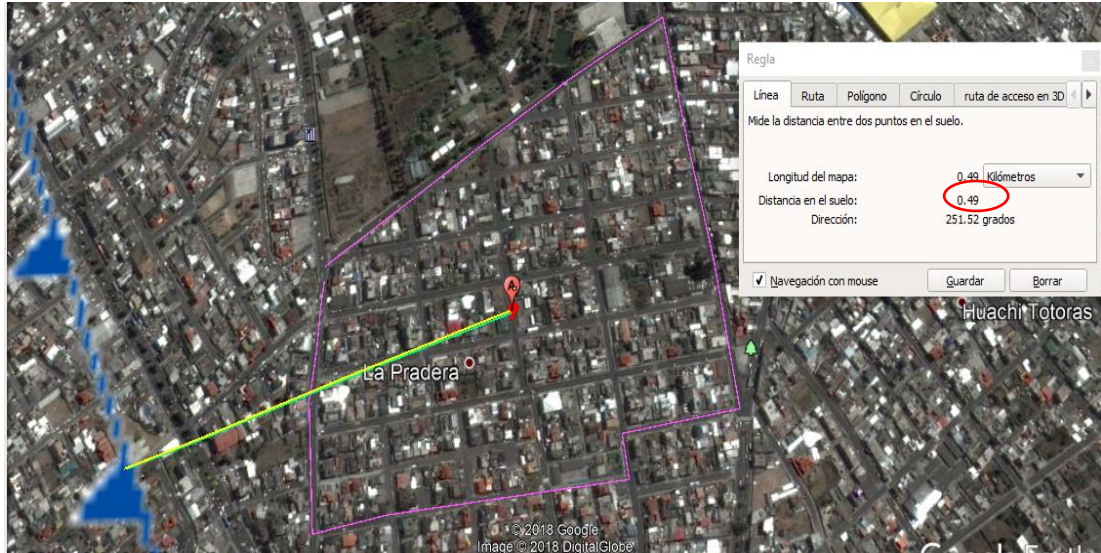


Figura 24. Distancia perpendicular más cercana a la falla Rjb

Fuente: Google Earth

En la tabla 6 se especifica el código, nombre de las fallas seleccionadas para esta investigación con su respectiva longitud y distancia desde el punto medio del sitio de estudio a cada falla geológica.

Tabla 6. Fallas Geológicas con su longitud y distancia al punto de estudio.

CODIGO	NOMBRE	TIPO	LONGITUD (Km)	DISTANCIA (Km)
EC-223	Placa de Nazca	Inversa/Subducción	1540,91	294
EC-344a	Huachi	Inversa ciega	12,08	1,67
EC-344b	Ambato	Inversa ciega	16,35	0,49
EC-345	Totoras	Transcurrente inversa ciega	17,50	4,00
EC-54	Samanga	Inversa ciega	33,00	6,75

Fuente: NeoTec-Ecuador

4.1.3 Características del suelo

Mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) determinaremos el tipo de suelo partiendo del ensayo de granulometría que se realizó a las muestras extraídas de suelo mediante el ensayo SPT.

En la tabla 7 se presenta la clasificación de los suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Tabla 7. Clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Tipo	Sub-Tipos	Identificación	Símbolo de Grupo	
Suelos (partículas menores de 7,5 cm)	SUELOS GRUESOS Más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 (0,075 mm).	GRAVA Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla N°4	GRAVA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas) Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (C_u) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (C_c) entre 1 y 3 ⁽¹⁾ . Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GW
			GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas) Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo. Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GP
			GRAVA ARCILLOSA (Cantidad apreciable de partículas finas) Grava arcillosa; mezclas de grava, arena y arcilla. Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	GC
			ARENA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas) Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (C_u) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (C_c) entre 1 y 3 ⁽¹⁾ . Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SW
			ARENA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas) Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo. Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SP
			ARENA ARCILLOSA (Cantidad apreciable de partículas finas) Arena arcillosa; mezclas de arena, grava y arcilla. Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	SC
	SUELOS FINOS Más de la mitad del material pasa la malla N°200 (0,075 mm)	LIMO Y ARCILLA Límite líquido	Menor de 50% Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	ML
			Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CL
			Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona 1 de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OL
			Mayor de 50% Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	MH
			Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CH
			Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la Carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OH
ALTAMENTE ORGANICOS		Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	P ₁	

Fuente: SUCS

En las siguientes tablas se presenta la granulometría de cada pozo donde se realizó el ensayo SPT y extrajo las muestras de suelo, posteriormente se describe la clasificación del suelo de acuerdo a la SUCS.

Tabla 8. Granulometría y clasificación del suelo – Pozo 1

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA
NIVEL -1,00 m			
4	0,6	1,03	98,97
200	36,2	62,41	37,59
Fuente	21,2	36,55	
TOTAL	58	100,00	
NIVEL -2,00 m			
4	1,3	0,27	99,73
200	337,4	70,09	29,91
Fuente	142,7	29,64	
TOTAL	481,4	100,00	
NIVEL -3,00 m			
4	1,2	0,26	99,74
200	339,3	72,69	27,31
Fuente	126,3	27,06	
TOTAL	466,8	100,00	
NIVEL -4,00 m			
4	0	0,00	100,00
200	325,6	76,88	23,12
Fuente	97,9	23,12	
TOTAL	423,5	100,00	
NIVEL -5,00 m			
4	0	0,00	100,00
200	298,1	76,40	23,60
Fuente	92,1	23,60	
TOTAL	390,2	100,00	

NIVEL -6,00 m			
4	0	0,00	100,00
200	279,8	73,17	26,83
Fuente	102,6	26,83	
TOTAL	382,4	100,00	

Elaboración: Jennifer Guamán

Con los resultados obtenidos de la granulometría realizada a cada muestra se suelo extraída del pozo 1 y de acuerdo a la SUCS podemos observar y determinar que:

- Más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 por ende es un suelo de grano grueso.
- Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm) por lo tanto es una arena.

Tabla 9. Granulometría y clasificación del suelo - Pozo 2

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA
NIVEL -1,00 m			
4	0	0,00	100,00
200	140,7	69,52	30,48
Fuente	61,7	30,48	
TOTAL	202,4	100,00	
NIVEL -2,00 m			
4	0	0,00	100,00
200	102,8	70,41	29,59
Fuente	43,2	29,59	
TOTAL	146	100,00	

NIVEL -3,00 m			
4	0,3	0,06	99,94
200	342,90	72,57	27,43
Fuente	129,30	27,37	
TOTAL	472,5	100,00	
NIVEL -4,00 m			
4	0,3	0,06	99,94
200	339,9	73,00	27,00
Fuente	125,4	26,93	
TOTAL	465,6	100,00	
NIVEL -5,00 m			
4	0	0,00	100,00
200	246,6	73,35	26,65
Fuente	89,6	26,65	
TOTAL	336,2	100,00	
NIVEL -6,00 m			
4	0	0,00	100,00
200	125,9	63,65	36,35
Fuente	71,9	36,35	
TOTAL	197,8	100,00	

Elaboración: Jennifer Guamán

Con los resultados obtenidos de la granulometría realizada a cada muestra se suelo extraída del pozo 2 y de acuerdo a la SUCS podemos observar y determinar que:

- Más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 por ende es un suelo de grano grueso.
- Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm) por lo tanto es una arena.

Tabla 10. Granulometría y clasificación del suelo - Pozo 3

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA
NIVEL -1,00 m			
4	0	0,00	100,00
200	100,3	78,42	21,58
Fuente	27,6	21,58	
TOTAL	127,9	100,00	
NIVEL -2,00 m			
4	0,5	0,19	99,81
200	183,9	70,03	29,97
Fuente	78,2	29,78	
TOTAL	262,6	100,00	
NIVEL -3,00 m			
4	0	0,00	100,00
200	183,5	67,51	32,49
Fuente	88,3	32,49	
TOTAL	271,8	100,00	
NIVEL -4,00 m			
4	3,5	0,86	99,14
200	288,8	71,05	28,95
Fuente	114,2	28,09	
TOTAL	406,5	100,00	

Elaboración: Jennifer Guamán

De acuerdo a la clasificación SUCS y mediante los resultados obtenidos del ensayo de granulometría a las muestras extraídas de suelo se observa que:

- Más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 por ende es un suelo de grano grueso.
- Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm) por lo tanto es una arena.

Tabla 11. Granulometría y clasificación del suelo- Pozo 4

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA
NIVEL -1,00 m			
4	6,5	2,84	97,16
200	160,3	70,00	30,00
Fuente	62,2	27,16	
TOTAL	229	100,00	
NIVEL -2,00 m			
4	4,5	2,62	97,38
200	120,1	70,03	29,97
Fuente	46,9	27,35	
TOTAL	171,5	100,00	
NIVEL -3,00 m			
4	2,1	0,58	99,42
200	264,1	72,46	27,54
Fuente	98,3	26,97	
TOTAL	364,5	100,00	
NIVEL -4,00 m			
4	0	0,00	100,00
200	75,6	67,92	32,08
Fuente	35,7	32,08	
TOTAL	111,3	100,00	

Elaboración: Jennifer Guamán

Con los resultados obtenidos de la granulometría realizada a cada muestra se suelo extraída del pozo 4 y de acuerdo a la SUCS podemos observas y determinar que:

- Más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 por ende es un suelo de grano grueso.
- Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm) por lo tanto es una arena.

Tabla 12. Granulometría y clasificación del suelo- Pozo 5

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA
NIVEL -1,00 m			
4	0	0,00	100,00
200	164,9	67,44	32,56
Fuente	79,6	32,56	
TOTAL	244,5	100,00	
NIVEL -2,00 m			
4	0	0,00	100,00
200	146,7	65,87	34,13
Fuente	76	34,13	
TOTAL	222,7	100,00	
NIVEL -3,00 m			
4	1,8	0,40	99,60
200	342,5	75,64	24,36
Fuente	108,5	23,96	
TOTAL	452,8	100,00	
NIVEL -4,00 m			
4	1,6	0,65	99,35
200	192,8	78,57	21,43
Fuente	51	20,78	
TOTAL	245,4	100,00	
NIVEL -5,00 m			
4	6,5	2,30	97,70
200	198	70,16	29,84
Fuente	77,7	27,53	
TOTAL	282,2	100,00	
NIVEL -6,00 m			
4	0	0,00	100,00
200	191,8	72,21	27,79
Fuente	73,8	27,79	
TOTAL	265,6	100,00	

Elaboración: Jennifer Guamán

Con los resultados obtenidos de la granulometría realizada a cada muestra se suelo extraída del pozo 5 y de acuerdo a la SUCS podemos observas y determinar que:

- Más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200 por ende es un suelo de grano grueso.
- Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm) por lo tanto es una arena.

4.1.3.1 Ensayo de penetración estándar SPT

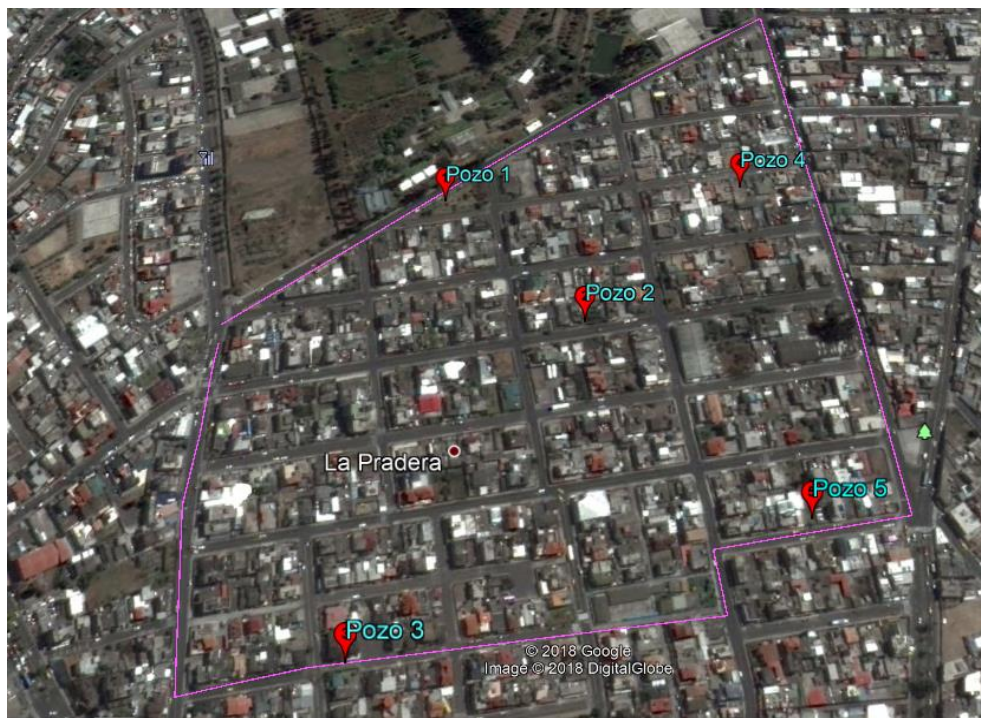
El ensayo de penetración estándar SPT lo realizaremos bajo el procedimiento de la norma INEN 689, que indica lo siguientes pasos a seguir:

- Una vez apoyado el muestreador en el fondo del pozo perforado, se procede a hincarlo mediante golpes del martinete lanzando en caída libre desde una altura de 75 +-5cm sobre la cabeza del golpe [22].
- Debe usarse un cabo de manila o similar para izar el martinete, en caso de ser accionado mecánicamente, el cabo debe enrollarse máximo dos vueltas [22].
- La barra de acero debe estar completamente vertical, con lo que se asegura que la energía de los golpes no disminuya por la fricción que se genera el martinete sobre la barra de acero [22].
- Se penetra 15 cm el muestreador de manera inicial, se procede a contar el número de golpes al penetrar 15 cm en dos intervalos [22].
- Si no se ha penetrado totalmente cada intervalo y el número de golpes ha sobrepasado los 50 golpes, se anotará la longitud de penetración del muestreador y el número de golpes [22].
- Las muestras antes de extraerles a la superficie de ser girada por lo menos dos revoluciones para cortar la muestra, una vez extraída se mide la longitud de la muestra de suelo desechando la parte superior [22].

- La muestra se la cierra herméticamente de acuerdo a la norma INEN 693 para enviarla al laboratorio, dichas muestras deben ser etiquetadas con todos los datos necesarios para los posteriores ensayos requeridos de laboratorio [22].

Para este estudio se realizó 5 perforaciones en el Sector la Pradera, a continuación se presenta los puntos donde se realizó el ensayo SPT y las coordenadas de cada pozo.

Figura 25. Sector la Pradera, Ubicación de las 5 perforaciones realizadas en el área de estudio.



Fuente: Google Earth

Tabla 13. Coordenadas UTM de las perforaciones realizadas en el Sector la Pradera

PERFORACIÓN	ESTE	NORTE
Pozo 1	764044,00 m E	9861065.89 m S
Pozo 2	764154.32 m E	9860952,02 m S
Pozo 3	763985,68 m E	9860695,76 m S
Pozo 4	764282,86 m E	9861071,69 m S
Pozo 5	764311,10 m E	9860789,09 m S

Elaboración: Jennifer Guamán

En los siguientes cuadros se presenta el número de golpes que se obtuvo en el ensayo SPT y la suma del número de golpes de cada metro, para posteriormente proceder a determinar el tipo de perfil de suelo y la velocidad media de la onda de corte.

Tabla 14. Valores del ensayo SPT parcial y total- Pozo 1

Profundidad (cm)	NSPT (parcial)	NSPT (total)
0,55	Limpieza	23
0,70	11	
0,85	12	
1,00	11	
1,55	Limpieza	74
1,70	29	
1,85	34	
2,00	40	
2,55	Limpieza	35
2,70	17	
2,85	17	
3,00	18	
3,55	Limpieza	41
3,70	20	
3,85	22	
4,00	19	
4,55	Limpieza	47
4,70	17	
4,85	20	
5,00	27	
5,55	Limpieza	82
5,70	39	
5,85	40	
6,00	42	

Elaboración: Jennifer Guamán

Tabla 15. Valores del ensayo SPT parcial y total- Pozo 2

Profundidad (cm)	NSPT (parcial)	NSPT (total)
0,55	Limpieza	32
0,70	9	
0,85	11	
1,00	21	
1,55	Limpieza	34
1,70	13	
1,85	15	
2,00	19	
2,55	Limpieza	61
2,70	27	
2,85	30	
3,00	31	
3,55	Limpieza	47
3,70	26	
3,85	23	
4,00	24	
4,55	Limpieza	45
4,70	19	
4,85	21	
5,00	24	
5,55	Limpieza	80
5,70	29	
5,85	30	
6,00	50	

Elaboración: Jennifer Guamán

Tabla 16. Valores del ensayo SPT parcial y total- Pozo 3

Profundidad (cm)	NSPT (parcial)	NSPT (total)
0,55	Limpieza	12
0,70	4	
0,85	6	
1,00	6	
1,55	Limpieza	28
1,70	14	
1,85	13	
2,00	15	
2,55	Limpieza	36
2,70	20	
2,85	19	
3,00	17	
3,55	Limpieza	80
3,70	30	
3,85	40	
4,00	40	

Elaboración: Jennifer Guamán

Tabla 17. Valores del ensayo SPT parcial y total- Pozo 4

Profundidad (cm)	NSPT (parcial)	NSPT (total)
0,55	Limpieza	12
0,70	4	
0,85	6	
1,00	6	
1,55	Limpieza	22
1,70	10	
1,85	10	
2,00	12	
2,55	Limpieza	66
2,70	25	
2,85	29	
3,00	37	
3,55	Limpieza	80
3,70	39	
3,85	40	
4,00	40	

Elaboración: Jennifer Guamán

Tabla 18. Valores del ensayo SPT parcial y total- Pozo 5

Profundidad (cm)	NSPT (parcial)	NSPT (total)
0,55	Limpieza	38
0,70	8	
0,85	15	
1,00	23	
1,55	Limpieza	32
1,70	11	
1,85	15	
2,00	17	
2,55	Limpieza	42
2,70	23	
2,85	21	
3,00	21	
3,55	Limpieza	29
3,70	15	
3,85	14	
4,00	15	
4,55	Limpieza	40
4,70	17	
4,85	21	
5,00	19	
5,55	Limpieza	80
5,70	30	
5,85	37	
6,00	43	

Elaboración: Jennifer Guamán

4.1.3.2 Velocidad media de la onda de corte V_{S30}

Para poder determinar la velocidad de la onda de corte en los suelos se puede realizar de diferentes formas, para este estudio se utilizará ecuaciones empíricas partiendo del ensayo SPT y de esa manera obtener los valores de V_{S30} para el área de estudio.

La norma NEC 2015 establece 6 tipos de perfil de Suelo con su respectiva velocidad media de la onda de corte, los valores se pueden observar en la Tabla 19.

Tabla 19. Clasificación de los Perfiles de Suelo

Tipo de Perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $V_s \geq 760$ m/s
C	Perfil de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de corte, o	760 m/s > $V_s \geq 360$ m/s
	Perfil de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios.	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa
D	Perfil de suelos rígidos que cumplen con el criterio de la velocidad de la onda de corte, o	360 m/s > $V_s \geq 180$ m/s
	Perfil de suelos rígidos que cumplan con cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 KPa > $S_u \geq 50$ KPa
E	Perfil que cumpla el criterio de la velocidad de la onda de corte, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 metros de arcillas blandas.	$IP > 20$ $W \geq 40\%$ $S_u < 50$ KPa
F	Los perfiles de los suelos tipo F requieren una evolución realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista, Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1- Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2- Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3- Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7,5 m con índice de Plasticidad IP >75).	
	F4- Perfiles de gran espesor de arcilla de rigidez mediana a blanda (H>30 m).	
	F5- Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil del subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de onda de corte.	
F6- Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Fuente: NEC-SE-DS-2015

Un estudio realizado por Pérez, Muñoz, Carbó y Ruíz de las correlaciones empíricas entre la velocidad de propagación de las ondas S (V_S) y otros parámetros geotécnicos para suelos de Madrid donde nos indica que para la establecer la correlación entre la V_S y N_{SPT} mediante la técnica de refracción de microtremores (ReMi) para el área urbana de Madrid se realizó un análisis estadístico con 500 valores de N_{SPT} y las V_S a profundidades ensayadas en los sondeos. Donde obtuvieron una relación empírica para predecir el valor de la V_S de todos los suelos [28].

$$V_S = 62.6 * N_{SPT}^{0.52} \quad (7)$$

A su vez el estudio antes mencionado presenta relaciones empíricas entre V_S y N_{SPT} para cada tipo de suelo con su respectiva ecuación para determinar la V_{s30} , por lo que para esta investigación mediante ensayo de granulometría y la clasificación SUCS se determinó que el tipo de suelo del área de estudio es arena, por lo tanto la ecuación propuesta por este estudio para determinar la V_S del tipo de suelo obtenido (arena) es: [28]

$$V_S = 98,69 * N_{SPT}^{0.321} \quad (8)$$

Donde:

N_{SPT} : Numero de golpes del ensayo de Penetración Estándar (SPT)

Con los números de golpes obtenidos del ensayo de Penetración Estándar en cada metro procedemos a determinar la velocidad media de la onda de corte con la respectiva ecuación empírica, para determinar el tipo de perfil de suelo con la ayuda de la tabla 19 obtenida de la NEC 2015 del capítulo de Peligro Sísmico.

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

$$V_s \text{ promedio} = \frac{H}{\frac{h_1}{V_{s1}} + \frac{h_2}{V_{s2}} + \frac{h_3}{V_{s3}} + \frac{h_n}{V_{sn}}}$$

(9)

En las siguientes tablas se presenta los valores de la velocidad media de la onda de corte (V_{s30}) y el tipo de perfil de suelo de cada metro, y determinar la V_{s30} de cada pozo.

Tabla 20. Valores de la Velocidad de la onda de corte (V_{s30}) y su respectivo tipo de perfil - Pozo 1

Profundidad (cm)	NSPT (total)	V_{s30} (m/s)	Tipo de perfil	V_{s30} promedio (m/s)
0,55	23	Nivel mínimo de cimentación		
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	74	392,91	C	350,51
1,70				
1,85				
2,00				
2,55	35	308,97	D	
2,70				
2,85				
3,00				

3,55	41	325,07	D	
3,70				
3,85				
4,00				
4,55	47	339,64	D	
4,70				
4,85				
5,00				
5,55	82	406,08	C	
5,70				
5,85				
6,00				

Elaboración: Jennifer Guamán

Tabla 21. Valores de la Velocidad de la onda de corte (Vs30) y su respectivo tipo de perfil - Pozo 2

Profundidad (cm)	NSPT (total)	Vs30 (m/s)	Tipo de perfil	Vs30 promedio (m/s)
0,55	32	Nivel mínimo de cimentación		
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	34	306,11	D	347,54
1,70				
1,85				
2,00				

2,55	61	369,29	C	
2,70				
2,85				
3,00				
3,55	47	339,64	D	
3,70				
3,85				
4,00				
4,55	45	334,93	D	
4,70				
4,85				
5,00				
5,55	80	402,87	C	
5,70				
5,85				
6,00				

Elaboración: Jennifer Guamán

Tabla 22. Valores de la Velocidad de la onda de corte (Vs30) y su respectivo tipo de perfil - Pozo 3

Profundidad (cm)	NSPT (total)	Vs30 (m/s)	Tipo de perfil	Vs30 promedio (m/s)
0,55	12	Nivel mínimo de cimentación		
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	28	287,61	D	327,28
1,70				
1,85				
2,00				

2,55	36	311,78	D	
2,70				
2,85				
3,00				
3,55	80	402,87	C	
3,70				
3,85				
4,00				

Elaboración: Jennifer Guamán

Tabla 23. Valores de la Velocidad de la onda de corte (Vs30) y su respectivo tipo de perfil - Pozo 4

Profundidad (cm)	NSPT (total)	Vs30 (m/s)	Tipo de perfil	Vs30 promedio (m/s)
0,55	12	Nivel mínimo de cimentación		
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	22	266,19	D	337,87
1,70				
1,85				
2,00				
2,55	66	378,74	C	
2,70				
2,85				
3,00				
3,55	80	402,87	C	
3,70				
3,85				
4,00				

Elaboración: Jennifer Guamán

Tabla 24. Valores de la Velocidad de la onda de corte (Vs30) y su respectivo tipo de perfil - Pozo 5

Profundidad (cm)	NSPT (total)	Vs30 (m/s)	Tipo de perfil	Vs30 promedio (m/s)
0,55	38	Nivel mínimo de cimentación		
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	32	300,21	D	324,58
1,70				
1,85				
2,00				
2,55	42	327,59	D	
2,70				
2,85				
3,00				
3,55	29	290,87	D	
3,70				
3,85				
4,00				
4,55	40	322,5	D	
4,70				
4,85				
5,00				
5,55	80	402,87	C	
5,70				
5,85				
6,00				

Elaboración: Jennifer Guamán

La tabla 25 indica los valores obtenidos de Vs30 para cada pozo mediante la ecuación empírica y la Vs30 promedio para el área de estudio.

Tabla 25. Valores de la velocidad de la onda de corte Vs30 para el Área de estudio

TABLA RESUMEN			
Pozo	Tipo de Perfil	Vs30 (m/s)	Vs30 promedio (m/s)
1	D	350,51	337,56
2	D	347,54	
3	D	327,28	
4	D	337,87	
5	D	324,58	

Elaborado: Jennifer Guamán

La tipología de los suelos se lo realiza en función de la tabla 19, en las tablas presentadas anteriormente se puede observar que de acuerdo al Nspt y a la Vs30 calculada con la formula empírica propuesta para este estudio existen dos tipos de perfil de suelo C y D, esto se debe a la estratigrafía existente en el suelo, también se observa que el suelo tipo D es el que predomina en el área de estudio, a su vez con los resultados obtenidos de la Vs30 en cada pozo se puede establecer que el perfil de suelo es tipo D.

La Vs30 promedio final obtenida para el área de estudio **Vs30=337,56 m/s** entra en el rango de $360 \text{ m/s} > Vs \geq 180 \text{ m/s}$ lo que indica que el tipo de perfil existente en el sitio es un suelo tipo D, es decir que existe un perfil de suelo rígido.

4.1.4 Magnitud de las fallas

La magnitud de momento M_w para las fallas seleccionadas se calculará de acuerdo a la ecuación establecida por Wells y Coppersmith.

$$M = a + b * \log(SRL) \quad (31)$$

Donde:

a, b: Coeficientes

SRL: Longitud de ruptura superficial (Km)

La longitud de las que se usara en la ecuación se tomara de la tabla 6.

- Falla Placa de Nazca

$$M_w = 5.00 + 1.22 * \log(1540.91)$$

$$M_w = 8.9$$

- Falla Huachi

$$M_w = 5.00 + 1.22 * \log(12.08)$$

$$M_w = 6.3$$

- Falla Ambato

$$M_w = 5.00 + 1,22 * \log(16.35)$$

$$M_w = 6,5$$

- Falla Totoras

$$M_w = 5.00 + 1,22 * \log(17.50)$$

$$M_w = 6,5$$

- Falla Samanga

$$M_w = 5.00 + 1,22 * \log(33.00)$$

$$M_w = 6,9$$

En la tabla 26 se presenta la longitud, distancia y magnitud de las distintas fallas seleccionadas.

Tabla 26. Magnitud de momento (M_w) calculadas

CODIGO	FALLA	TIPO	LONGITUD (Km)	DISTANCIA (Km)	MAGNITUD (Mw)
EC-223	Placa de Nazca	Subducción	1540,91	294	8.9
EC-344a	Huachi	Inversa ciega	12,08	1.67	6.3
EC-344b	Ambato	Inversa ciega	16,35	0.49	6.5
EC-345	Totoras	Transcurrente inversa ciega	17,50	4	6.5
EC-54	Samanga	Inversa ciega	33,00	6,75	6,9

Fuente: Jennifer Guamán

4.1.5 Ecuaciones de atenuación para sismos intraplaca cortical

Las fallas corticales son todas aquellas que generan sismo dentro de los primeros 30 Km de la corteza, debido a deformaciones generadas principalmente por la convergencia entre las placas y por esfuerzos locales. [29]

La profundidad focal que se usará en las ecuaciones de atenuación para sismos corticales intraplaca superficiales será igual a 30 Km.

4.1.5.1 Modelo de Boore y Atkinson (2008)

Las variables que predominan en este método son la magnitud de momento (M_w), la distancia que existe desde el punto de estudio hasta la falla seleccionada (R_{JB}) y la velocidad media de la onda de corte V_{S30} [30].

Limitación del modelo

Las ecuaciones son aplicables para: [30]

$$M = 5 - 8$$

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

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

La ecuación para predecir los movimientos de suelo es: [30]

$$\ln y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \varepsilon \quad (1)$$

La función de la distancia viene dado por:

$$F_D(R_{JB}, M) = [c_1 + c_2(M - M_{ref})] \ln(R/R_{ref}) + c_3(R - R_{ref}) \quad (10)$$

Donde:

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2} \quad (11)$$

c_1, c_2, c_3 y h son coeficientes que se determinaran en el análisis, $M_{ref} = 4,5$ y $R_{ref} = 1,0 \text{ km}$ [30].

La escala de magnitud viene dado por:

a) $M \leq M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_5(M - M_h) + e_6(M - M_h)^2 \quad (12)$$

b) $M > M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_7(M - M_h) \quad (13)$$

Donde U, SS, NS y RS son variables ficticias que se usan para señalar el tipo de falla no especificada ya sean estas falla normal, falla inversa, M_h para la forma de la escala de la magnitud, es un coeficiente que se establece durante el análisis [30].

Categorías:

- Transcurrente:

$$4.3 \leq M \leq 7.9$$

$$SS = 1; U = 0; NS = 0; RS = 0$$

- Inversa:

$$5.6 \leq M \leq 7.6$$

$$SS = 0; U = 0; NS = 0; RS = 1$$

- Normal:

$$5.3 \leq M \leq 6.9$$

$$SS = 0; U = 0; NS = 1; RS = 0$$

La ecuación de amplificación del sitio está dada por:

$$F_S = F_{LIN} + F_{NL} \quad (14)$$

Donde F_{LIN} y F_{NL} son los términos lineales y no lineales respectivamente [30].

El término lineal está dado por la siguiente ecuación:

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln(V_{S30}/V_{ref}) \quad (15)$$

Donde b_{lin} es un coeficiente dependiendo del periodo y V_{ref} es la velocidad de referencia especificada (= 760 m/s). Estos coeficientes fueron prescritos basados en el trabajo de Choi y Stewart 2005 [30].

El término no lineal está dado por:

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

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{low}/0.1) \quad (16)$$

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

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{low}/0.1) + c [\ln(pga_{4nl}/a_1)]^2 + d [\ln(pga_{4nl}/a_1)]^3 \quad (17)$$

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

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{4nl}/0.1) \quad (18)$$

Donde a_1 (=0.03 g) y a_2 (=0.09 g) se les asigna los niveles de amplificación para lineal y no lineal, respectivamente, pga_low (=0.06 g) es una variable asignada a la transición entre comportamientos lineales y no lineales, $pga4nl$ es la predicción de PGA en g para $V_{ref}= 760$ m/s, dada por la ecuación principal con $F_s=0$ y $\varepsilon= 0$ [30].

Los coeficientes para la ecuación del término no lineal literal b viene dado por: [30]

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

$$d = (2\Delta y - b_{nl}\Delta x)/\Delta x^3 \quad (20)$$

$$\Delta x = \ln(a_2/a_1) \quad (21)$$

$$\Delta y = b_{nl} * \ln(a_2/pga_low) \quad (22)$$

La pendiente no lineal b_{nl} es una función de ambos periodos y V_{S30} está dada por: [30]

a) $V_{S30} \leq V_1$

$$b_{nl} = b_1 \quad (23)$$

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

$$b_{nl} = (b_1 - b_2)\ln(V_{S30}/V_2)/\ln(V_1/V_2) + b_2 \quad (24)$$

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

$$b_{nl} = b_2 \ln(V_{S30}/V_{ref}) / \ln(V_2/V_{ref}) \quad (25)$$

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

$$b_{nl} = 0.0 \quad (26)$$

Donde $V_1 = 180$ m/s, $V_2 = 300$ m/s, y b_1 , b_2 son coeficientes [30].

Los datos que se usara del modelo para el presente estudio son los siguientes:

Tabla 27 Valores a usar en este estudio – modelo Boore y Atkinson

Vs30 (m/s)	337,56		D (Km):	30			
Falla	Magnitud de momento Mw		Distancia R_{JB}				
Huachi	6,3		1,67				
Ambato	6,3		0,49				
Totoras	6,5		4,00				
Samanga	6,9		6,75				
Variables Ficticias (Inversa)							
U:	0	SS:	0	NS :	0	RS:	1
Coeficientes							
a1:	0,03 g		a2:	0,09 g			
pga_low:	0,06 g		V1:	180 m/s			
V2:	300 m/s		Vref:	760 m/s			
Mref:	4,5		Rref:	1 Km			
c1, c2,c3,h	Anexo B-2		blin, b1, b2	Anexo B-1			
e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, Mh			Anexo B-3				

Elaborado: Jennifer Guamán

4.1.5.2 Modelo Akkar y Bommer (2010)

Está basado en Akkar y Bommer (2007a), excepto que ahora obtenemos ecuaciones para la predicción de la aceleración pseudoespectral, PSA, DEL 5%, en cm/s^2 [31].

$$\begin{aligned} \log(PSA) = & b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M) \log \sqrt{R_{jb}^2 + b_6^2} + b_7S_S + b_8S_A \\ & + b_9F_N + b_{10}F_R + \varepsilon\sigma \end{aligned} \quad (2)$$

Categorías de sitio:

- Suelo blando:

$$SS = 1; SA = 0; V_{S30} < 360 \text{ m/s}$$

- Suelo rígido:

$$SS = 0; SA = 1; V_{S30} < 750 \text{ m/s}$$

- Roca

$$SS = 0; SA = 0; V_{S30} > 750 \text{ m/s}$$

Categorías del mecanismo de falla: [31]

- Falla normal

$$FN = 1; FR = 0$$

- Falla inversa

$$FN = 0; FR = 1$$

- Falla transcurrente

$$FN = 0; FR = 0$$

La variabilidad se descompone en un componente inter-evento σ_2 y un intra-evento σ_1 , por lo que la desviación estándar total σ , está dada por: [31]

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (27)$$

La ecuación debe ser aplicable para distancias de hasta 100 km y para Magnitudes (M) entre 5.0 y 7.6 [31].

Tabla 28. Valores a usar en este estudio – modelo Akkar y Bommer

Vs30 (m/s)	337,56	D (Km):	30
Falla	Mw	R_{JB} (Km)	
Huachi	6,3	1,67	
Ambato	6,3	0,49	
Totoras	6,5	4,00	
Samanga	6,9	6,75	
Categoría de sitio			
SS:	1	SA:	0
Categorías del mecanismo de falla			
FN:	0	FR:	1
Coefficientes			
e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7 y Mh			Anexo C-1

Elaborado: Jennifer Guamán

4.1.5.3 Modelo de Kanno (2006)

En este modelo solo utilizaremos tres parámetros los mismos que son: magnitud de momento (M_w), profundidad focal (D) y la distancia que existe del sitio a la fuente (X), existe dos ecuaciones, una para acontecimiento superficial y otra para acontecimientos profundos, siendo las siguientes: [32]

Eventos Superficiales

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

$$\text{Log pre} = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 * 10^{e_1 M_w}) + c_1 + \varepsilon_1 \quad (3)$$

Eventos Profundos

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

$$\text{Log pre} = a_2 M_w + b_2 X - \log(X) + c_2 + \varepsilon_2 \quad (4)$$

Donde pre es el PGA (cm/sec^2), D es la profundidad focal (Km) y $a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2$ y c_2 , son coeficientes, el coeficiente $e_1 = 0.5$ estuvo seleccionado para todos los periodos y X es la distancia de Joyner y Boore.[32].

Profundidades focales (D):

- Eventos poco profundos D esta entre 0 Km y 30 Km [32].
- Eventos profundos D esta entre 30 Km y aproximadamente 180 Km [32].

En el caso de terremotos poco profundos, se utiliza un esquema de ponderación adoptada por MIDORIKAWA Y Ohtake (2003), donde considera:

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

Para obtener un término de corrección de sitio continuo, asumimos la siguiente ecuación para los efectos del sitio [32].

$$G = p \log V_{S30} + q \quad (28)$$

Donde G es un término de corrección adicional a los efectos del sitio, p y q son coeficientes. Después de aplicar la corrección adicional correspondiente a los efectos de sitio la ecuación es la siguiente [32].

$$\log pre_G = \log pre + G \quad (29)$$

Tabla 29. Valores a usar en este estudio – Modelo Kanno

Vs30 (m/s)	337,56	D (Km):	30
Falla	Mw	R_{JB} (Km)	
Huachi	6,3	1,67	
Ambato	6,3	0,49	
Totoras	6,5	4,00	
Samanga	6,9	6,75	
Coefficientes			
a1, b1, C1, d1, ϵ 1, p, q		Anexo D-1	

Elaborado: Jennifer Guamán

4.1.6 Ecuaciones de atenuación para subducción

En la zona de subducción se puede distinguir dos tipos de eventos los mismos que son; sismos interplaca y los intraplaca. [33].

Los sismos interplaca son superficiales y tiene un ángulo de empuje menor para eventos que ocurre en la superficie entre la placa de subducción y las placas superiores, mientras los sismos intraplaca ocurren dentro de las placas oceánicas de subducción. [33].

La profundidad focal para los modelos de subducción será de 125 Km, ya que existen eventos registrados donde las profundidades son mayores a 100 Km.

4.1.6.1 Modelo de Youngs (1997)

El método de Youngs para sismos en zonas de subducción considera relaciones espectrales de respuesta horizontal 5% de amortiguamiento; es decir, sismos interplaca o intraplaca [33].

La ecuación será usada para: Magnitudes desde $M_w=5$ y Profundidades focales $10 \leq H \leq 229$ Km [33].

$$\begin{aligned} \ln y = & -0.6687 + 1.438 M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \\ & * \ln(R + 1.097e^{0.617*M}) + 0.00648H + 0.3643Zt \end{aligned} \quad (5)$$

Donde y está en gales.

Categorías de sitio:

- Suelo profundo

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

La profundidad hasta la roca madre es mayor a 20 m.

- Suelo poco profundo

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

La profundidad hasta el lecho rocoso es inferior a 20 m.

El coeficiente Z_t viene dado por [33]:

- Interplaca $Z_t=0$
- Intraplaca $Z_t=1$

Tabla 30. Valores a usar en este estudio – Modelo Youngs

Vs30 (m/s)	337,56	D (Km):	125
Falla	Mw	R_{JB} (Km)	
Placa Nazca	8,9	294	
Categoría de sitio			
Z_{ds} :	1	Z_r :	0
		Z_{ss} :	0
Coeficiente Z_t			
Z_t:	1	Intraplaca	
Coefficientes			
c1, c2, c3, c4*, c5*			Anexo E-1

Elaborado: Jennifer Guamán

4.1.6.2 Modelo de Zhao (2006)

El modelo de movimiento de suelo es:

$$\log_e y = aMw + b \cdot x - \log_e(r) + e(h - hc)\delta_h + FR + SI + Ss + S_{SL} \log_e(x) + Ck \quad (6)$$

Donde y está en cm/s^2 , Mw es la magnitud de momento, x la distancia a la fuente en kilómetros, h distancia focal en kilómetros [34].

$$r = x + c \exp(d * Mw) \quad (30)$$

Siendo una variable ficticia $\delta_h = 0$ cuando $h < h_c$ y $\delta_h = 1$ cuando $h \geq h_c$ [34].

Usar $h_c = 15$ Km Para mejor efecto de profundidad para eventos superficiales [34].

Profundidades focales:

- Eventos corticales

$$h = 0 \text{ y } 25 \text{ Km}$$

- Eventos interplaca

$$h = 10 \text{ y } 50 \text{ Km}$$

- Eventos intraplaca

$$h = 15 \text{ y } 162 \text{ Km}$$

Si $h > 125$ Km use $h = 125$ Km

Para eventos corticales con mecanismos de falla inversa se aplica el parámetro inverso FR y 0 para los demás eventos [34].

Para eventos de interplaca se aplica el parámetro tectónico SI y 0 para los demás eventos [34].

Para eventos de subducción se aplica SS y 0 para los demás eventos [34].

SSL es un término de modificación de trayectoria independiente de la magnitud para los eventos de intraplaca [34].

Ck es el término de clase de sitio para una clase de sitio de entrega [34].

- Roca dura, $V_{S30} > 1100 \text{ m/s}$ use CH
- Roca, $600 < V_{S30} \leq 1100 \text{ m/s}$ use C1.
- Suelo duro $300 < V_{S30} \leq 600 \text{ m/s}$ use C2
- Suelo medio, $200 < V_{S30} \leq 300 \text{ m/s}$ use C3
- Suelo blando, $V_{S30} \leq 200 \text{ m/s}$ use C4

Tabla 31 Valores a usar en este estudio – Modelo Zhao

Vs30 (m/s)	337,56		D (Km):	125	
Falla	Mw		R_{JB} (Km)		
Placa Nazca	8,9		294		
Coefficientes					
<i>hc:</i>	0	δh	1	Suelo	C2
a, b, c, d, e, SR, SI, Ss, SsL				Anexo F-1	
CH, C1, C2, C3, C4, Ck, σ, τ				Anexo F-2	

Elaborado: Jennifer Guamán

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.2.1 Cálculo de espectros

La evaluación del peligro sísmico para una determinada área de estudio es uno de los objetivos de esta investigación lo cual se determinara mediante la obtención de espectros de respuesta asociados a un Sistema de fallas seleccionadas.

Los espectros de aceleración obtenidos con los modelos anteriormente mencionados se comparan con el espectro propuesto por la NEC-2015.

Biot en el año 1932 propuso un espectro de respuesta que posteriormente fue desarrollado por Housner, Newmark y otros investigadores, un espectro de respuesta en el área de diseño sismoresistente es de gran utilidad y una importante herramienta de la dinámica estructural. Además un espectro de respuesta se define como un gráfico de la respuesta máxima (expresada en término de desplazamiento, velocidad, aceleración, o cualquier otro parámetro de interés) que produce en una estructura una acción dinámica determinada [35].

4.2.1.1 Espectros calculados con el modelo de Borre y Atkinson

Las fallas que se seleccionaron son las más cercanas al área de estudio, el método es usado para las fallas intraplaca (cortical). Se usó $V_{s30} = 321.30$ m/s para todas la ecuaciones de atenuación propuestas en esta investigación.

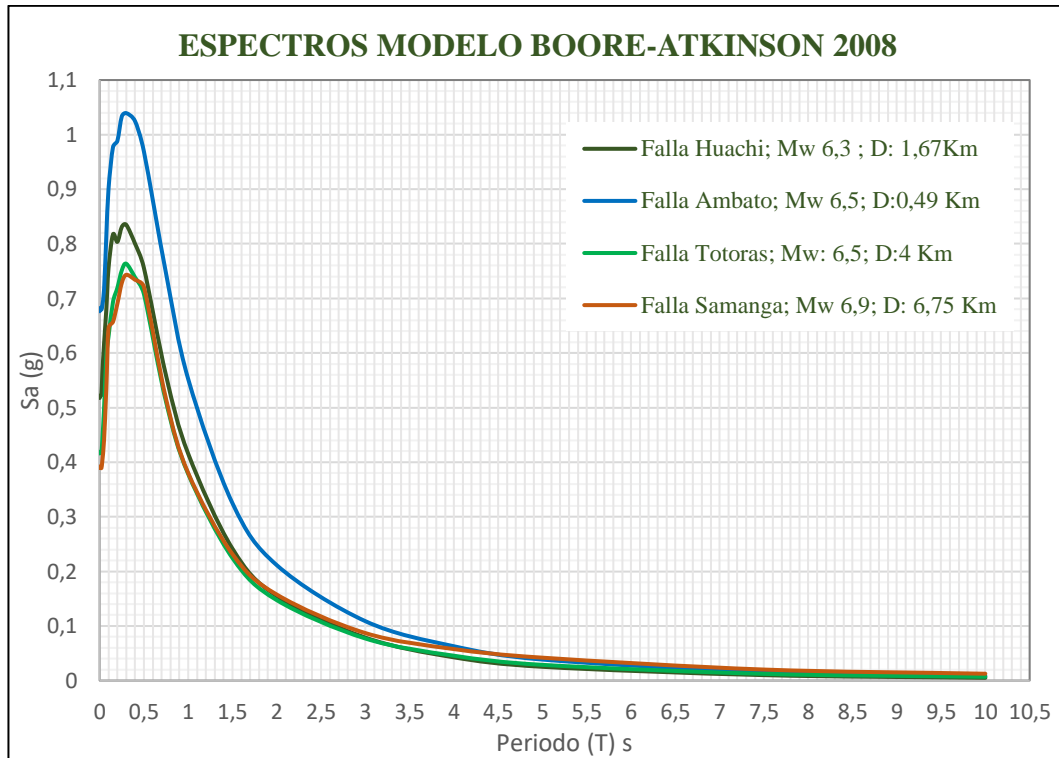


Figura 26. Espectros de aceleración obtenidos con el Modelo de Boore y Atkinson 2008

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 26, presenta 4 fallas de las cuales todas presentan una aceleración máxima en un periodo de **0,3 seg**, los valores de aceleración van decreciendo hasta un periodo límite de **10 sg**. La falla de Ambato presenta una aceleración máxima de **1,04 g**, el valor de la aceleración máxima de la falla de Huachi es de **0,83 g**, la falla de totoras posee una aceleración máxima de **0,76 g**, mientras que la aceleración máxima de la falla de Samanga es de **0,74 g**, a su vez se observa que la aceleración va variando dependiendo de la magnitud y la distancia al sitio de falla, por lo que el espectro obtenido con la falla de Ambato es el que presenta mayor respuesta de aceleración, mientras mayor sea la distancia al sitio de falla, la aceleración irá disminuyendo como se observa el espectro obtenido con la falla de Samanga.

4.2.1.2 Espectros calculados con el Modelo de Akkar y Bommer

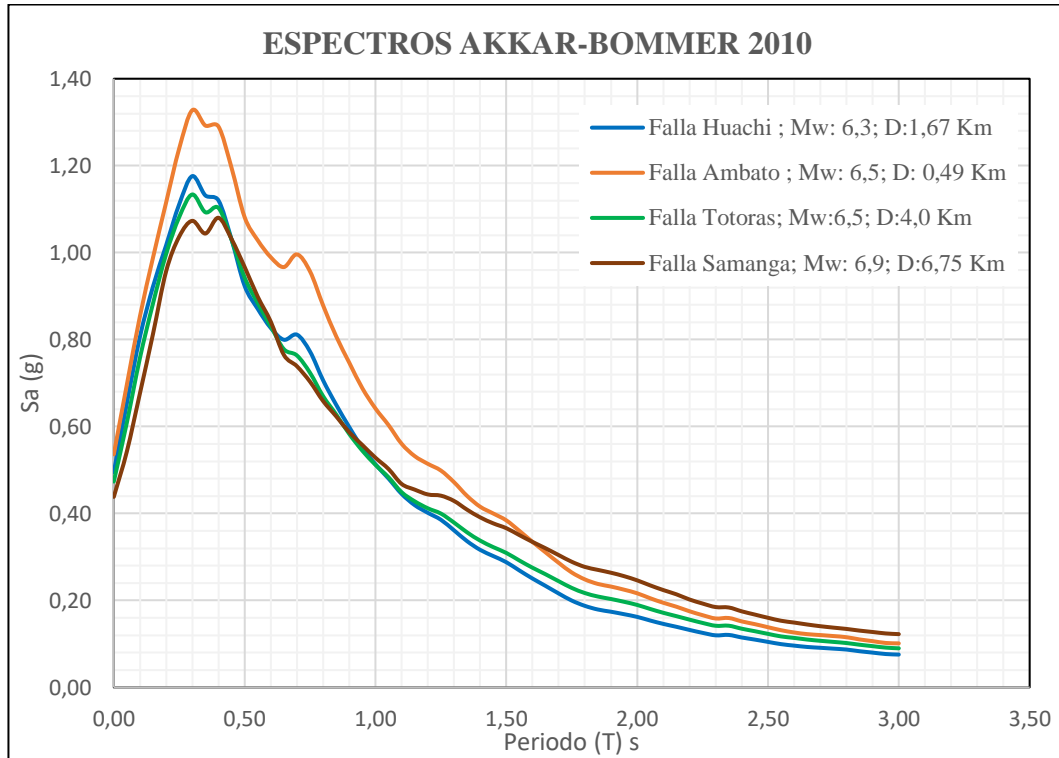


Figura 27. Espectros de aceleración Modelo de Akkar y Bommer 2010

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 27, presenta 4 fallas de las cuales las fallas: Huachi, Ambato, Totoras presentan una aceleración máxima en un periodo de **0,3 seg**, mientras la Falla de Samanga presenta una aceleración máxima en un periodo de **0,4 sg**, los valores de aceleración van decreciendo hasta un periodo límite de **3,0 sg**. La falla de Ambato presenta una aceleración máxima de **1,33 g**, el valor de la aceleración máxima de la falla de Huachi es de **1,18 g**, la falla de totoras posee una aceleración máxima de **1,13 g**, mientras que la aceleración máxima de la falla de Samanga es de **1,08 g**, por lo que se observa que la Falla de Ambato es la que mayor aceleración presenta en el modelo de Akkar y Bommer 2010, mientras mayor sea la distancia al sitio de falla la aceleración ira disminuyendo como se observa el espectro obtenido con la falla de Samanga.

4.2.1.3 Espectros calculados con el Modelo de Kanno 2006.

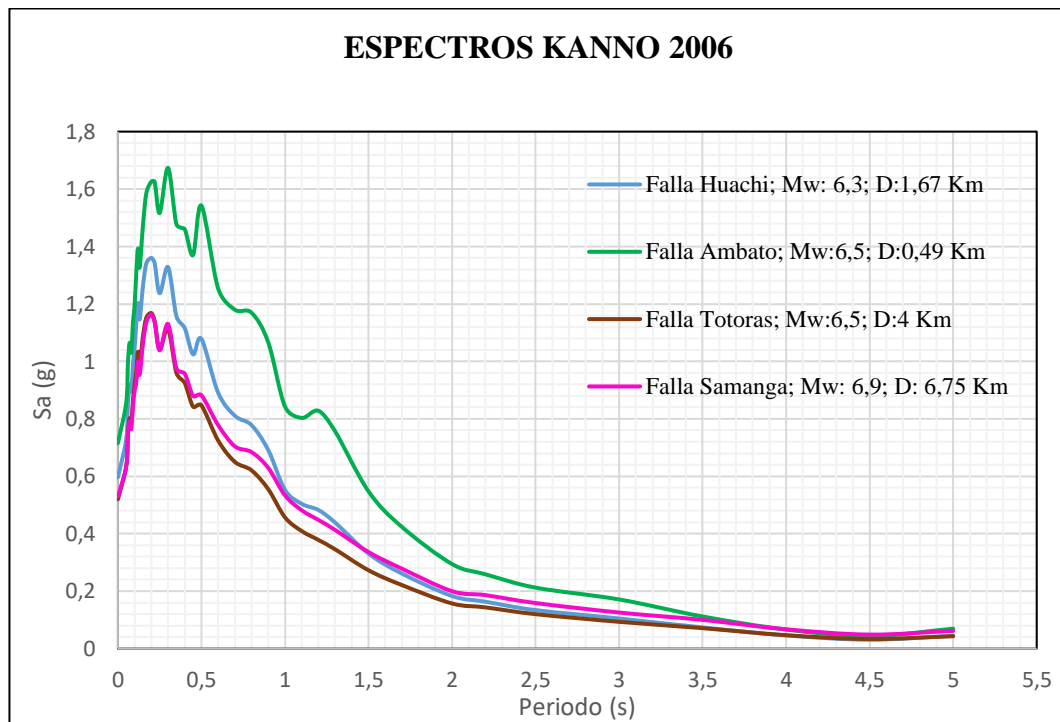


Figura 28. Espectros de aceleración Modelo de Kanno 2006

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 28, presenta 4 fallas de las cuales las fallas de Huachi, Totoras y Samanga presentan una aceleración máxima en un periodo de **0,2 seg**, mientras que la falla de Ambato presenta una aceleración en un periodo de **0,3 seg**, los valores de aceleración van decreciendo hasta un periodo límite de **5,0 seg**. La falla de Ambato presentan una aceleración máxima de **1,67 g**, la falla de Totoras presenta una aceleración máxima de **1,17 g**, el valor de la aceleración máxima de la falla de Huachi es de **1,36 g**, mientras que la aceleración máxima de la falla de Samanga es de **1,16 g**, por lo que se observa que la Falla de Ambato es la que mayor aceleración presenta en el modelo de Kanno 2006.

4.2.1.4 Espectros calculados con el Modelo de Youngs

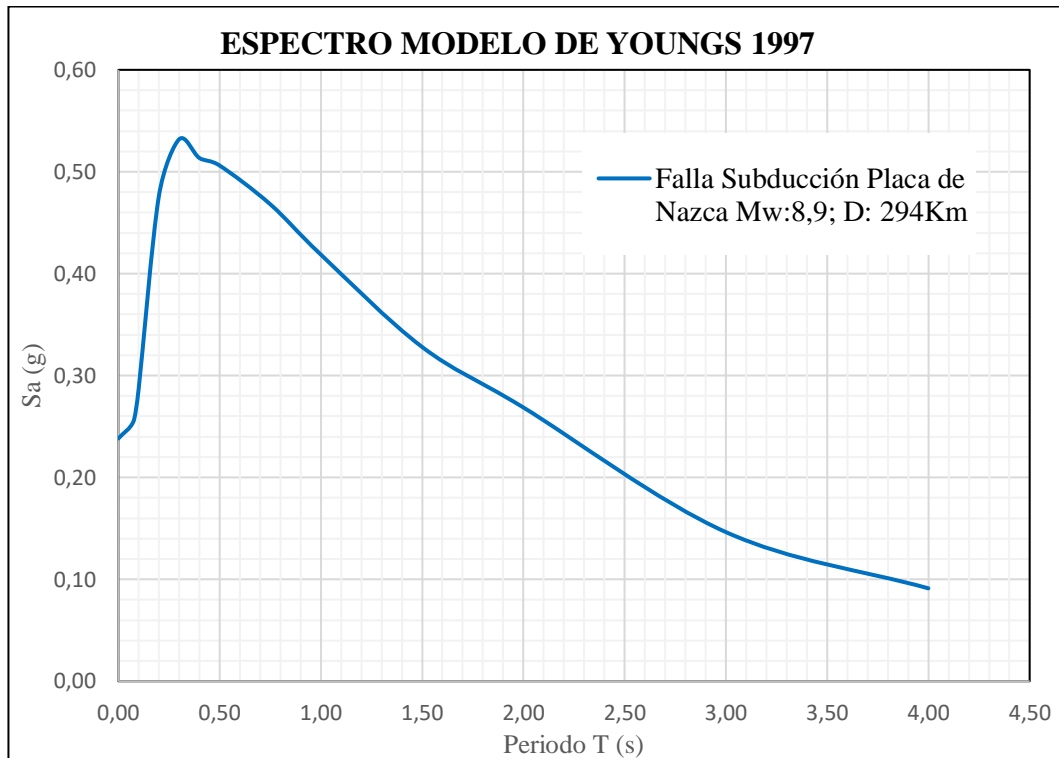


Figura 29. Espectro de aceleración Modelo de Youngs 1997

Elaboración: Jennifer Guamán

En la figura 29, se presenta la falla de subducción la de Placa de Nazca de la cual se observa que la aceleración máxima se presenta en un periodo de **0,3 seg**, los valores de aceleración van decreciendo hasta un periodo límite de **4,0 sg**. La Falla de Subducción con el modelo de Youngs 1997 posee una aceleración máxima de **0,53 g**.

4.2.1.5 Espectros calculados con el Modelo de Zhao

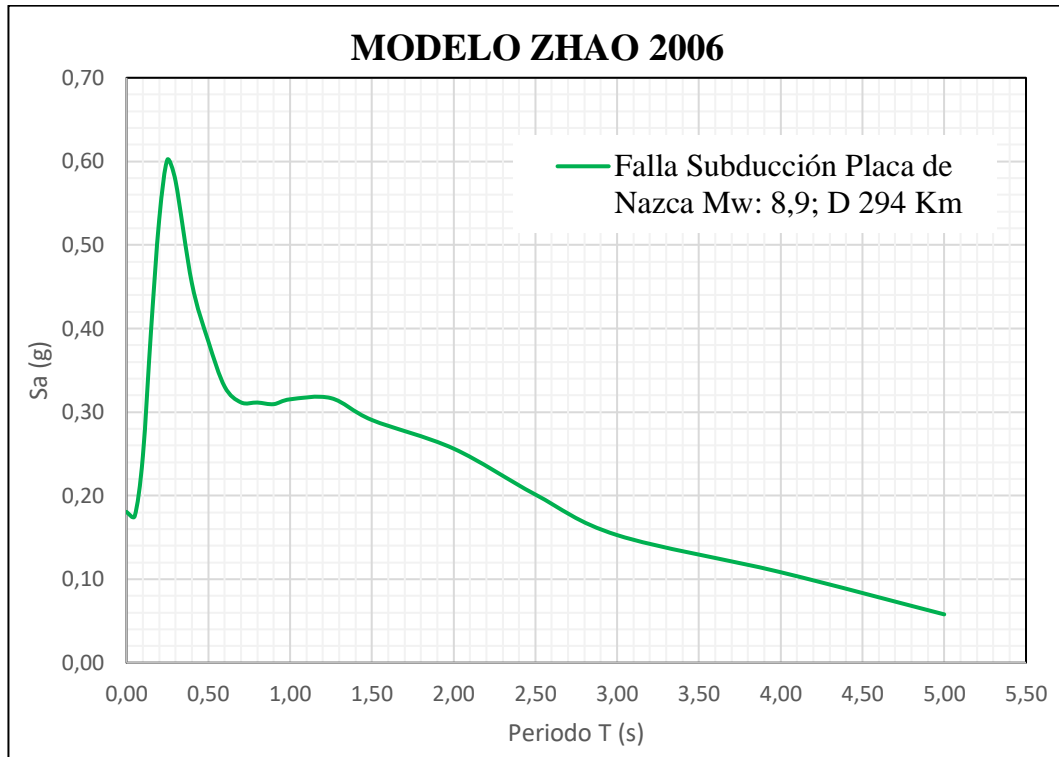


Figura 30. Espectros de aceleración Modelo de Zhao 2006

Elaboración: Jennifer Guamán

En la figura 30, se presenta la falla de subducción la de Placa de Nazca de la cual se observa que la aceleración máxima se presenta en un periodo de **0,25 seg**, los valores de aceleración van decreciendo hasta un periodo límite de **5,0 sg**. La Falla de subducción con el modelo de Zhao 2006 posee una aceleración máxima de **0,60 g**.

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

Tabla 32. Valores de aceleraciones máximas y su variación porcentual.

MODELO BOORE Y ATKINSON				
Falla	Aceleración máx. (Sa)	Período (T)	Variación % de aceleración	
Ambato	1,04	0,30	Modelos	%
Huachi	0,83	0,30	Ambato-Huachi	20,19
Totoras	0,76	0,30	Ambato-Totoras	26,92
Samanga	0,74	0,30	Ambato-Samanga	28,85
MODELO AKKAR Y BOOMER				
Falla	Aceleración máx. (Sa)	Período (T)	Variación % de aceleración	
Ambato	1,33	0,30	Modelos	%
Huachi	1,17	0,30	Ambato-Huachi	12,03
Totoras	1,13	0,30	Ambato-Totoras	15,03
Samanga	1,07	0,30	Ambato-Samanga	19,54
MODELO KANNO				
Falla	Aceleración máx. (Sa)	Período (T)	Variación % de aceleración	
Ambato	1,67	0,30	Modelos	%
Huachi	1,36	0,20	Ambato-Huachi	18,56
Totoras	1,17	0,20	Ambato-Totoras	29,94
Samanga	1,16	0,20	Ambato-Samanga	30,54
MODELO DE YOUNGS				
Falla		Aceleración máx. (Sa)		Período (T)
Subducción Placa de Nazca		0,53		0,30
MODELO DE YOUNGS				
Falla		Aceleración máx. (Sa)		Período (T)
Subducción Placa de Nazca		0,60		0,25

Elaboración: Jennifer Guamán

4.2.2 Espectros con los modelos para cada Falla

A continuación se presentan los espectros obtenidos con los diferentes modelos para cada falla seleccionada en esta investigación.

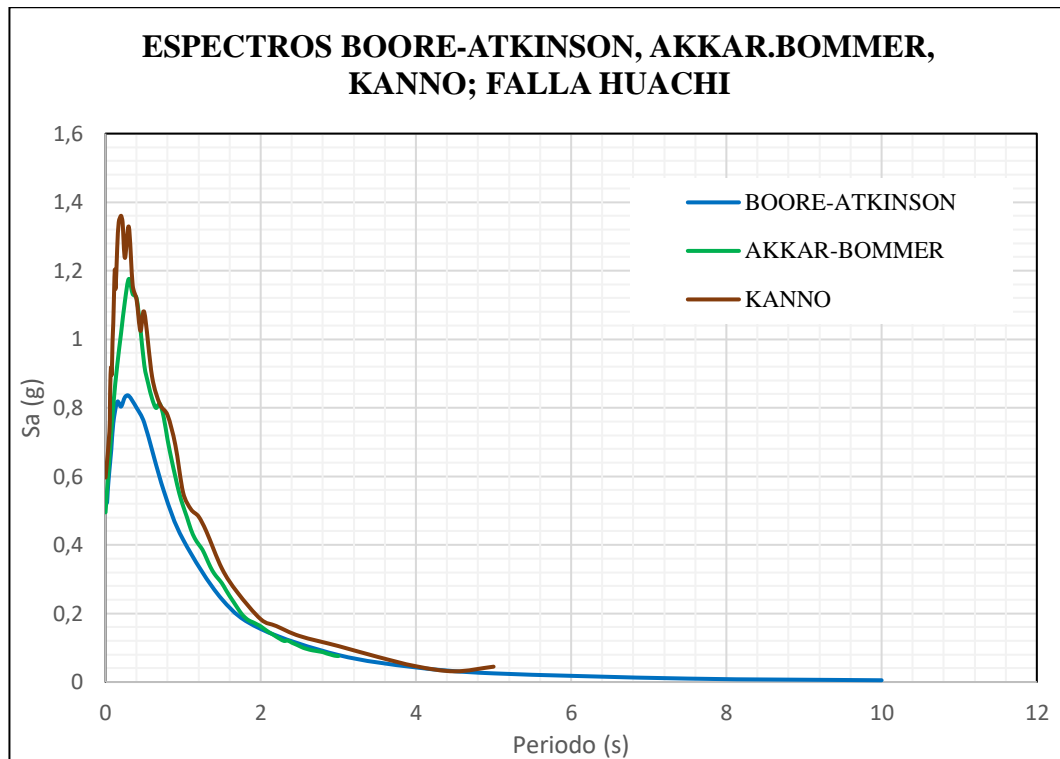


Figura 31. Espectros de aceleración Modelo de Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Huachi.

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 31, presenta 3 espectros para la falla de Huachi, donde se observa que el espectro obtenido mediante el Modelo de Boore - Atkinson, Akkar - Bommer presenta una aceleración máxima en un periodo de **0,3 sg**, y la aceleración máxima obtenida con el modelo de Kanno 2006 se presenta en un periodo de **0,2 sg**. Los valores de aceleración máxima obtenida con el Modelo de Boore-Atkinson, Akkar-Bommer y Kanno son **0,86 g**, **1,17 g** y **1,36** respectivamente. La variación que existe entre el modelo de Kanno y Akkar - Bommer es de **13,97%**, entre el modelo de Akkar - Bommer y Boore - Atkinson existe una variación de **26,49%**, mientras que la variación que existe entre el modelo de Kanno y Boore - Atkinson es de **36,76%**. Con

los valores se observa que el espectro que posee mayor aceleración para la falla de Huachi es el de Kanno.

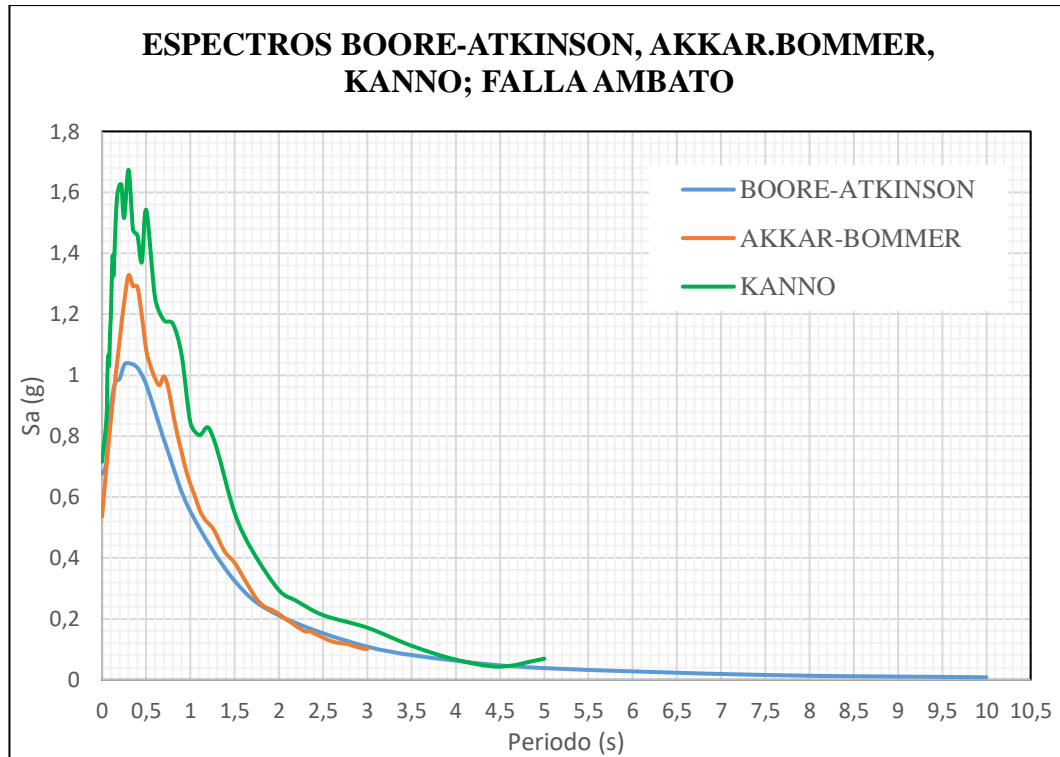


Figura 32 Espectros de aceleración Modelo de Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Ambato.

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 32, presenta 3 espectros para la falla de Ambato, donde se observa que el espectro obtenido mediante el Modelo de Boore - Atkinson, Akkar - Bommer y Kanno presentan una aceleración máxima en un periodo de **0.3 sg**. Los valores de aceleración máxima obtenida con el Modelo de Boore - Atkinson, Akkar -Bommer y Kanno son **1,04 g, 1, 33 g y 1,67** respectivamente. La variación que existe entre el modelo de Kanno y Akkar – Bommer es de **24,81%**, entre el modelo de Akkar – Bommer y Boore – Atkinson existe una variación de **21,80%**, mientras que la variación que existe entre el modelo de Kanno Boore – Atkinson es de **37,72%**. Con los valores se observa que el espectro que posee mayor aceleración para la falla de Ambato es el del modelo de Kanno 2006.

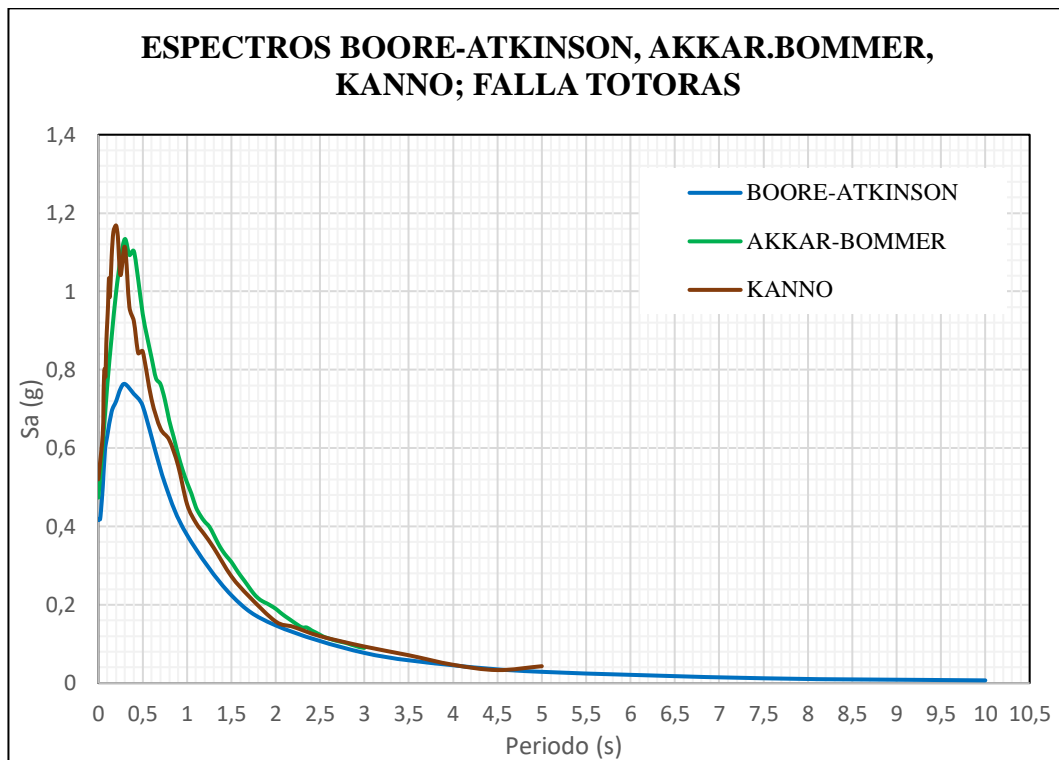


Figura 33 Espectros de aceleración Modelo de Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Totoras.

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 33, presenta 3 espectros para la falla de Totoras, donde se observa que el espectro obtenido mediante el Modelo de Boore - Atkinson, Akkar - Bommer presenta una aceleración máxima en un periodo de **0.3 sg**, y la aceleración máxima obtenida con el modelo de Kanno 2006 se presenta en un periodo de **0,2 sg**. Los valores de aceleración máxima obtenida con el Modelo de Boore - Atkinson, Akkar -Bommer y Kanno son **0,76 g, 1, 13 g y 1,17** respectivamente. La variación que existe entre el modelo de Kanno y Akkar – Bommer es de **3,42%**, entre el modelo de Akkar – Bommer y Boore – Atkinson existe una variación de **32,74%**, mientras que la variación que existe entre el modelo de Kanno y Boore – Atkinson es de **35,04%**. Con los valores se observa que el espectro que posee mayor aceleración para la falla de Totoras es el del modelo de Kanno 2006.

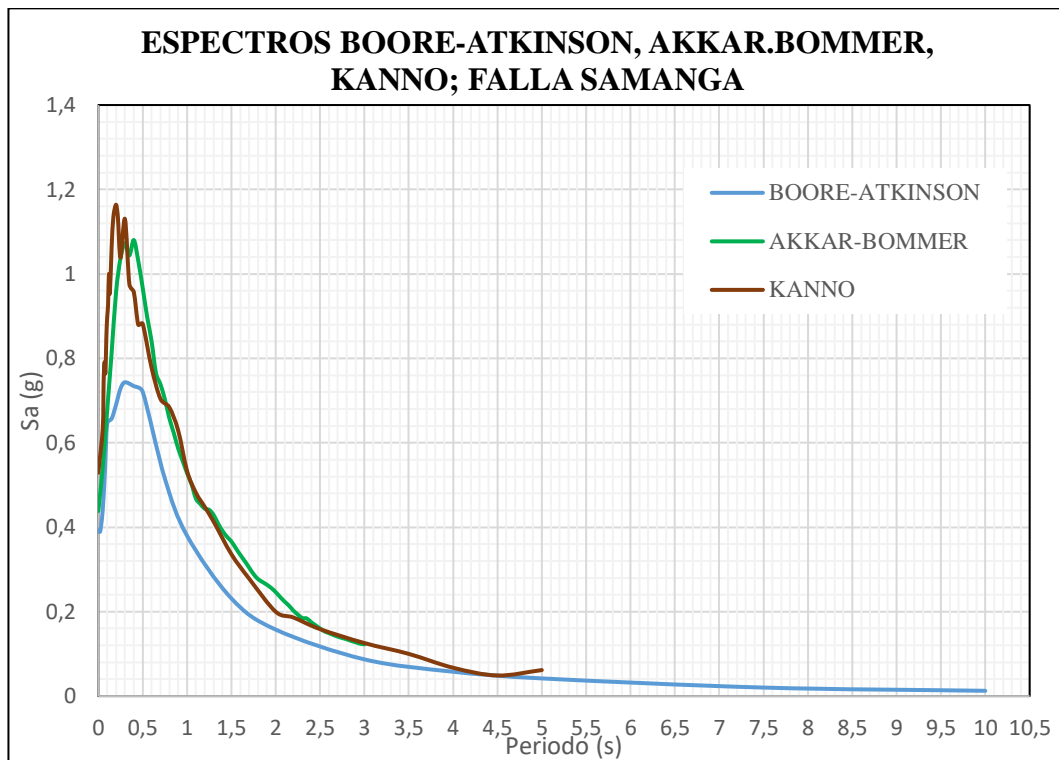


Figura 34. Espectros de aceleración Modelo de Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Samanga.

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 34, presenta 3 espectros para la falla de Samanga, donde se observa que el espectro obtenido mediante el Modelo de Boore - Atkinson, Akkar - Bommer presenta una aceleración máxima en un periodo de **0.3 sg**, y la aceleración máxima obtenida con el modelo de Kanno 2006 se presenta en un periodo de **0,2 sg**. Los valores de aceleración máxima obtenida con el Modelo de Boore - Atkinson, Akkar -Bommer y Kanno son **0,74 g, 1,07 g y 1,16** respectivamente. La variación que existe entre el modelo de Kanno y Akkar – Bommer es de **7,76%**, entre el modelo de Kanno y Boore – Atkinson existe una variación de **36,21%**, mientras que la variación que existe entre el modelo de Akkar – Bommer y Boore – Atkinson es de **30,84%**. Con los valores se observa que el espectro que posee mayor aceleración para la falla de Samanga es el del modelo de Kanno 2006.

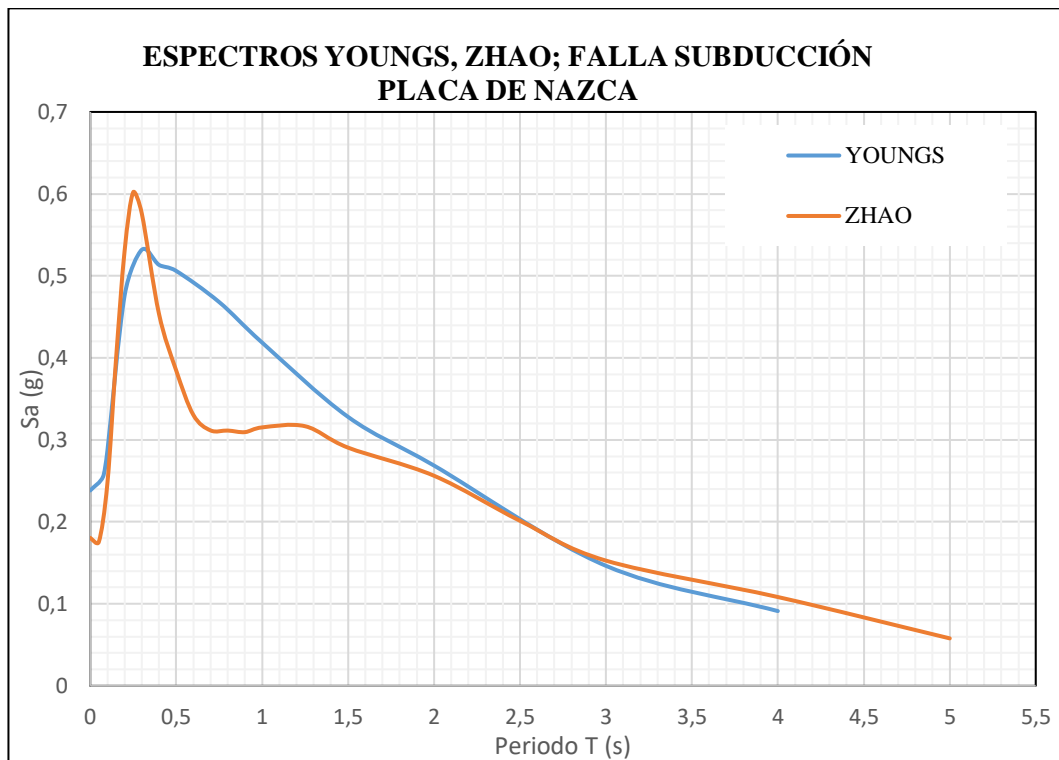


Figura 35. Espectros de aceleración Modelo de Youngs, Kanno para la falla de Subducción Placa de Nazca.

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 35, presenta 2 espectros para la falla Placa de Nazca, donde se observa que el espectro obtenido mediante el Modelo de Youngs presenta una aceleración máxima en un periodo de **0.3 sg**, y la aceleración máxima obtenida con el modelo de Zhao se presenta en un periodo de **0,25 sg**. Los valores de aceleración máxima obtenida con el Modelo de Youngs y Zhao son **0,53 g** y **0,60 g** respectivamente. La variación que existe entre el modelo Zhao y Youngs es de **11,67%**. Con los valores se observa que el espectro que posee mayor aceleración para la falla de Placa de Nazca es el del modelo de Zhao.

Tabla 33. Valores de Aceleración máxima y Período.

FALLA HUACHI				
MODELO	Sa max (g)	T (sg)	Variación % de aceleración	
Kanno	1,36	0,20	Modelo	%
Akkar y Bommer	1,17	0,30	Kanno - Akkar y Bommer	13,97
Boore y Atkinson	0,83	0,30	Kanno – Boore y Atkinson	36,76
FALLA AMBATO				
MODELO	Sa max (g)	T (sg)	Variación % de aceleración	
Kanno	1,67	0,30	Modelo	%
Akkar y Bommer	1,33	0,30	Kanno - Akkar y Bommer	24,81
Boore y Atkinson	1,04	0,30	Kanno – Boore y Atkinson	37,72
FALLA TOTORAS				
MODELO	Sa max (g)	T (sg)	Variación % de aceleración	
Kanno	1,17	0,20	Modelo	%
Akkar y Bommer	1,13	0,30	Kanno - Akkar y Bommer	3,42
Boore y Atkinson	0,76	0,30	Kanno – Boore y Atkinson	35,04
FALLA SAMANGA				
MODELO	Sa max (g)	T (sg)	Variación % de aceleración	
Kanno	1,16	0,20	Modelo	%
Akkar y Bommer	1,07	0,30	Kanno - Akkar y Bommer	7,76
Boore y Atkinson	0,74	0,30	Kanno – Boore y Atkinson	36,31
FALLA SUBDUCCIÓN PLACA DE NAZCA				
MODELO	Sa max (g)	T (sg)	Variación % de aceleración	
Zhao	0,60	0,25	Modelo	%
Youngs	0,53	0,30	Zhao - Youngs	11,67

Elaboración: Jennifer Guamán

En la tabla 33 se presenta 14 valores de periodo donde se produce la aceleración máxima de las falla con cada modelo, de los cuales el **71,43 %** se presentan en un periodo de **0,3 sg**, el **21,43%** se presenta en un periodo de **0,2 sg** y el **7,14 %** se presentan en **0,25 seg.**

4.2.3 Espectros con los modelos y la NEC-2015 para cada Falla

En las figuras se presentan los espectros obtenidos con los modelos para las fallas seleccionadas en esta investigación y el espectro sísmico de la NEC-15.

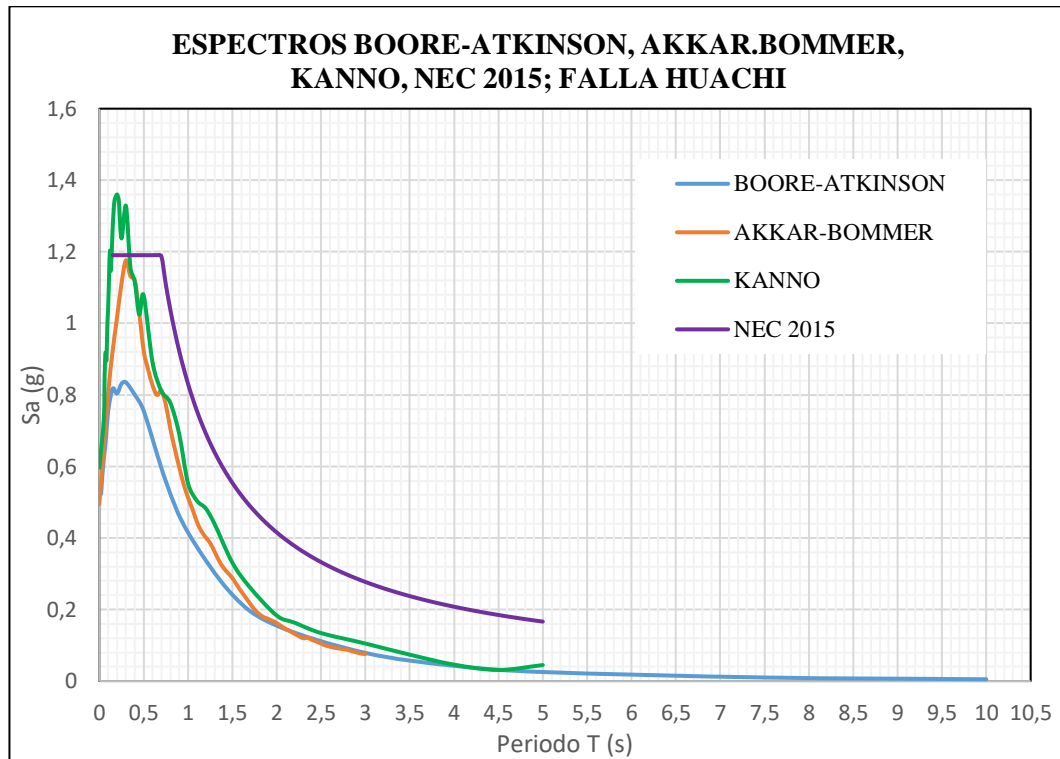


Figura 36. Espectro de aceleración modelos: Boore-Atkinson, Akkar - Bommer, Kanno, NEC-15 para la falla de Huachi

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 36 presenta los espectros obtenidos para la falla de Huachi mas el espectro de la NEC-15, por lo que se puede observar que el espectro del modelo de Kanno con una aceleración máxima de **1,36 g**, supera al espectro de la norma NEC-15 mismo que posee una aceleración máxima de **1,19g**. La variación que existe entre los espectros de la NEC-15 y Boore - Atkinson es de **27,73%**, NEC-15 y Akkar - Bommer es de **1,68%** y entre el modelo de la Kanno y NEC-15 una variación de **12,50%**.

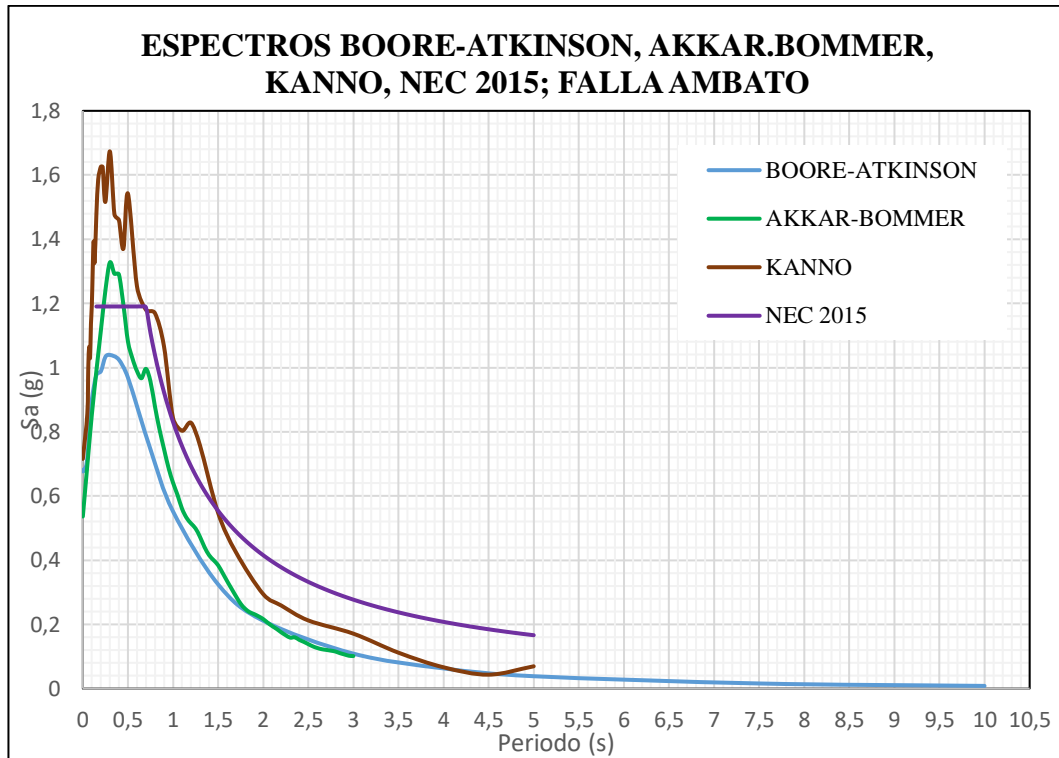


Figura 37. Espectro de aceleración modelos: Boore-Atkinson, Akkar - Bommer, Kanno, NEC-15 para la falla de Ambato

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 37 presenta los espectros obtenidos para la falla de Ambato más el espectro de la NEC-15, por lo que se puede observar que el espectro tanto como del modelo de Kanno y de Akkar-Bommer con una aceleración máxima de **1,76 g** y **1,33 g** respectivamente supera al espectro de la norma NEC-15 mismo que posee una aceleración máxima de **1,19g**. La variación que existe entre los espectros de Akkar - Bommer y NEC-15 es de **10,52%**, NEC-15 y Boore - Atkinson es de **12,60%** y entre el modelo de Kanno y NEC-15 una variación de **20,35%**.

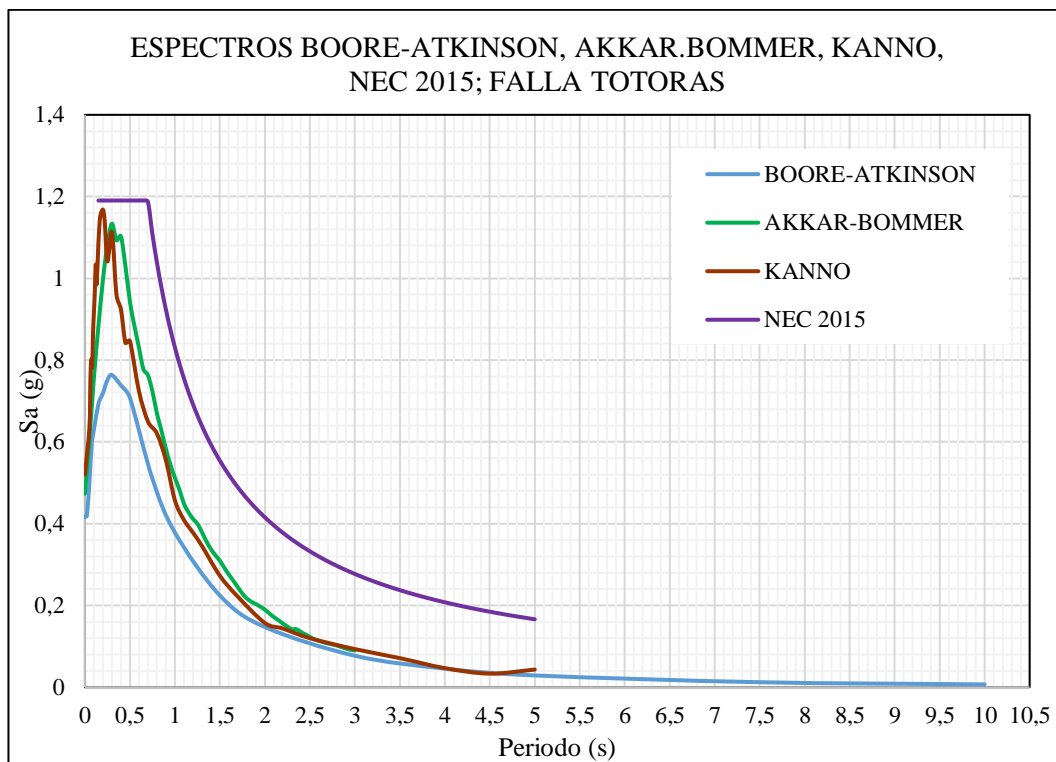


Figura 38 Espectro de aceleración modelos: Boore-Atkinson, Akkar - Bommer, Kanno, NEC-15 para la falla de Totoras

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 38 presenta los espectros obtenidos para la falla de Totoras más el espectro de la NEC-15, por lo que se puede observar que los espectros obtenidos por los modelos propuestos para esta investigación están por debajo del espectro de la NEC-15 mismo que posee una aceleración máxima de **1,19g**. La variación que existe entre los espectros de la NEC-15 y Akkar - Bommer es de **5,04%**, NEC-15 y Boore - Atkinson es de **36,13 %** y entre el modelo de la NEC-15 y Kanno una variación de **1,68%**.

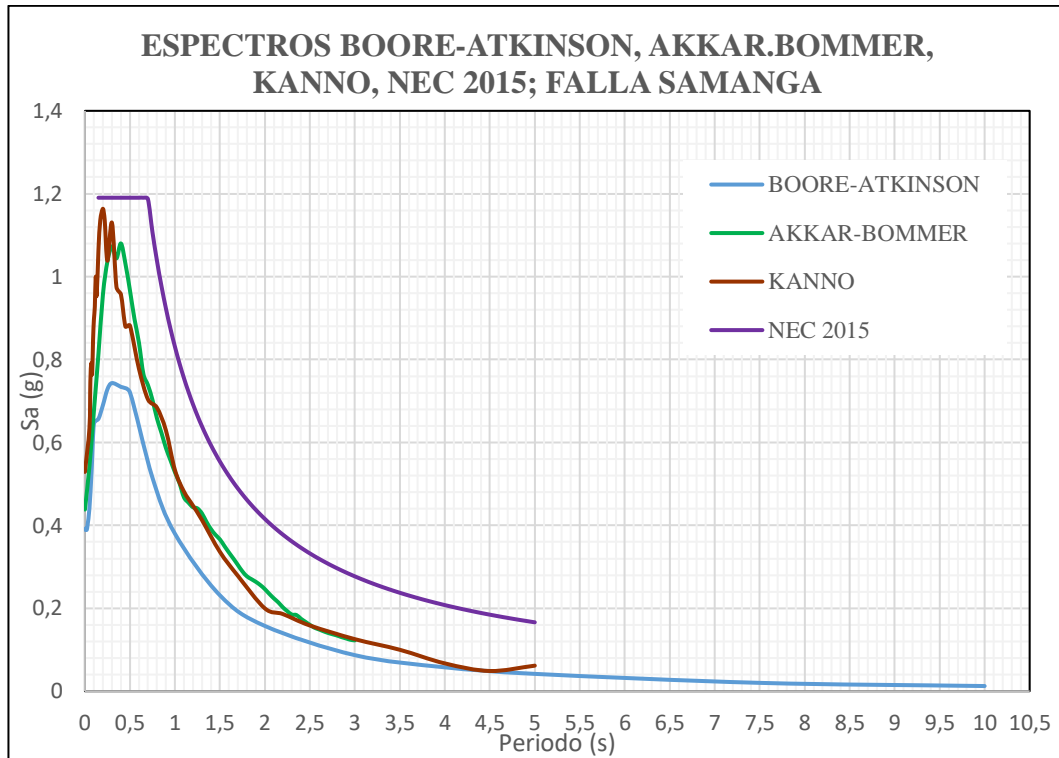


Figura 39. Espectro de aceleración modelos: Boore-Atkinson, Akkar - Bommer, Kanno, NEC-15 para la falla de Samanga

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 39 presenta los espectros obtenidos para la falla de Samanga más el espectro de la NEC-15, por lo que se puede observar que los espectros obtenidos por los modelos propuestos para esta investigación están por debajo del espectro de la NEC-15 mismo que posee una aceleración máxima de **1,19g**. La variación que existe entre los espectros de la NEC-15 y Akkar - Bommer es **10,08%**, NEC-15 y Boore - Atkinson es de **37,82 %** y entre el modelo de la NEC-15 y Kanno una variación de **2,52%**.

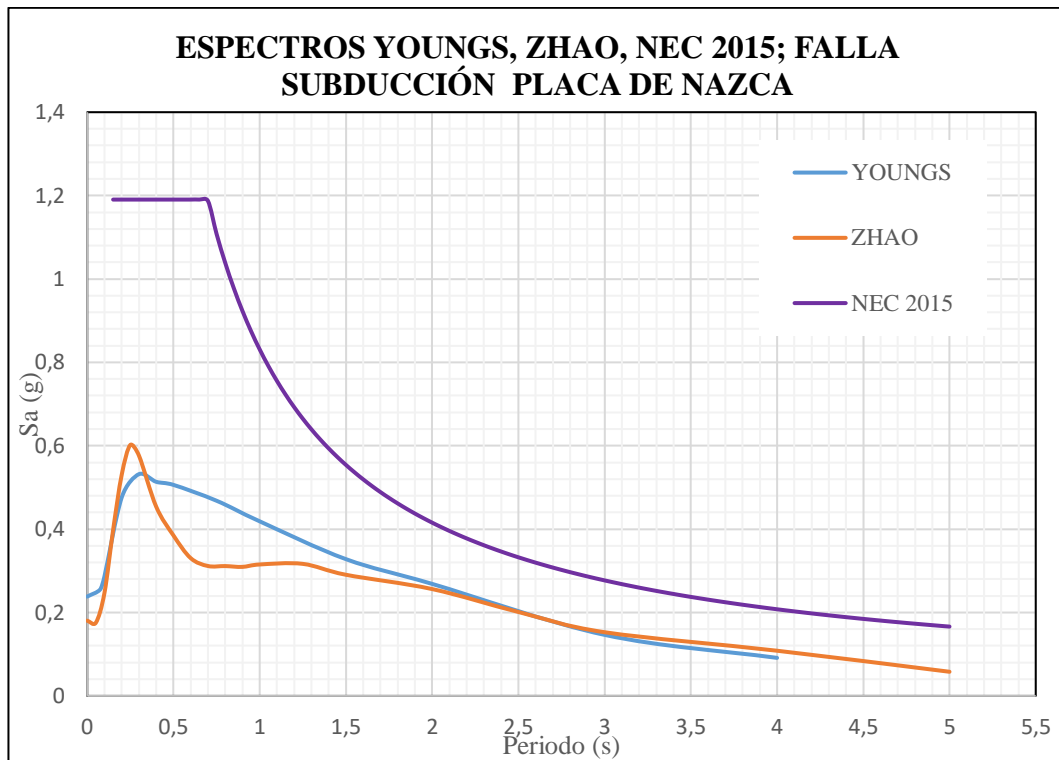


Figura 40. Espectro de aceleración modelos: Youngs, Zhao, NEC-15 para la falla de subducción Placa de Nazca

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 40 presenta los espectros obtenidos para la falla de subducción de la Placa de Nazca más el espectro de la NEC-15, por lo que se puede observar que los espectros obtenidos por los modelos propuestos para subducción en esta investigación están por debajo del espectro de la NEC-15 mismo que posee una aceleración máxima de **1,19g**. La variación que existe entre los espectros de la NEC-15 y Zhao es **49,57%**, NEC-15 y Youngs es de **55,46 %**.

4.2.4 Espectros de todos los modelos con la NEC 2015

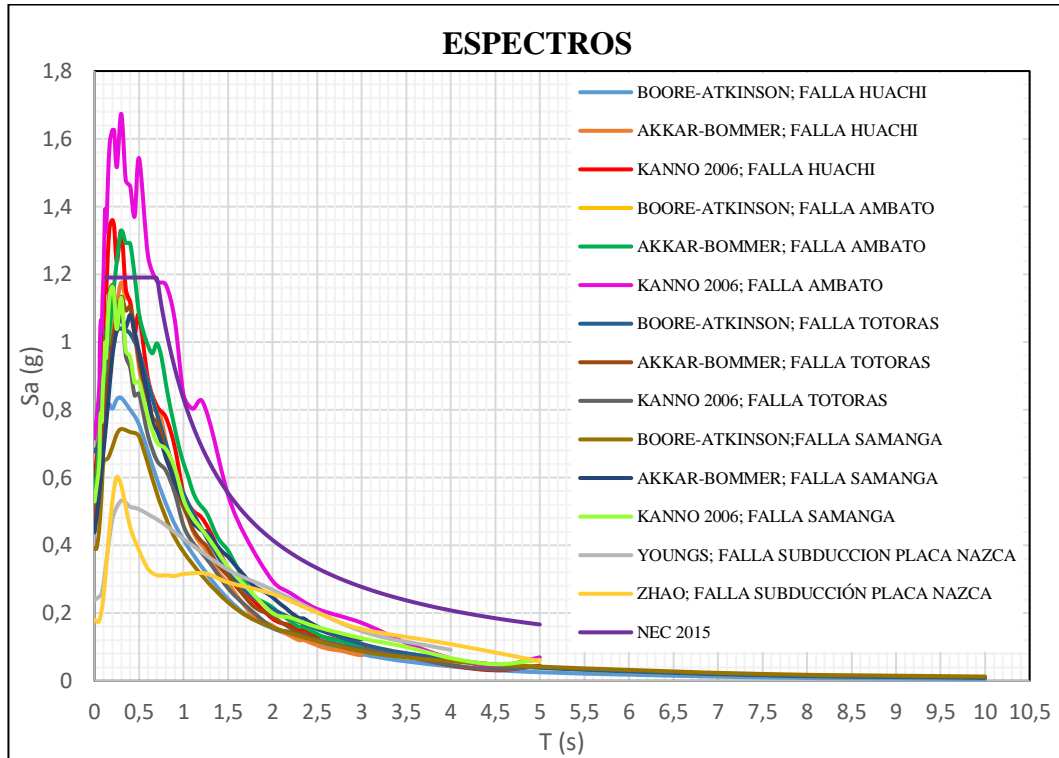


Figura 41. Todos los espectros comparados con la NEC-15

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 41 presenta todos los espectros obtenidos con los modelos para cada falla que fueron seleccionadas para este estudio, se observa que los espectros obtenidos con el modelo de Kanno 2006 y Akkar- Bommer para la Falla de Ambato con una aceleración máxima de **1,67 g**, **1,33 g** respectivamente y el espectro de Kanno para la Falla de Huachi presenta una aceleración máxima de **1,36 g**, los mismos que superan al espectro de la NEC 2015 que posee una aceleración máxima de **1,19 g**.

4.2.5 Espectro critico obtenido con los modelos.

De los valores obtenidos en cada modelo para las fallas seleccionadas se toma lo valores máximos para obtener la envolvente del espectro de aceleración.

En la Tabla 34 se presenta los valores para el espectro de aceleración crítico.

Tabla 34. Valores para el Espectro de Aceleración Critico

T (s)	Sa (%g)
0,000	0,716
0,010	0,683
0,020	0,679
0,030	0,687
0,050	0,857
0,060	0,996
0,070	1,065
0,080	1,031
0,090	1,136
0,100	1,196
0,110	1,309
0,120	1,393
0,130	1,327
0,150	1,475
0,170	1,586
0,200	1,626
0,300	1,674
0,350	1,478
0,400	1,460
0,450	1,371
0,500	1,542
0,600	1,254
0,700	1,180
0,800	1,169
0,900	1,066
1,000	0,843
1,100	0,803
1,200	0,828
1,300	0,757
1,500	0,547
1,700	0,424
2,000	0,294

2,200	0,259
2,500	0,212
3,000	0,171
3,500	0,112
4,000	0,108
4,500	0,049
5,000	0,069

Elaboración: Jennifer Guamán

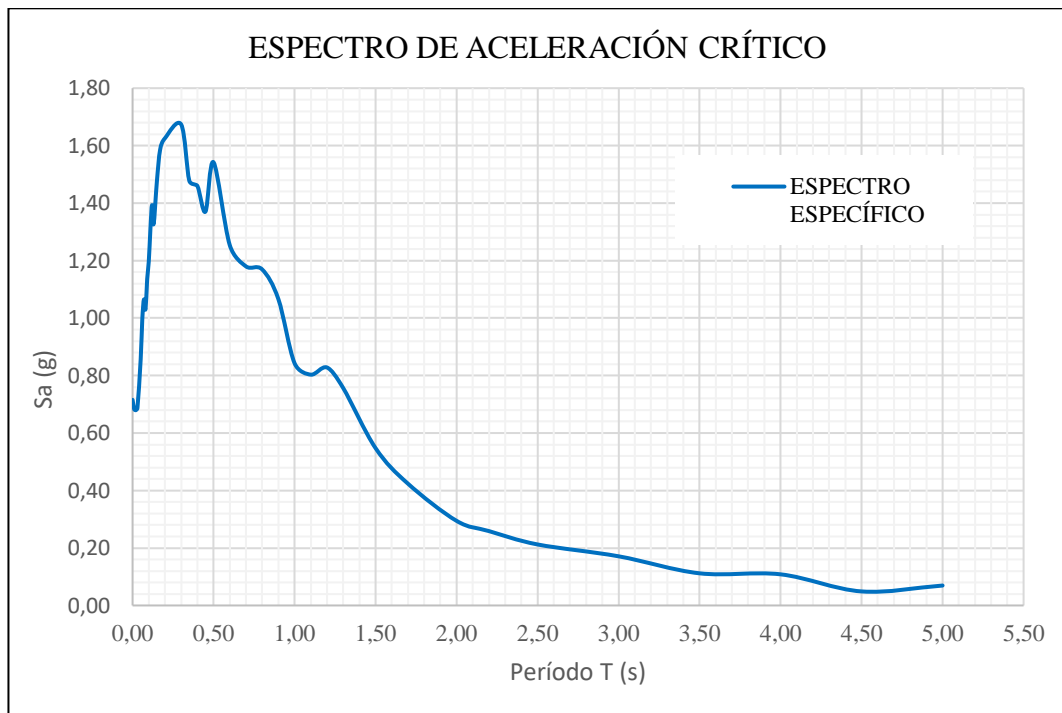


Figura 42. Espectro Específico de aceleración

Elaboración: Jennifer Guamán

4.2.6 Espectro específico comparando con la NEC-15.

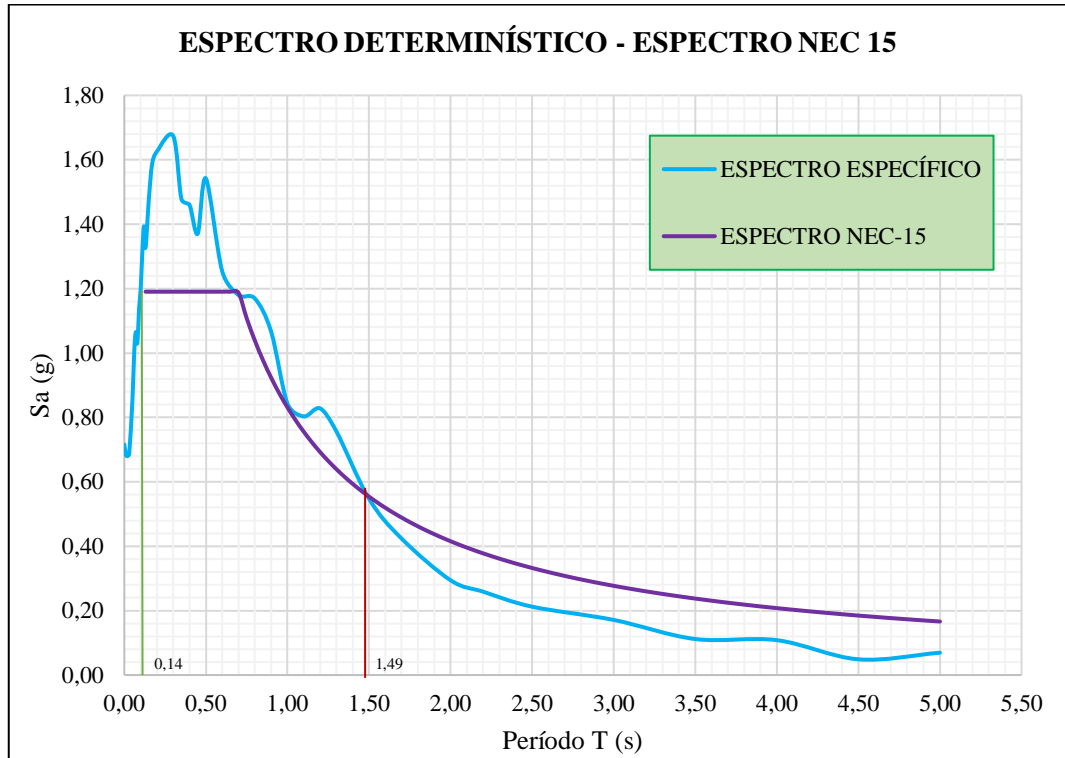


Figura 43. Espectro crítico y Espectro NEC 2015

Elaboración: Jennifer Guamán

La figura 43 presenta la envolvente de los espectros de aceleración calculados con los modelos propuestos para esta investigación y el espectro de la NEC- 15, donde se observa que en un intervalos de período de vibración de **0,14 a 1,49 seg** se genera aceleraciones mayores y supera al espectro de la NEC-15, el espectro determinístico alcanzando una aceleración máxima de **1,67 g** en un periodo de **0,3 seg**, lo que representa una variación de **28.72 %** con respecto a la NEC-15, luego la aceleración decrece momentáneamente y vuelve a aumentar a un valor pico de aceleración de **1,54g** en un periodo de **0,5 seg** .

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

Del área de estudio se seleccionó tres estructuras tipo las mismas que se proceden a modelar en el programa ETABS 2016 v16, con la finalidad de analizar el comportamiento estructural de las edificaciones y verificar si los resultados que se obtendrán con la ayuda del programa cumplen con lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS 2015.

4.2.7.1 Características estructurales de las edificaciones en el sitio

En la siguiente tabla se presentan las dimensiones de los elementos estructurales de cada una de las estructuras seleccionadas.

Tabla 35. Secciones de los elementos estructurales de las edificaciones en sitio.

ESTRUCTURA TIPO	Número de pisos	Columnas (cm)	Vigas (cm)	Espesor losa (cm)	H máx (m)
Estructura 1 piso	1	25x25	25x20	20	2,52
Estructura 2 pisos	2	30x30	30x20	20	7,54
Estructura 3 pisos	3	35x35	30x25	20	10,26

Elaboración: Jennifer Guamán

A continuación se presenta las vistas en planta de las estructuras que fueron seleccionadas del área de estudio.

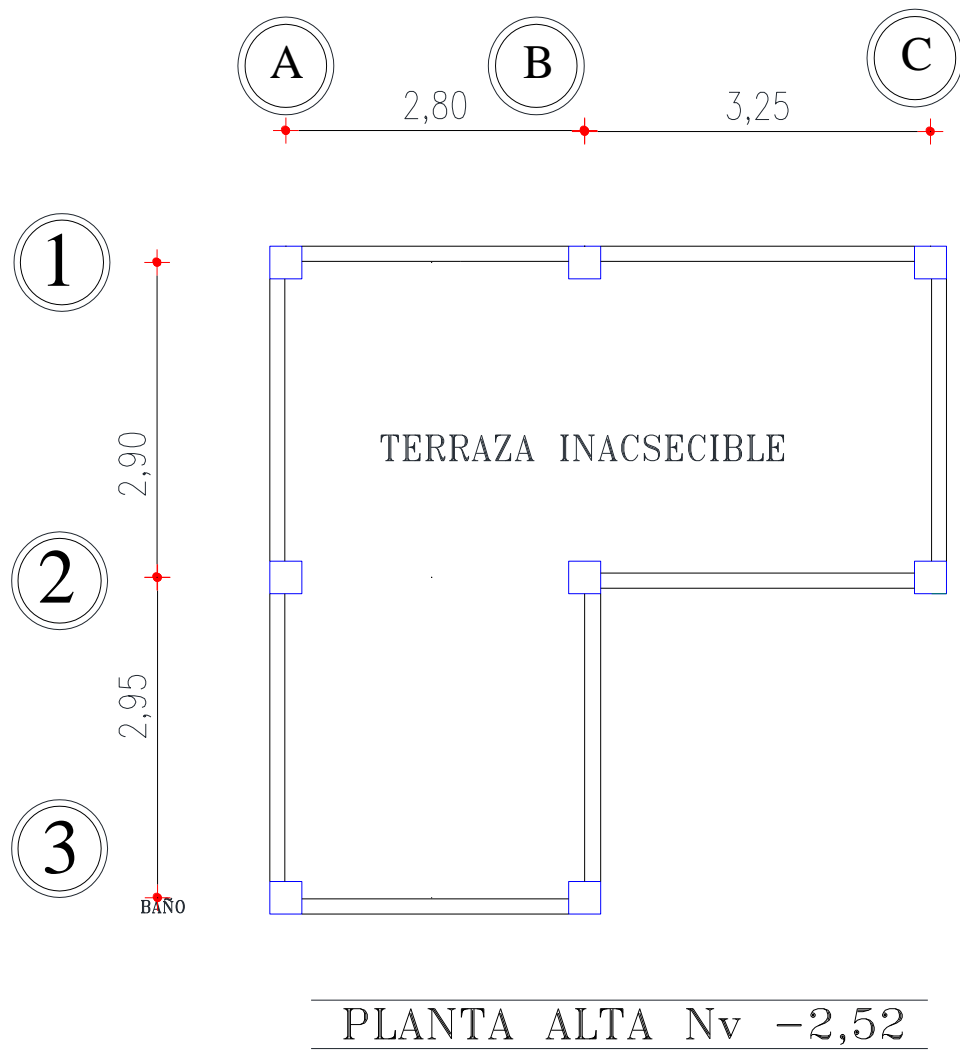


Figura 44. Vista en planta de la Estructura de 1 Pisos

Elaboración: Jennifer Guamán

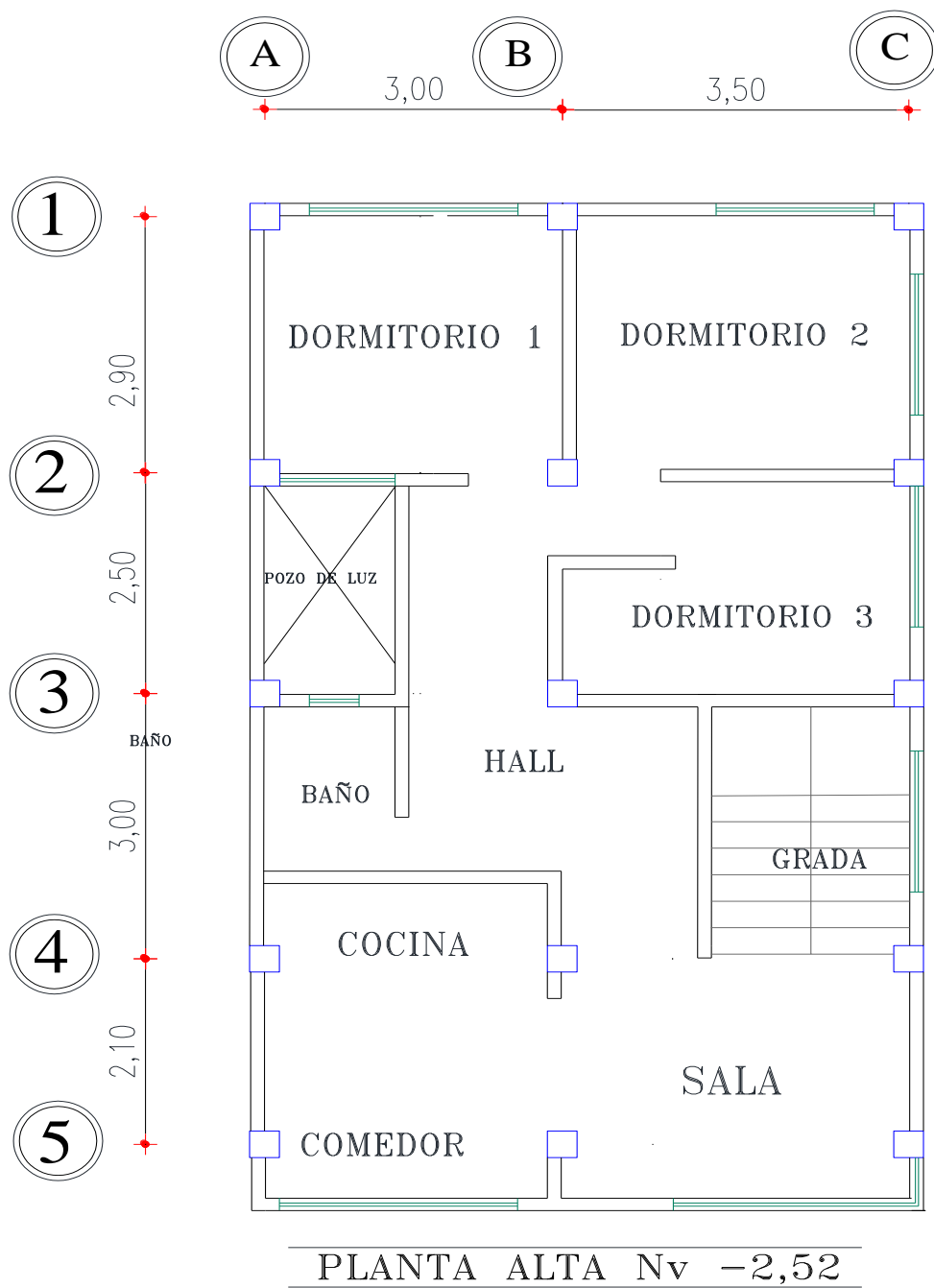


Figura 45. Vista en planta de la Estructura de 2 Pisos

Elaboración: Jennifer Guamán

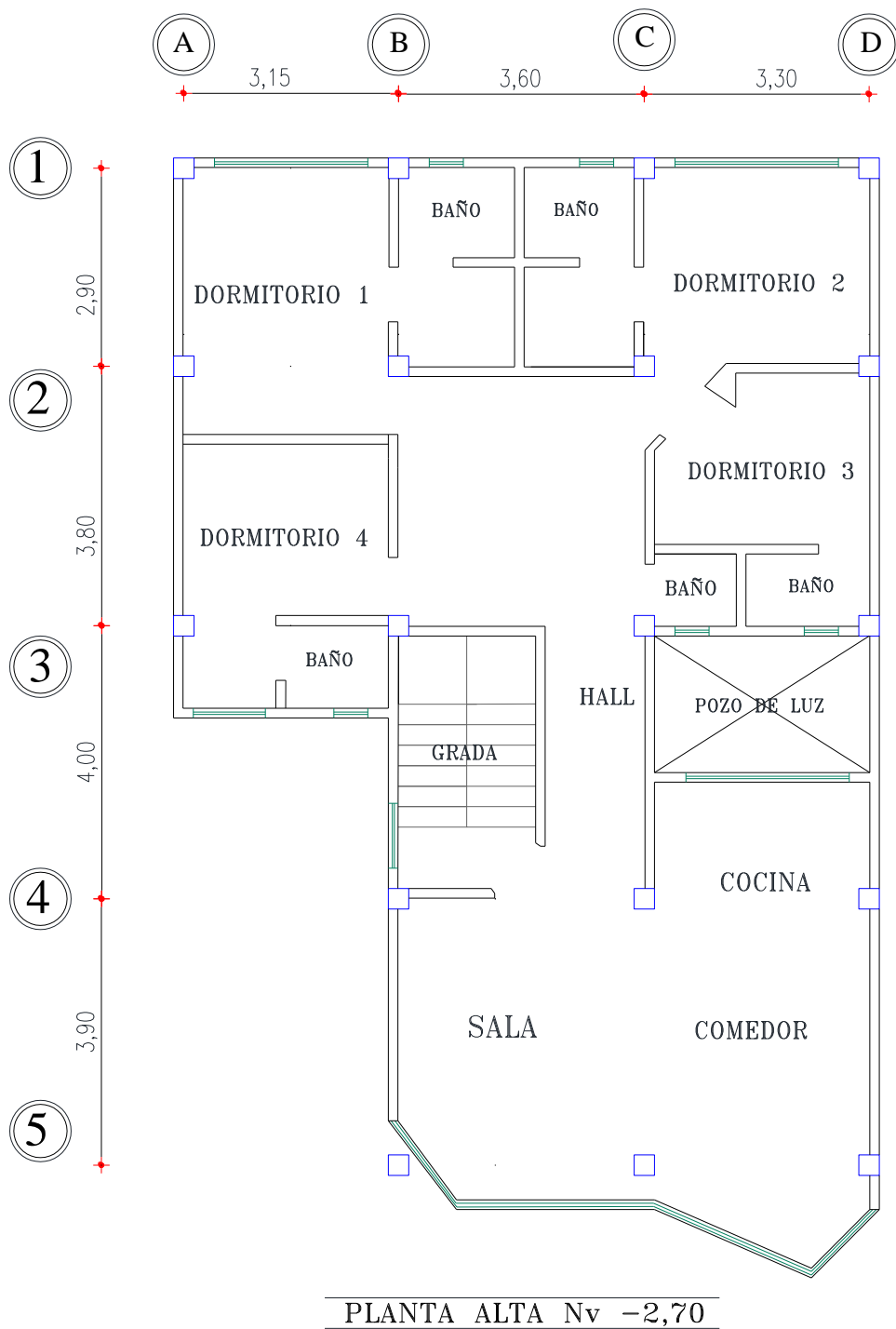
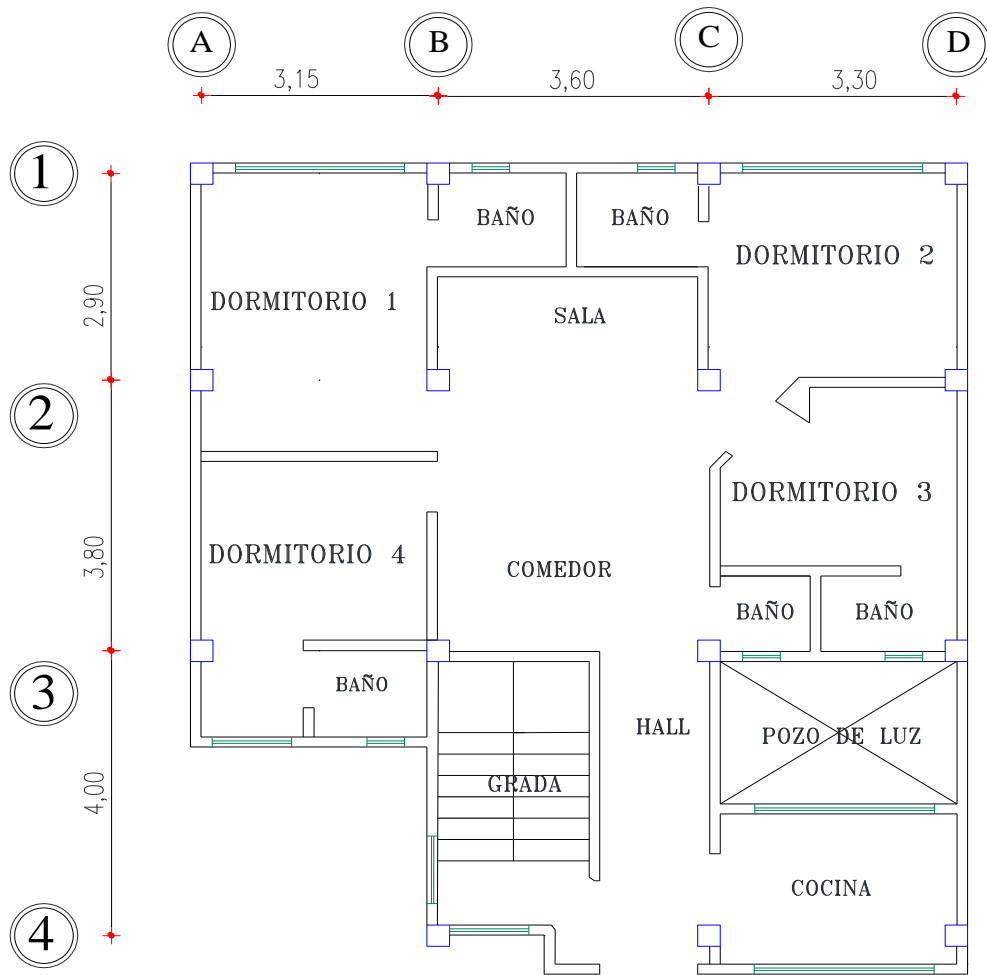


Figura 46. Vista en planta de la Estructura de 3 Pisos

Elaboración: Jennifer Guamán



PLANTA ALTA Nv -5.22

Figura 47. Vista en planta de la Estructura de 3 Pisos

Elaboración: Jennifer Guamán

4.2.7.2 Cálculos de los Periodos de Vibración

Período Fundamental de Vibración

Mediante la siguiente expresión que está establecida en el Método 1 en la NEC 2015, calculamos el periodo fundamental de vibración de cada una de las estructuras [21].

$$T = Ct * h_n^\alpha \quad (32)$$

Dónde:

T: Periodo de vibración de la estructura (s)

Ct, α : Coeficientes que depende del tipo de edificación, tabla 36.

hn: Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura (m).

Los valores de Ct y α para el cálculo del período de vibración fundamental de las estructuras seleccionadas para este estudio los tomaremos de la NEC-SE-DS 2015.

Tabla 36. Valores para el Período de Vibración de las estructuras

Tipo de estructura	Ct	α
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras.	0,055	0,9

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico

En la siguiente tabla se presenta el Período Fundamental de las Estructuras de sitio.

Tabla 37. Valores del Período de Vibración de las estructuras

Estructura Tipo	H máx (metros)	Periodo fundamental T1
Estructura de 1 piso	2,52	0,126 seg
Estructura de 3 pisos	7,56	0,339 seg
Estructura de 4 pisos	10,26	0,447 seg

Elaboración: Jennifer Guamán

Período Límite de Vibración

Con las siguientes expresiones se realiza el cálculo de los periodos límites de vibración, donde interviene los coeficientes del tipo de suelo los cuales se obtendrán de la NEC-15 de Peligro Sísmico.

$$T_c = 0.55F_s \frac{F_d}{F_a} \quad (33)$$

$$T_o = 0.55F_s \frac{F_d}{F_a} \quad (34)$$

Dónde:

T_c, T_o : Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representan el sismo de diseño [21].

F_s, F_a, F_d : Coeficiente de amplificación de suelo.

A continuación se presentan los valores de los coeficientes de amplificación de suelo para un perfil de suelo tipo D que fue determinado anteriormente en este estudio, además su respectiva zona sísmica en la Provincia de Tungurahua.

Tabla 38. Valores de Fa, Fd, Fs para perfil de suelo tipo D para el cálculo de los Períodos Límites de Vibración de las estructuras.

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

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico

Período límite de vibración Tc.

$$T_c = 0.55 * 1,28 \frac{1,19}{1,20}$$

$$T_c = 0,698 \text{ s}$$

Período límite de vibración To.

$$T_0 = 0.1 * 1,28 \frac{1,19}{1,20}$$

$$T_0 = 0,127 \text{ s}$$

4.2.7.3 Reducción de los espectros elásticos.

Durante el proceso de modelación de las estructuras se debe ingresar los espectros reducidos, por lo que se procede a reducir el espectro el espectro determinístico y el espectro de la NEC-15, con la siguiente expresión:

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

(35)

Donde:

C: Coeficiente de reducción.

I: Factor de Importancia.

Sa: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g).

R: Factor de reducción de resistencia sísmica.

ϕ_P : Coeficiente de configuración en planta.

ϕ_E : Coeficiente de configuración en elevación.

Los coeficientes y factores que se usaran en esta investigación son obtenidos de la NEC 15 del Capítulo de Peligro Sísmico.

Tabla 39. Coeficientes obtenidos de la NEC-15 para la reducción de los espectros elásticos.

ESTRUCTURA 1 PISO			
ϕ_P	ϕ_E	I	R
0,9	1,0	1,0	5
ESTRUCTURA 2 PISOS			
ϕ_P	ϕ_E	I	R
0,9	1,0	1,0	5
ESTRUCTURA 3 PISOS			
ϕ_P	ϕ_E	I	R
0,9	0,9	1,0	5

Fuente: NEC- SE-DS 2015

Con los Datos indicados se obtuvo los espectros de respuesta según lo especificado en la NEC-15 de Peligro Sísmico para cada una de las estructuras seleccionadas del área de estudio.

El valor del coeficiente C y K fue ingresado durante la modelación de cada estructura.

4.2.7.4 Verificación del Comportamiento Estructural

A continuación se procede a verificar el comportamiento de cada una de las estructuras seleccionadas bajo es espectro específico de sitio y el espectro de la NEC-15.

Períodos de Vibración

El valor del periodo fundamental T2 se determinará en base a las propiedades estructurales y las características de deformaciones de los elementos resistentes por medio de un análisis modal y el periodo Fundamental T1 se determina mediante la ecuación 32 [21].

Dónde:

T1: Período fundamental de vibración calculado con el método 1 propuesta por la NEC-15

T2: Período fundamental de vibración calculado con el método 2 (Etabs 2016).

Tabla 40. Valores de T1, To y Tc calculados y valores de T2 obtenidos en el programa ETABS 2016 con los espectros ingresados

ESTRUCTURA TIPO	Tc (seg)	To (seg)	T1 (calculado)	Espectro NEC-2015 Y Determinístico
				T2 (ETABS 2016)
1 Piso	0,698	0,127	0,126	0,210
2 Pisos	0,698	0,127	0,339	0,519
3 Pisos	0,698	0,127	0,447	0,692

Elaboración: Jennifer Guamán

El valor de T2 que es calculado según el Método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de T1 que es calculado mediante el Método 1.

- **Estructura de 1 Piso**

$$T_1 \leq T_2 \leq 1,3T_1$$
$$0,126 < 0,210 > 0,164$$

El periodo fundamental de vibración T2 no se encuentra en el rango establecido, por lo que quiere decir que es una estructura más flexible a lo que la NEC- 15 recomienda.

- **Estructura de 2 Pisos**

$$T_1 \leq T_2 \leq 1,3T_1$$
$$0,339 < 0,519 > 0,441$$

El periodo fundamental de vibración T2 no se encuentra en el rango establecido, por lo que quiere decir que es una estructura más flexible a lo que la NEC- 15 recomienda.

- **Estructura de 3 Pisos**

$$T_1 \leq T_2 \leq 1,3T_1$$
$$0,447 < 0,692 > 0,581$$

El periodo fundamental de vibración T2 no se encuentra en el rango establecido, por lo que quiere decir que es una estructura más flexible a lo que la NEC- 15 recomienda.

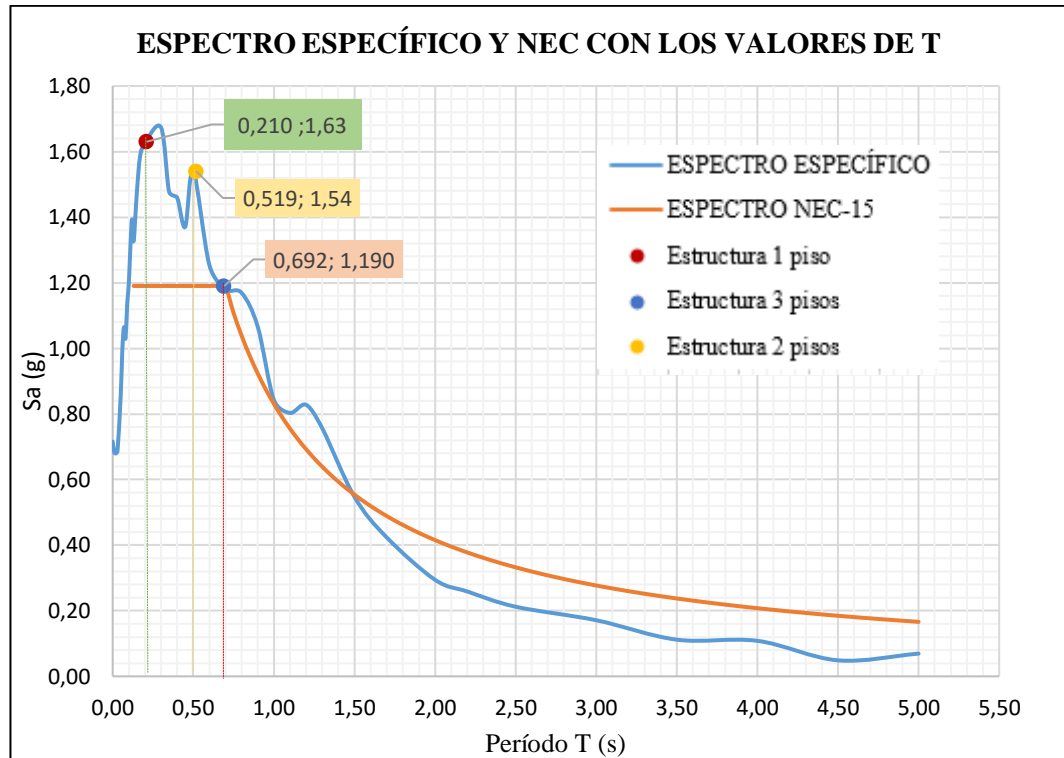


Figura 48. Espectro específico y NEC-15 con los valores de T para cada estructura

Elaboración: Jennifer Guamán

De la gráfica anterior podemos observar que para los periodos obtenidos del Etabs se registran aceleraciones de **1,66 g, 1,54 g y 1,19 g** en el espectro específico.

Se observa que los periodos obtenidos en el programa Etabs 2016 supera el rango establecido por lo que de acuerdo a la NEC.2015 se utilizara $1.3T$ del periodo calculado.

Con los periodos obtenidos $1.3T$ de cada estructura procedemos a encontrar un nuevo valor de aceleración para cada una de las estructuras con la ayuda de la gráfica del espectro específico.



Figura 49. Espectro específico y NEC-15 con los valores de 1.3T1 para cada estructura

Elaboración: Jennifer Guamán

Podemos observar en la gráfica que para los periodos obtenidos de 1.3T1 se registran aceleraciones de **1,58 g, 1,375 g y 1,3 g** en el espectro específico, siendo estos mayores a los obtenidos con la NEC-15.

Procedemos a calcular nuevamente un nuevo coeficiente sísmico con la ecuación 35 en base a la aceleración obtenida de cada estructura.

Tabla 41. Valores de aceleración y coeficientes sísmicos obtenidos con 1.3T.

Estructura	T2. Etabs (seg)	NEC-2015			ESPECÍFICO		
		Sa (%g)	C	K	1.3T1	Sa (%g)	C (Específico)
1 Piso	0,218	1,1904	0,2645	1,00	0,164	1,58	0,3622
2 Pisos	0,519	1,1904	0,2645	1,009	0,441	1,375	0,3056
3 Pisos	0,838	1,1904	0,2939	1,096	0,581	1,30	0,3210

Elaboración: Jennifer Guamán

Modos de Vibración de la estructura

La verificación es propuesta por los Ingenieros Christian Medina y Santiago Medina en base a una investigación de “Coeficiente Irregularidad en Planta a partir del Análisis de Torsión en Estructuras Irregulares“, en dicha investigación se analizó el porcentaje de participación modal de la masa en configuraciones geométricas diferentes, con la finalidad de demostrar que para estructuras que presentan un mismo tipo de irregularidad, su comportamiento puede ser distinto, es así que estructuras aparentemente irregulares, pueden tender a mostrar un comportamiento traslacional antes que torsional [36].

El método de análisis propuesta en la investigación parte de relacionar el porcentaje de participación modal de la masa en rotación Rz y el porcentaje de masa predominante en traslación Ux, Uy, evaluando en los dos primeros modos de vibración. Cuando la relación antes mencionada es mayor al 30% de determina que los efectos de torsión accidental son de gran incidencia [36].

$$\frac{RZ}{UX \text{ ó } UY} * 100\% \leq 30\%$$

(36)

Tabla 42. Participación modal de la masa - Estructura de 1 piso

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0,21	0,9886	0,0046	0,0074
Modal	2	0,21	0,0047	0,9952	1,809E-05
Modal	3	0,177	0,0066	0,0001	0,9926

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 43. Participación modal de la masa - Estructura de 2 pisos

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0,519	0,7848	0,0002	0,0084
Modal	2	0,455	0,0022	0,7275	0,0841
Modal	3	0,407	0,0092	0,0908	0,7412

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 44. Participación modal de la masa - Estructura de 3 pisos

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0,692	0,638	0,1607	0,0134
Modal	2	0,69	0,1653	0,6412	0,0009
Modal	3	0,56	0,0046	0,0064	0,8013

Fuente: Etabs 2016. V16

A continuación se procede a verificar que si los dos primeros modos de vibración son traslacionales y a partir del tercer modo debe ser torsional [36].

Tabla 45. Modos de vibración de cada una de las estructuras seleccionadas.

ESTRUCTURA 1 PISO				
MODOS	UX, UY	RZ	% VIBRACION	OBSERVACIÓN
1	0,9886	0,0074	0,75	Traslacional en X
2	0,9952	1,809E-06	0,0002	Traslacional en Y
3	0,0066	0,9926	15039,38	Rotacional
ESTRUCTURA 2 PISOS				
MODOS	UX, UY	RZ	% VIBRACION	OBSERVACIÓN
1	0,7848	0,0084	1,07	Traslacional en X
2	0,7275	0,0841	11,56	Traslacional en Y
3	0,0908	0,7415	816,63	Rotacional
ESTRUCTURA 3 PISOS				
MODOS	UX, UY	RZ	% VIBRACION	OBSERVACIÓN
1	0,638	0,0134	2,10	Traslacional en X
2	0,6412	0,009	0,00014	Traslacional en Y
3	0,0065	0,8013	12327,69	Rotacional

Elaboración: Jennifer Guamán

En la tabla anterior se presenta los modos de vibración de las estructuras donde se observa que el porcentaje de vibración es menor que 30% en los dos primeros modos de vibración lo que quiere decir que son de tipo traslacional y el tercer modo de vibración es de tipo Rotacional.

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

Se verifica en cada una de las estructuras analizadas en sitio los modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa en las direcciones principales [21].

Se debe considerar en el análisis todos los modos que involucren la participación de una masa modal de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones principales consideradas [21].

Tabla 46. Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa - Estructura de 1 pisos

Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,9886	0,0046
Modal	2	0,9934	0,9999

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 47. Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa - Estructura de 2 pisos

Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,7848	0,0002
Modal	2	0,7871	0,7277
Modal	3	0,7962	0,8185
Modal	4	0,9	0,82
Modal	5	0,9008	0,9073

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 48. Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa - Estructura de 3 pisos

Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,638	0,1607
Modal	2	0,8033	0,8019
Modal	3	0,8078	0,8084
Modal	4	0,9011	0,8091
Modal	5	0,9022	0,9224

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 49 Modos de vibración necesarios para la acumulación del 90% de la masa

ESTRUCTURA DE 1 PISO		
MODO	Sum UX	Sum UY
2	0,9934	0,9999
ESTRUCTURA DE 2 PISOS		
MODO	Sum UX	Sum UY
5	0,9008	0,9073
ESTRUCTURA DE 3 PISOS		
MODO	Sum UX	Sum UY
5	0,9022	0,9225

Elaboración: Jennifer Guamán

Control de la Deriva de piso

Se realizara un control de deformaciones, a través del cálculo de las derivas inelásticas máximas de piso, para verificar que las estructuras presenten deformaciones inelásticas controlables.

Para la revisión de las derivas de piso se utilizará el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamiento Δ_M de la estructura, causada por el sismo de diseño.

Para determinar la deriva máxima inelástica se usara la siguiente ecuación propuesta por la NEC 2015.

$$\Delta_M = 0,75 * R * \Delta_E \quad (36)$$

Donde:

Δ_M : Deriva máxima inelástica

Δ_E : Deriva elástica obtenida en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

R: Factor de reducción de resistencia sísmica.

El valor de la deriva máxima inelástica debe ser menor al 2%.

- ESTRUCTURA 1 PISO

Tabla 50. Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro NEC 2015-Estructura de 1 piso

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Piso 1 Nv 2,52	SX 1	X	0,001174
Piso 1 Nv 2,52	SY 1	Y	0,001148

Fuente: Etabs 2016. V16

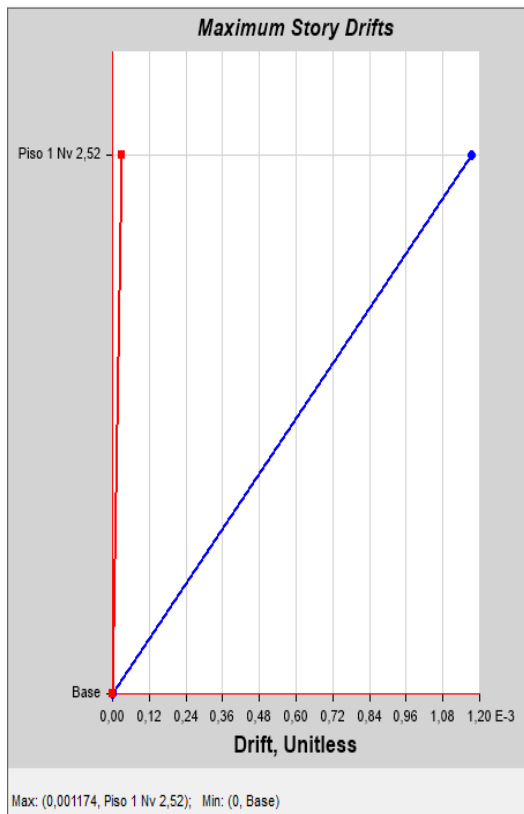
Tabla 51. Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro Específico-Estructura de 1 piso

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Piso 1 Nv 2,52	SX 1	X	0,001608
Piso 1 Nv 2,52	SY 1	Y	0,001572

Fuente: Etabs 2016. V16

- Derivas estáticas

ESPECTRO NEC-15



ESPECTRO ESPECIFICO

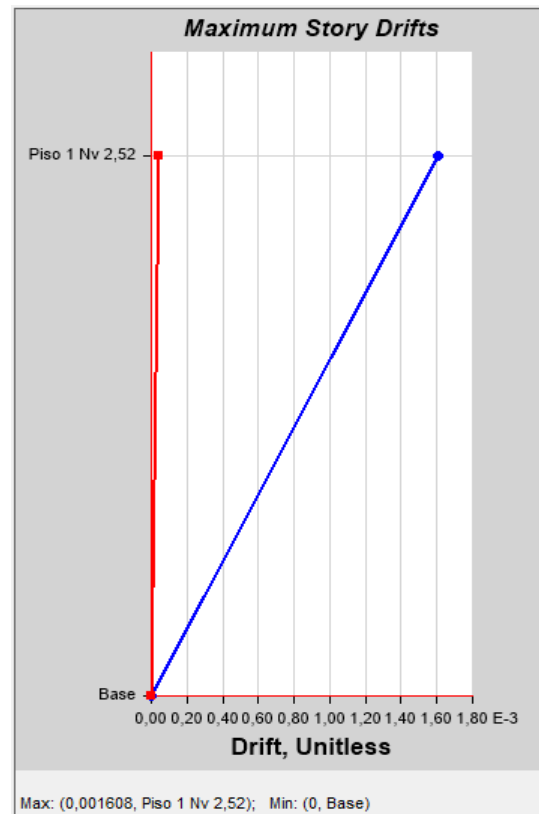


Figura 50. Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

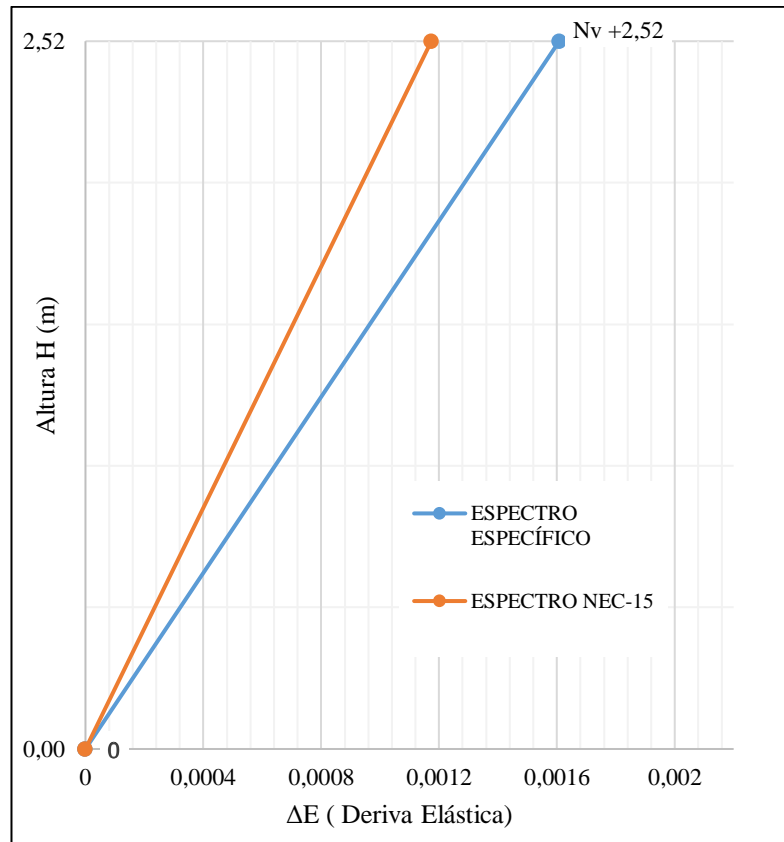


Figura 51. Comparación de las Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

ESPECTRO NEC-15

ESPECTRO ESPECIFICO

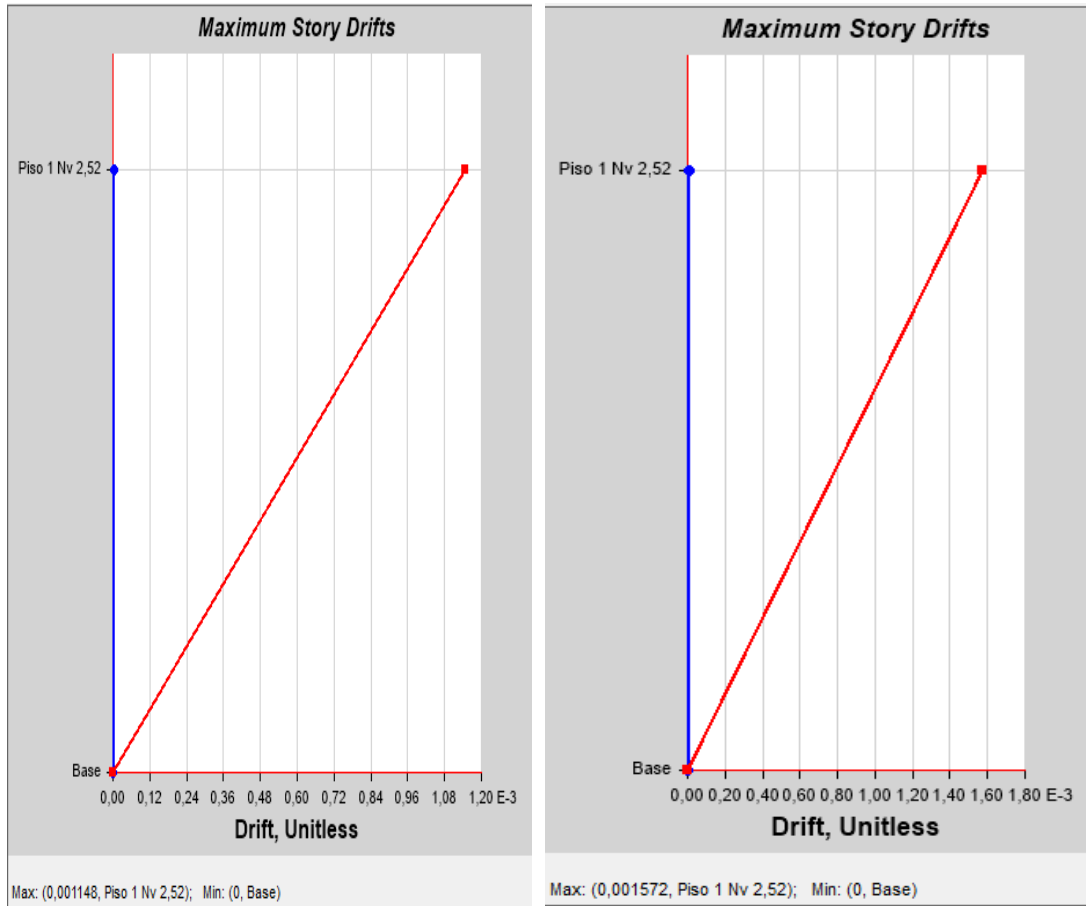


Figura 52. Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

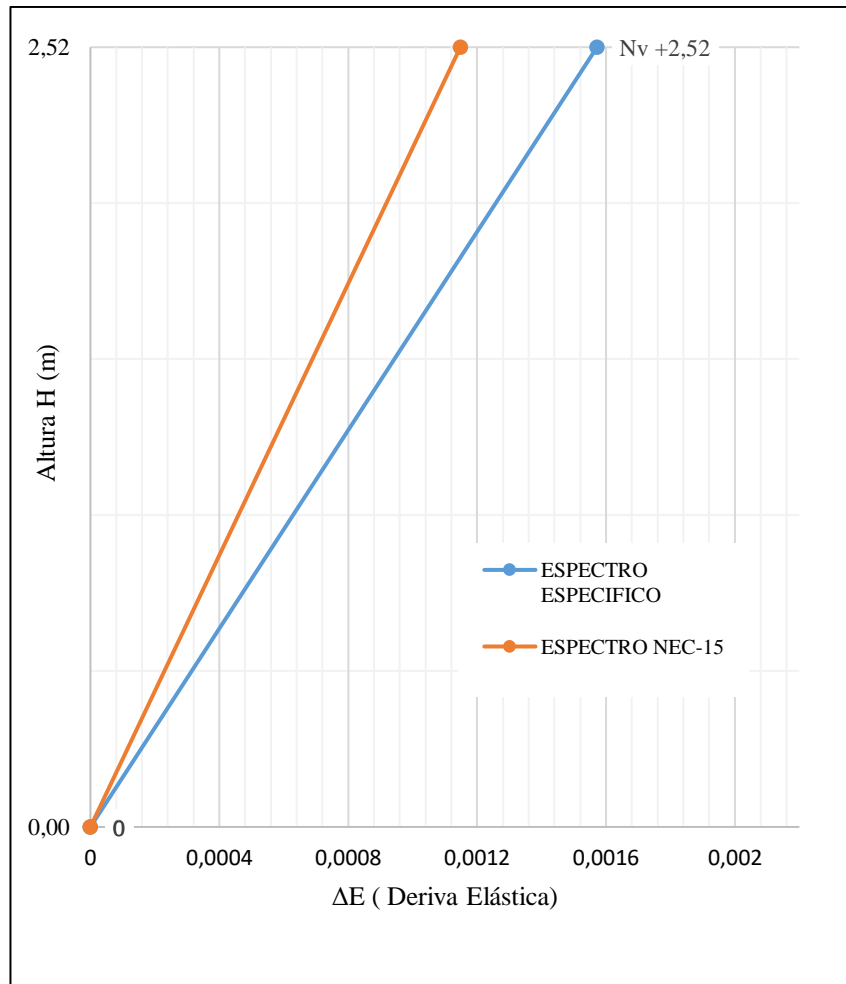


Figura 53. Comparación de las Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

- ESTRUCTURA 2 PISOS

Tabla 52. Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro NEC 2015-Estructura de 2 pisos

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
PISO 3 Nv 7,54 m	SX 1	X	0,00521
PISO 3 Nv 7,54 m	SY 1	Y	0,00371
PISO 2 Nv 5,04 m	SX 1	X	0,00595
PISO 2 Nv 5,04 m	SY 1	Y	0,00435
PISO 1 Nv 2,52 m	SX 1	X	0,00396
PISO 1 Nv 2,52 m	SY 1	Y	0,00325

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 53. Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro Específico-Estructura de 2 pisos

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
PISO 3 Nv 7,54 m	SX 1	X	0,006002
PISO 3 Nv 7,54 m	SY 1	Y	0,004271
PISO 2 Nv 5,04 m	SX 1	X	0,006865
PISO 2 Nv 5,04 m	SY 1	Y	0,005011
PISO 1 Nv 2,52 m	SX 1	X	0,004572
PISO 1 Nv 2,52 m	SY 1	Y	0,003747

Fuente: Etabs 2016. V16

ESPECTRO NEC-15

ESPECTRO ESPECÍFICO



Figura 54. Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 2 Piso - Sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

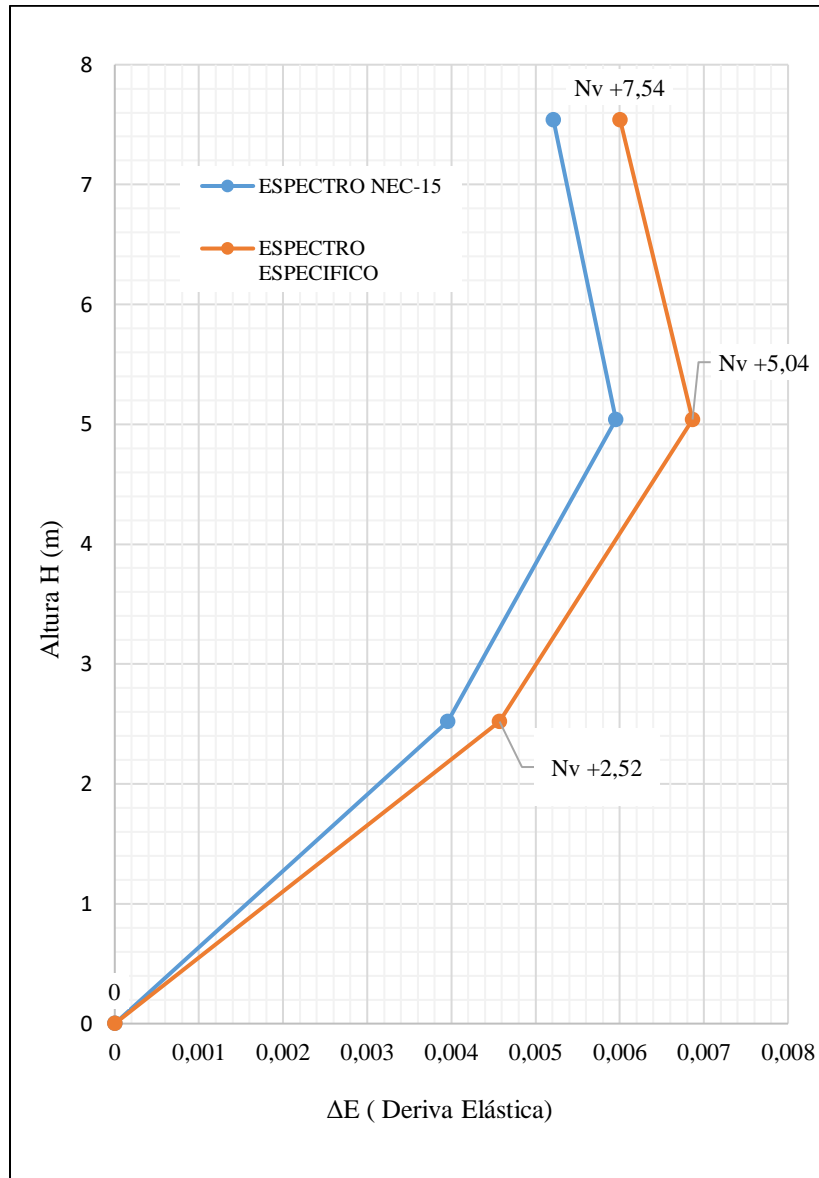


Figura 55. Comparación de las Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 2 Piso - Sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

ESPECTRO NEC-15

ESPECTRO ESPECIFICO

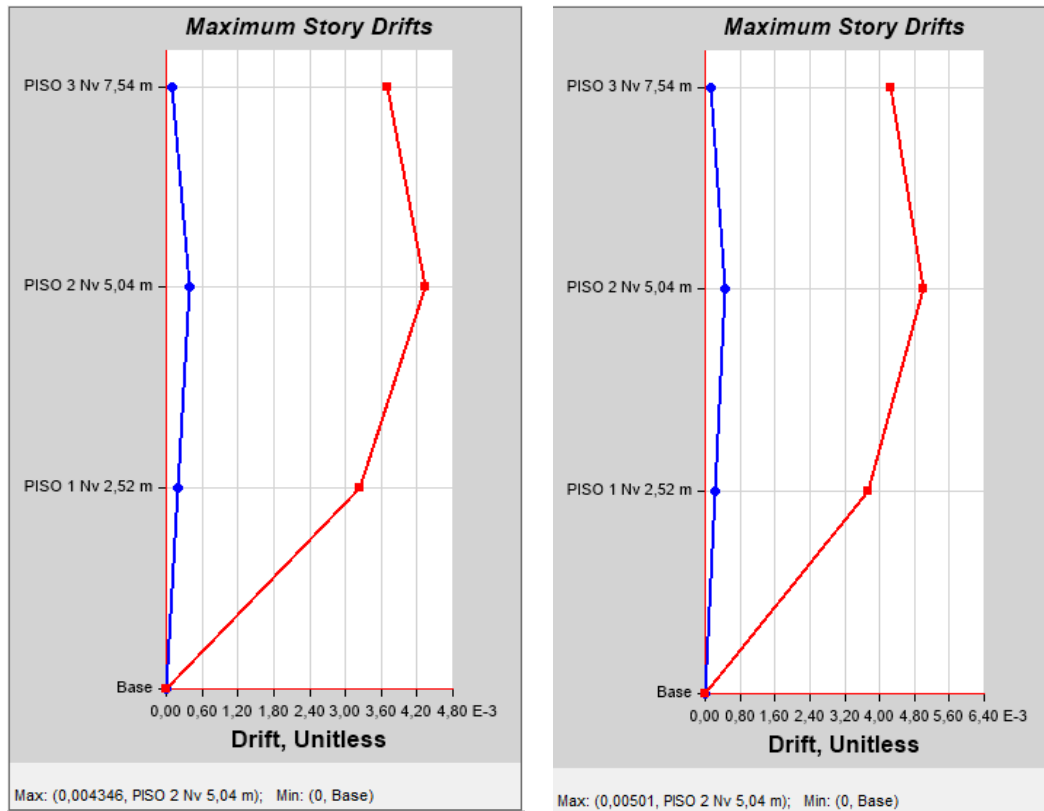


Figura 56. Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 2 Piso - Sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

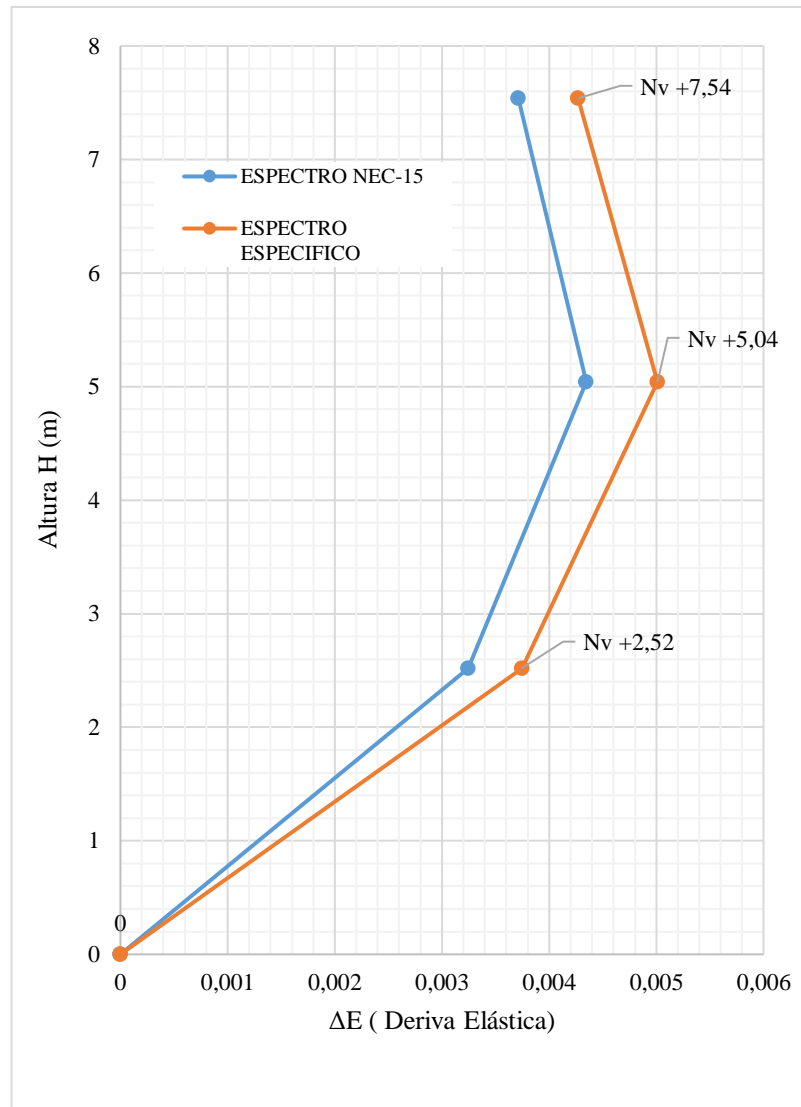


Figura 57. Comparación de las Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 2 Piso - Sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

- ESTRUCTURA 3 PISOS

Tabla 54. Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro NEC-Estructura de 3 pisos

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
PISO 4 Nv 10,26 m	SX 1	X	0,005737
PISO 4 Nv 10,26 m	SY 1	Y	0,005944
PISO 3 Nv 7,74 m	SX 1	X	0,007647
PISO 3 Nv 7,74 m	SY 1	Y	0,007447
PISO 2 Nv 5,22 m	SX 1	X	0,009309
PISO 2 Nv 5,22 m	SY 1	Y	0,009241
PISO 1 Nv 2,7 m	SX 1	X	0,006248
PISO 1 Nv 2,7 m	SY 1	Y	0,006083

Fuente: Etabs 2016.V16

Tabla 55. Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro Específico-Estructura de 3 pisos

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
PISO 4 Nv 10,26	SX 1	X	0,00612
PISO 4 Nv 10,26	SY 1	Y	0,006347
PISO 3 Nv 7,74 m	SX 1	X	0,008214
PISO 3 Nv 7,74 m	SY 1	Y	0,008007
PISO 2 Nv 5,22 m	SX 1	X	0,010073
PISO 2 Nv 5,22 m	SY 1	Y	0,009996
PISO 1 Nv 2,7 m	SX 1	X	0,006793
PISO 1 Nv 2,7 m	SY 1	Y	0,006612

Fuente: Etabs 2016.V16

ESPECTRO NEC-15

ESPECTRO ESPECIFICO



Figura 58. Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 3 Piso - Sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

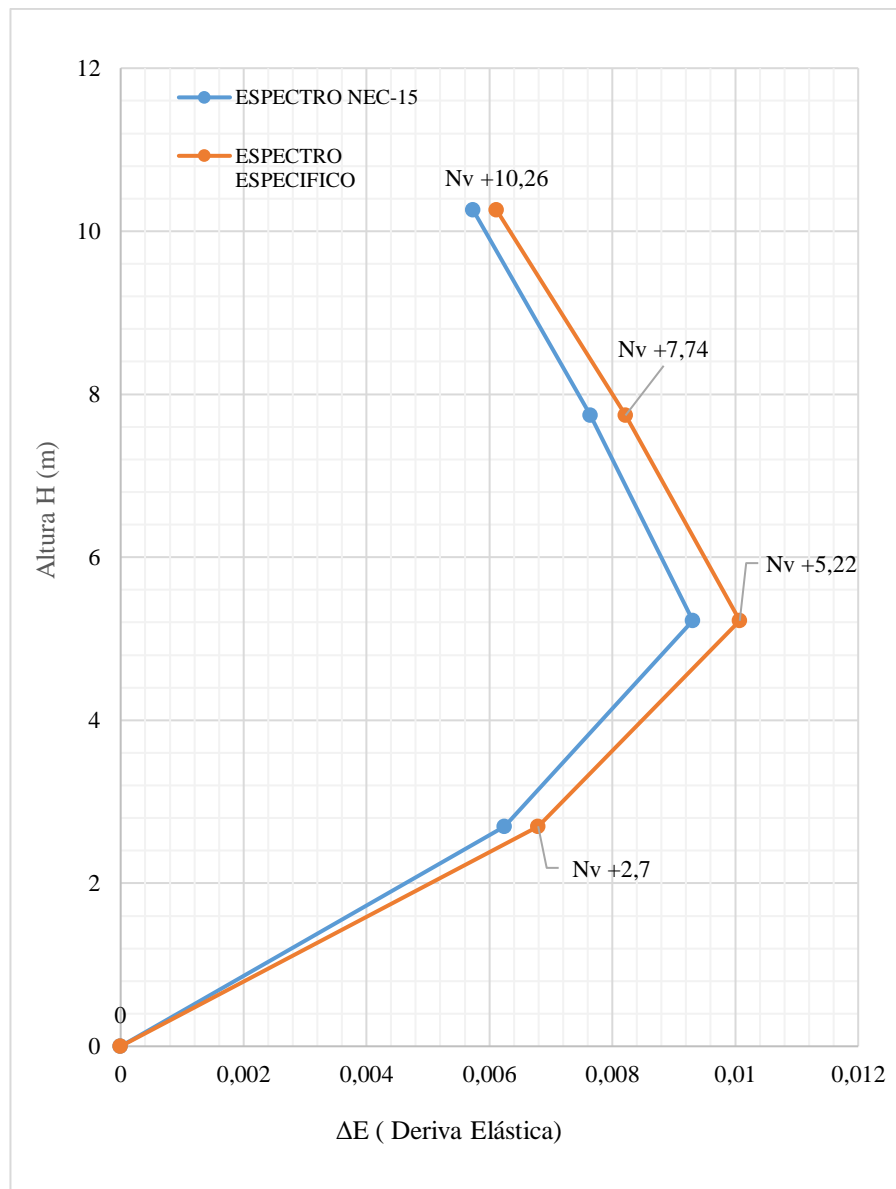


Figura 59. Comparación de las Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 3 Piso - Sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

ESPECTRO NEC-15

ESPECTRO ESPECIFICO

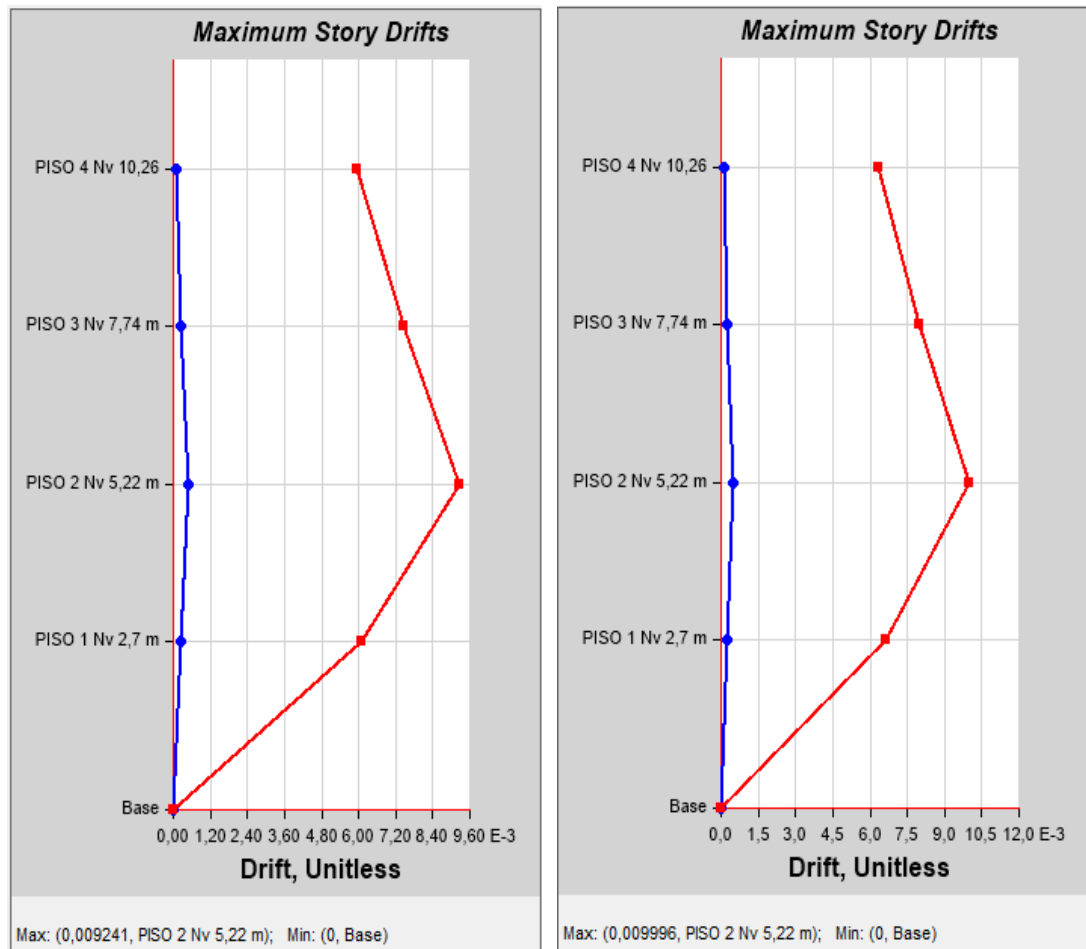


Figura 60 Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 3 Piso - Sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

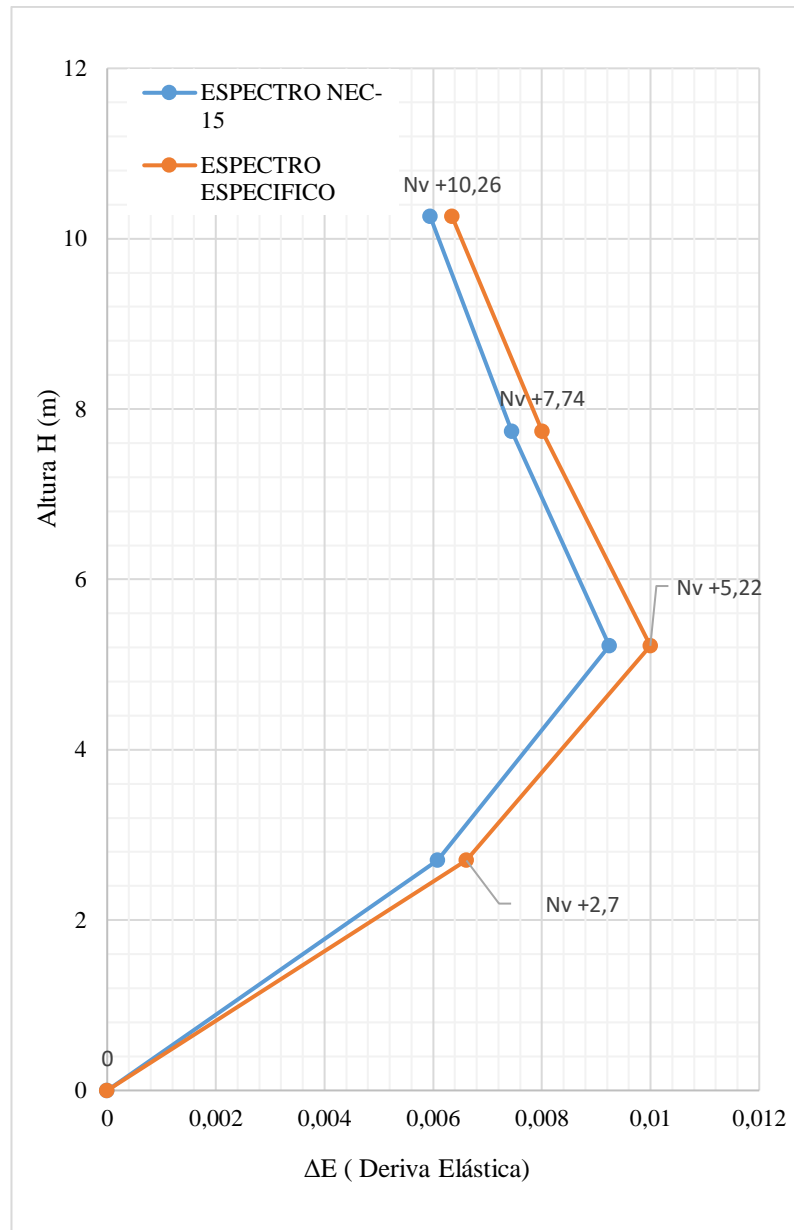


Figura 61. Comparación de las Derivas Elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 3 Piso - Sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 56. Derivas Máximas Elásticas e Inelásticas Estáticas de cada una de las estructuras analizadas en sitio.

ESTRUCTURA DE 1 PISO (Nv 2,52)				
Espectro NEC-15	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
	0,001174	0,44025	0,001148	0,4305
Espectro Específico	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
	0,001608	0,603	0,001572	0,5895
ESTRUCTURA DE 2 PISO (Nv 5,04)				
Espectro NEC-15	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
	0,005954	2,233	0,004346	1,6298
Espectro Específico	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
	0,006865	2,574	0,0050105	1,8789
ESTRUCTURA DE 3 PISO (Nv 5,22)				
Espectro NEC-15	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
	0,009309	3,491	0,009241	3,4654
Espectro Específico	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
	0,010073	3,777	0,009996	3,7485

Elaboración: Jennifer Guamán

De la tabla 56 se puede observar que la estructura de 2 pisos en el sentido X y de 3 pisos en el sentido X y Y con el espectro de la NEC 2015 y el Espectro Especifico la deriva máxima de piso supera al 2 % por lo que dichas estructuras no cumplen con la estabilidad especificada en la NEC-15, por lo que se puede considerar que existirá daños considerables o un posible colapso de la estructura bajo el sismo de diseño.

A su vez podemos observar que con el espectro específico la deriva máxima de piso es mayor en cada estructura.

4.2.7.4.1 Validación del Análisis Dinámico

El valor del cortante dinámico total en la base de las estructuras por cualquier método debe cumplir con lo siguiente:

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

A continuación se presenta los valores del cortante estático y cortante dinámico y la relación entre los dos valores.

- ESTRUCTURA 1 PISO

Tabla 57. Valores del Cortante Estático para la estructura de 1 pisos, Espectro NEC 2015 - sentido X y Y

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
PISO 1 Nv 2,52 m	2,52	Top	-4479	-4479
		Bottom	-4479	-4479

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 58. Valores del Cortante Dinámico para la estructura de 1 pisos, Espectro NEC 2015 - sentido X y Y

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
PISO 1 Nv 2,52 m	2,52	Top	4456,98	4478,74
		Bottom	4456,98	4478,74

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 59. Valores del Cortante Estático para la estructura de 1 pisos, Espectro Específico - sentido X y Y

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
PISO 1 Nv 2,52 m	2,52	Top	-6133,69	-6133,69
		Bottom	-6133,69	-6133,69

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 60. Valores del Cortante Dinámico para la estructura de 1 pisos, Espectro Específico - sentido X y Y

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
PISO 1 Nv 2,52 m	2,52	Top	6106,47	6135,02
		Bottom	6106,47	6135,02

Fuente: Etabs 2016. V16

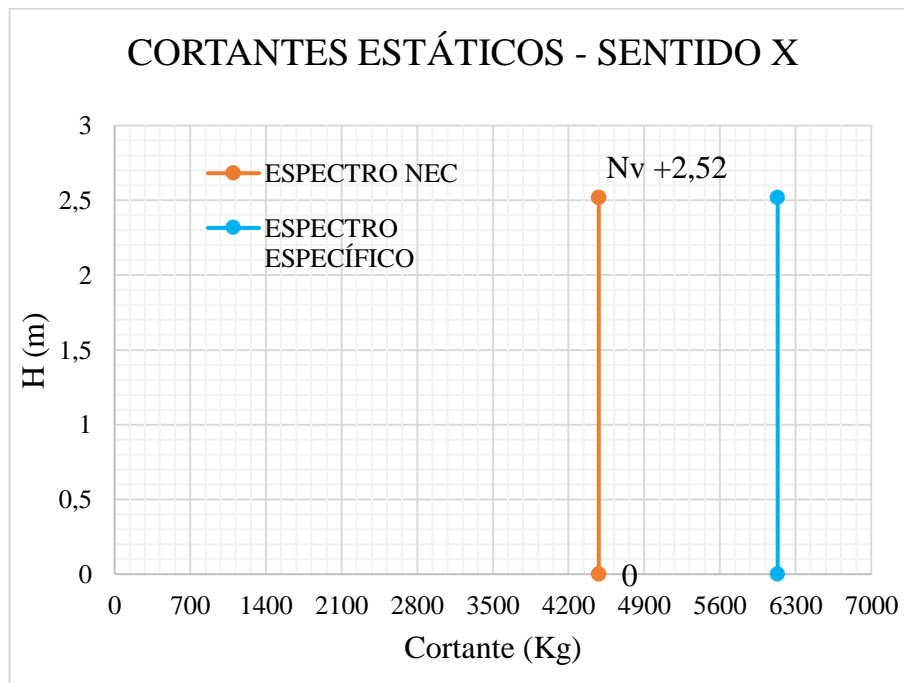


Figura 62. Comparación de los Cortantes Estáticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido X-Y

Fuente: Etabs 2016. V16

Como podemos observar en la figura anterior la cortante basal que ingresa a la estructura en el sentido X es de 4479 Kg y 6134 Kg para el espectro NEC 2015 y el espectro Determinista respectivamente, la diferencia que existe entre los valores de cortante basal se debe al incremento en aceleración que provee el espectro Determinista para estructura con periodos entre 0,14 y 1,49 segundos, siendo que la estructura en análisis tiene un periodo fundamental de vibración de 0,21 seg la aceleración inducida por el espectro determinista genera que sus solicitaciones de cortante supere a las del espectro de la NEC-15

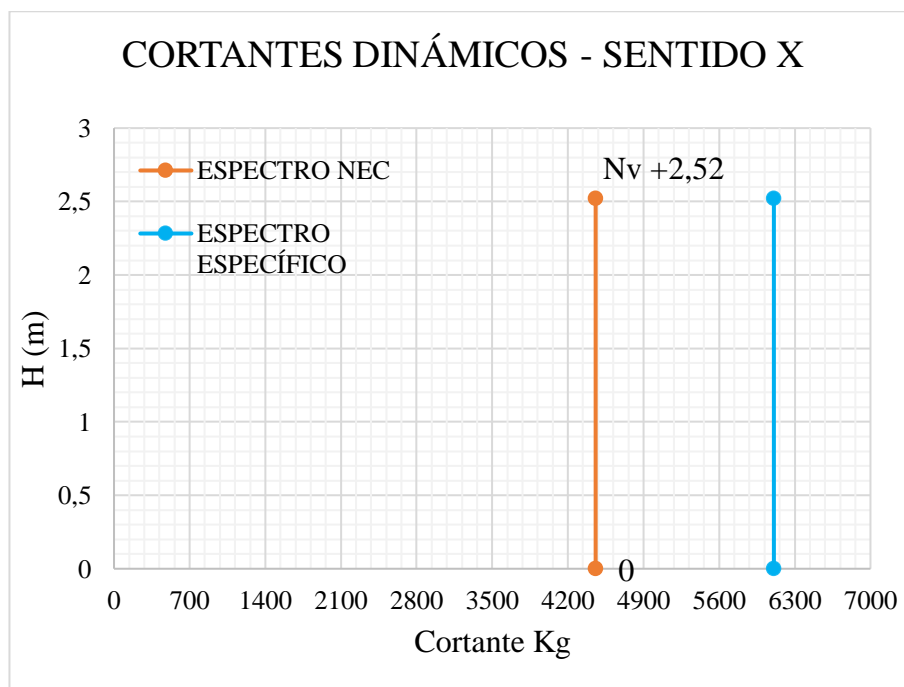


Figura 63. Comparación de los Cortantes Dinámicos obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

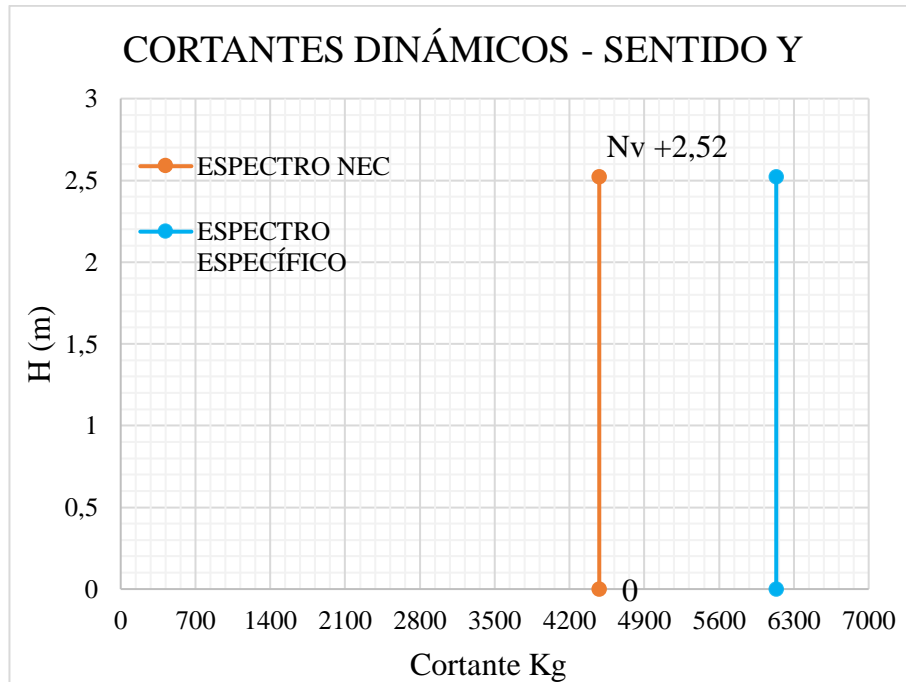


Figura 64. Comparación de los Cortantes Dinámicos obtenidas con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

En las figuras anteriores se presenta la cortante dinámica, al igual que el análisis estático se comprueba que la cortante dinámica es mayor para el espectro Determinista, por lo que se espera que los esfuerzos y desplazamientos de los elementos estructurales sean mayores para este espectro.

- ESTRUCTURA 2 PISOS

Tabla 61. Valores del Cortante Estático para la estructura de 2 pisos, Espectro NEC 2015 - sentido X y Y

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
PISO 3 Nv 7,54 m	7,54	Top	-4111,82	-4111,82
		Bottom	-4111,82	-4111,82
PISO 2 Nv 5,04 m	5,04	Top	-23196,94	-23196,94
		Bottom	-23196,94	-23196,94
PISO 1 Nv 2,52 m	2,52	Top	-36874,89	-36874,89
		Bottom	-36874,89	-36874,89

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 62. Valores del Cortante Dinámico para la estructura de 2 pisos, Espectro NEC 2015 - sentido X y Y

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
PISO 3 Nv 7,54 m	7,54	Top	4791,00	4565,60
		Bottom	4791,00	4565,60
PISO 2 Nv 5,04 m	5,04	Top	22047,86	21222,47
		Bottom	22047,86	21222,47
PISO 1 Nv 2,52 m	2,52	Top	32589,18	31918,04
		Bottom	32589,18	31918,04

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 63. Valores del Cortante Estático para la estructura de 2 pisos, Espectro Específico - sentido X y Y

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
PISO 3 Nv 7,54 m	7,54	Top	-4724,50	-4724,50
		Bottom	-4724,50	-4724,50
PISO 2 Nv 5,04 m	5,04	Top	-26733	-26733
		Bottom	-26733	-26733
PISO 1 Nv 2,52 m	2,52	Top	-42604,79	-42604,79
		Bottom	-42604,79	-42604,79

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 64. Valores del Cortante Dinámico para la estructura de 2 pisos, Espectro Específico - sentido X y Y

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
PISO 3 Nv 7,54 m	7,54	Top	5540,61	5370,77
		Bottom	5540,61	5370,77
PISO 2 Nv 5,04 m	5,04	Top	24932,17	24014,24
		Bottom	24932,17	24014,24
PISO 1 Nv 2,52 m	2,52	Top	36927,46	36228,79
		Bottom	36927,46	36228,79

Fuente: Etabs 2016. V16

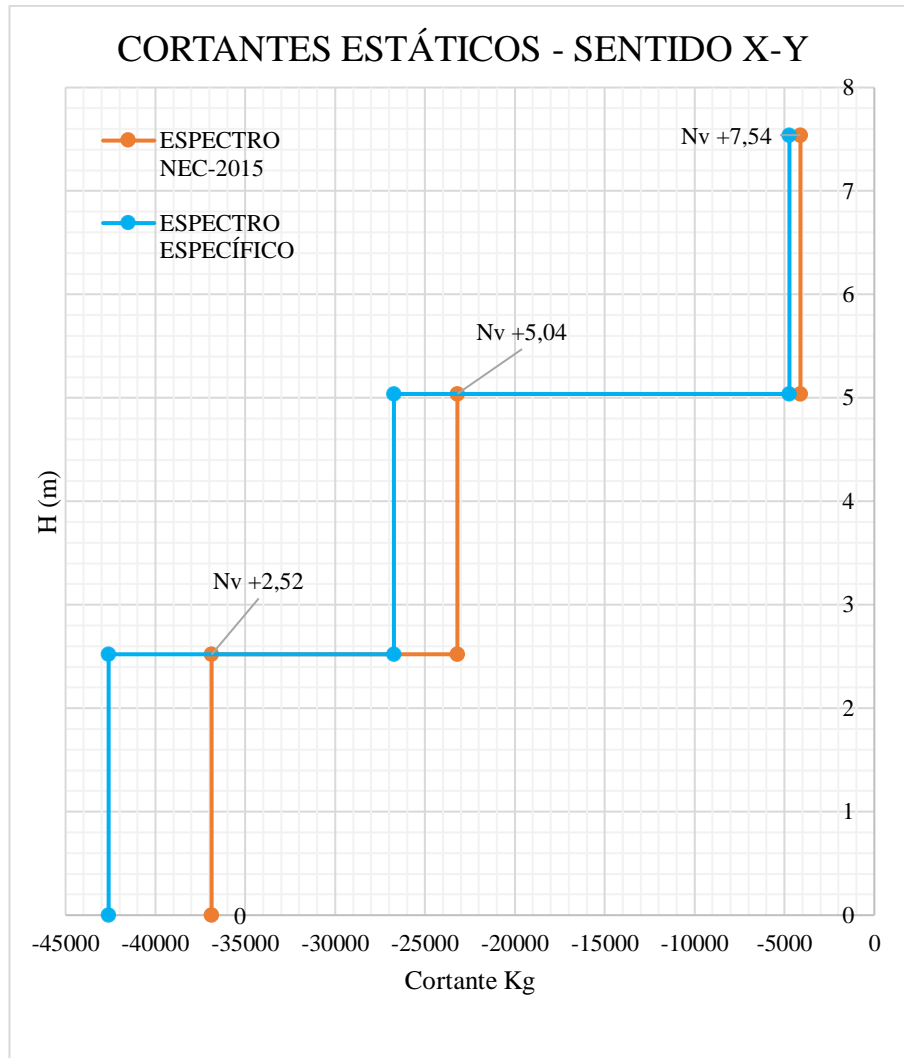


Figura 65. Comparación de los Cortantes Estáticos obtenidos con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 2 Piso – Sentido X-Y

Fuente: Etabs 2016. V16

El espectro Determinista genera un cortante basal que ingresa a la estructura de 4725 Kg, mientras que el espectro NEC genera un cortante de 4112 Kg, donde se observa que los cortantes generados con el espectro determinista son mayores a los de la NEC, esto se debe a que el periodo fundamental de la estructura se encuentra en un intervalo en el cual la aceleración del espectro Determinista es mayor que la aceleración del espectro NEC.

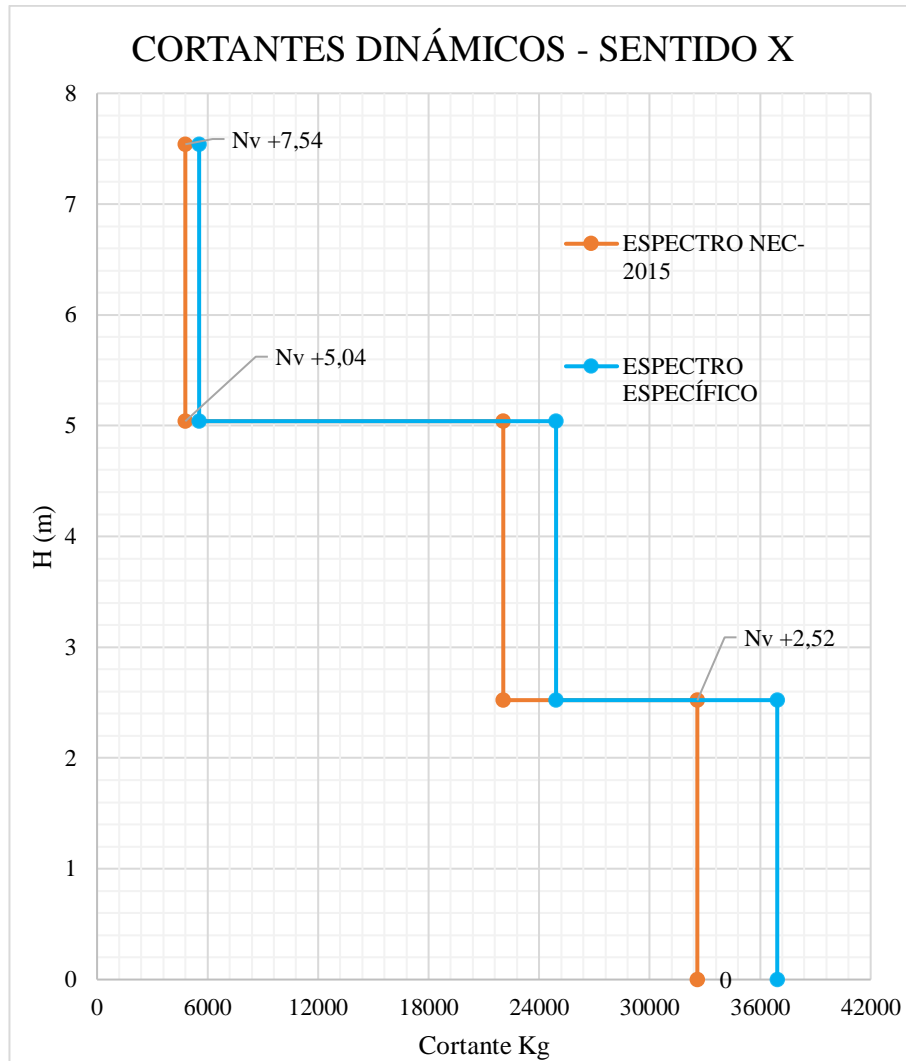


Figura 66. Comparación de los Cortantes Dinámico obtenidos con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 2 Piso – Sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

EL valor de cortante basal en la dirección X generada por el espectro NEC es de 32589 Kg y 36927 Kg con el espectro Determinista, esos valores ratifican la superioridad de cortante generadas por el espectro Determinista

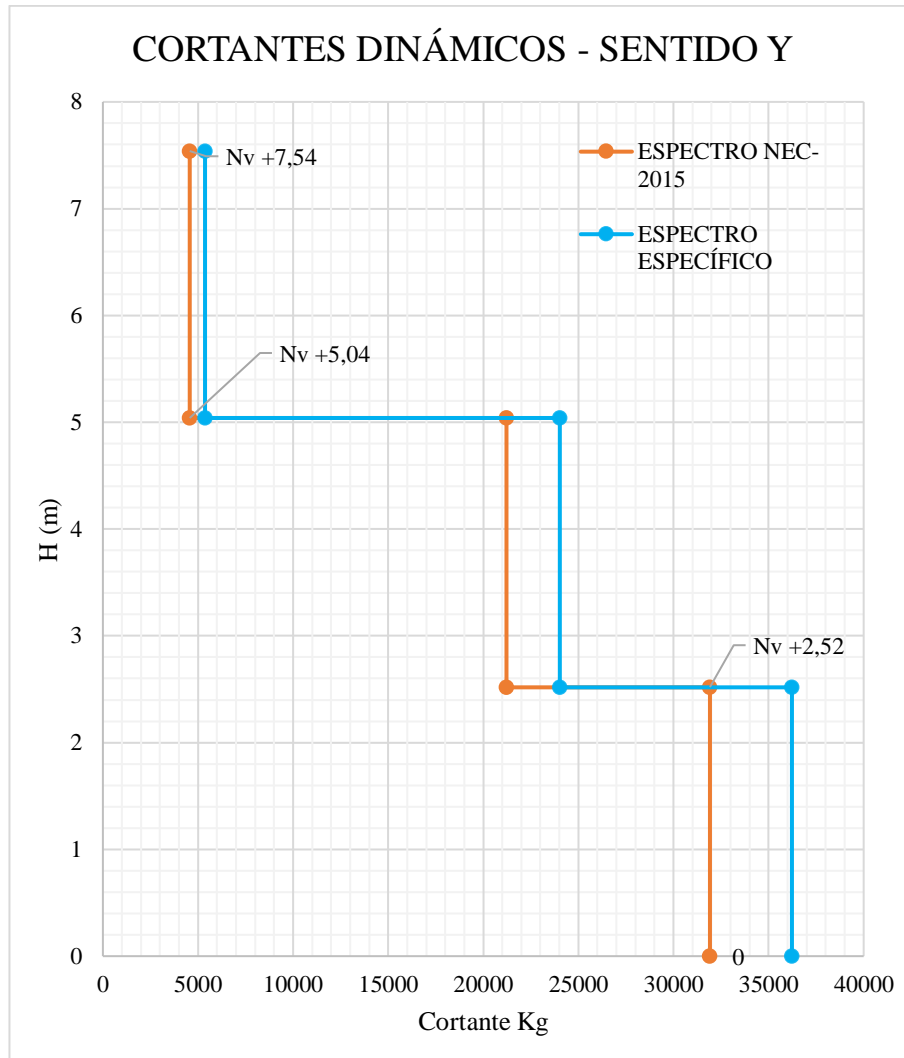


Figura 67. Comparación de los Cortantes Dinámico obtenidos con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 2 Piso – Sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

La figura 69 presenta el valor de cortante basal en la dirección Y, el espectro NEC genera un cortante de 31918 Kg y 36229 Kg con el espectro Determinista, esos valores ratifican la superioridad de cortante generadas por el espectro Determinista

- ESTRUCTURA DE 3 PISOS

Tabla 65. Valores del Cortante estático para la estructura de 3 pisos, Espectro NEC - sentido X y Y

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
PISO 4 Nv 10,26 m	10,26	Top	-6987,67	-6987,67
		Bottom	-6987,67	-6987,67
PISO 3 Nv 7,74 m	7,74	Top	-43741,08	-43741,08
		Bottom	-43741,08	-43741,08
PISO 2 Nv 5,22 m	5,22	Top	-87653,17	-87653,17
		Bottom	-87653,17	-87653,17
PISO 1 Nv 2,7 m	2,7	Top	-109935,97	-109935,97
		Bottom	-109935,97	-109935,97

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 66. Valores del Cortante Dinámico para la estructura de 3 pisos, Espectro NEC - sentido X y Y

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
PISO 4 Nv 10,26 m	10,26	Top	6810,69	7451,08
		Bottom	6810,69	7451,08
PISO 3 Nv 7,74 m	7,74	Top	37877,70	38125,25
		Bottom	37877,70	38125,25
PISO 2 Nv 5,22 m	5,22	Top	75779,53	75721,04
		Bottom	75779,53	75721,04
PISO 1 Nv 2,7 m	2,7	Top	93441,99	93602,28
		Bottom	93441,99	93602,28

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 67. Valores del Cortante Estático para la estructura de 3 pisos, Espectro Específico - sentido X y Y

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
PISO 4 Nv 10,26	10,26	Top	-7368,28	-7368,28
		Bottom	-7368,28	-7368,28
PISO 3 Nv 7,74 m	7,74	Top	-46729,05	-46729,05
		Bottom	-46729,05	-46729,05
PISO 2 Nv 5,22 m	5,22	Top	-94786,31	-94786,31
		Bottom	-94786,31	-94786,31
PISO 1 Nv 2,7 m	2,7	Top	-120072,97	-120072,97
		Bottom	-120072,97	-120072,97

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 68. Valores del Cortante Dinámico para la estructura de 3 pisos, Espectro Específico - sentido X y Y

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
PISO 4 Nv 10,26	10,26	Top	8484,99	9371,46
		Bottom	8484,99	9371,46
PISO 3 Nv 7,74 m	7,74	Top	42047,37	42629,62
		Bottom	42047,37	42629,62
PISO 2 Nv 5,22 m	5,22	Top	82127,24	82151,98
		Bottom	82127,24	82151,98
PISO 1 Nv 2,7 m	2,7	Top	102062,33	102530,48
		Bottom	102062,33	102530,48

Fuente: Etabs 2016. V16

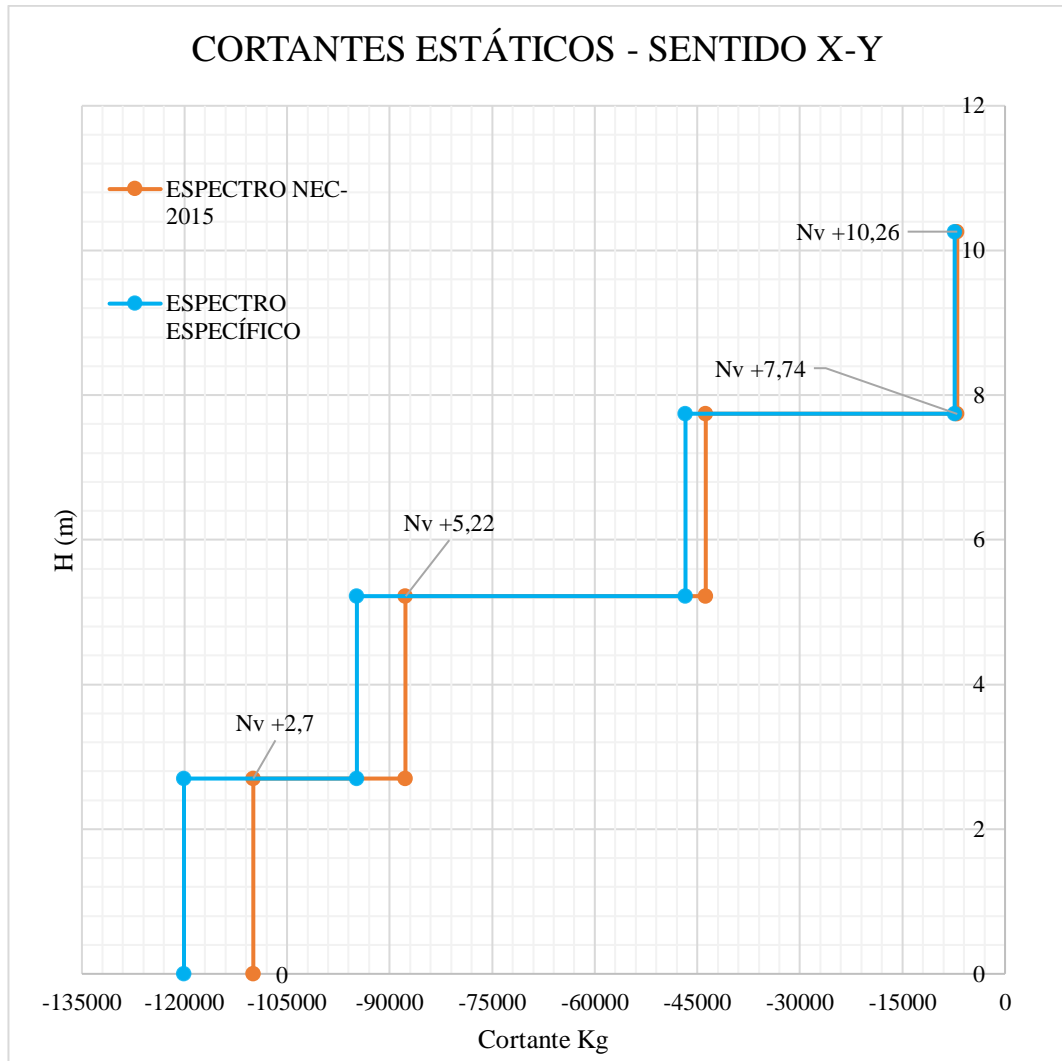


Figura 68. Comparación de los Cortantes Estáticos obtenidos con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 3 Piso – Sentido X - Y

Fuente: Etabs 2016. V16

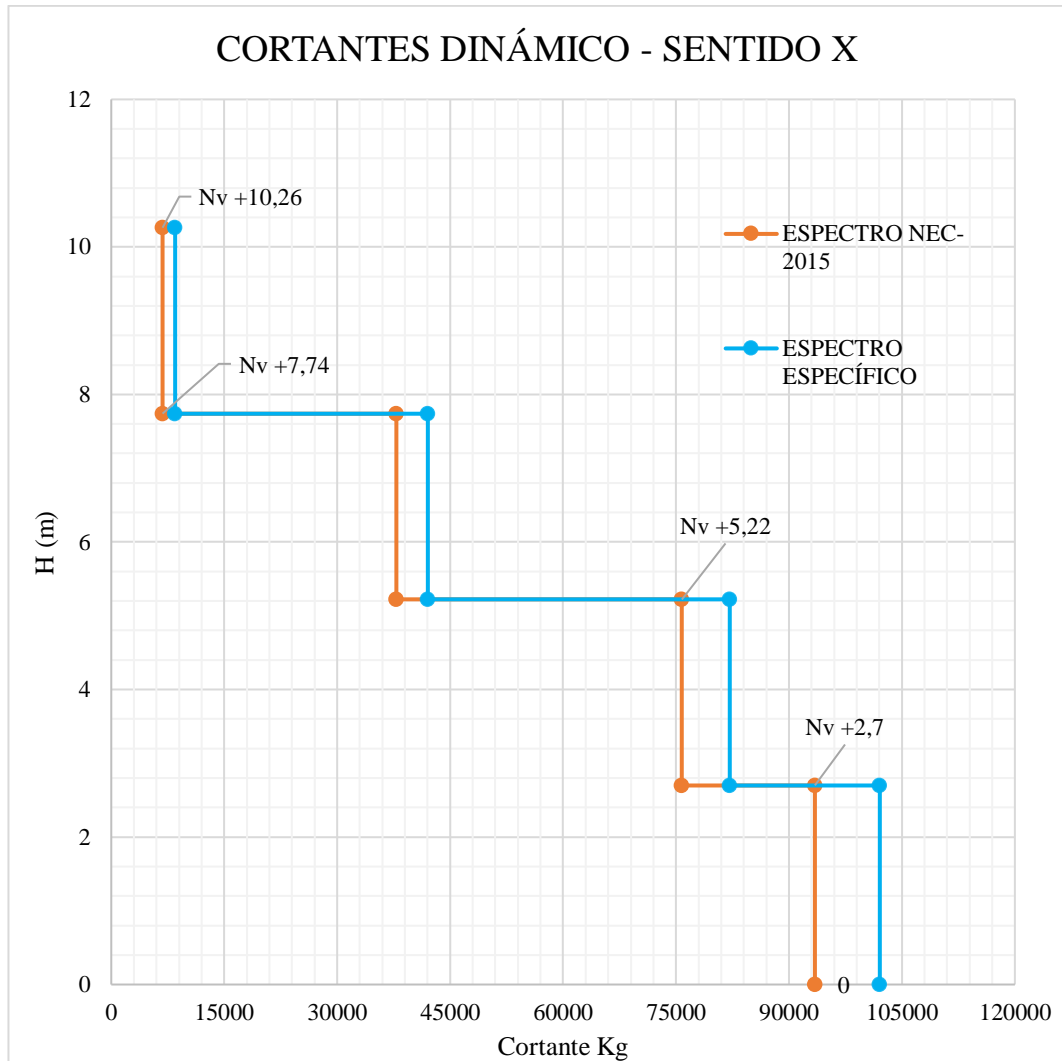


Figura 69. Comparación de los Cortantes Dinámico obtenidos con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 3 Piso – Sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

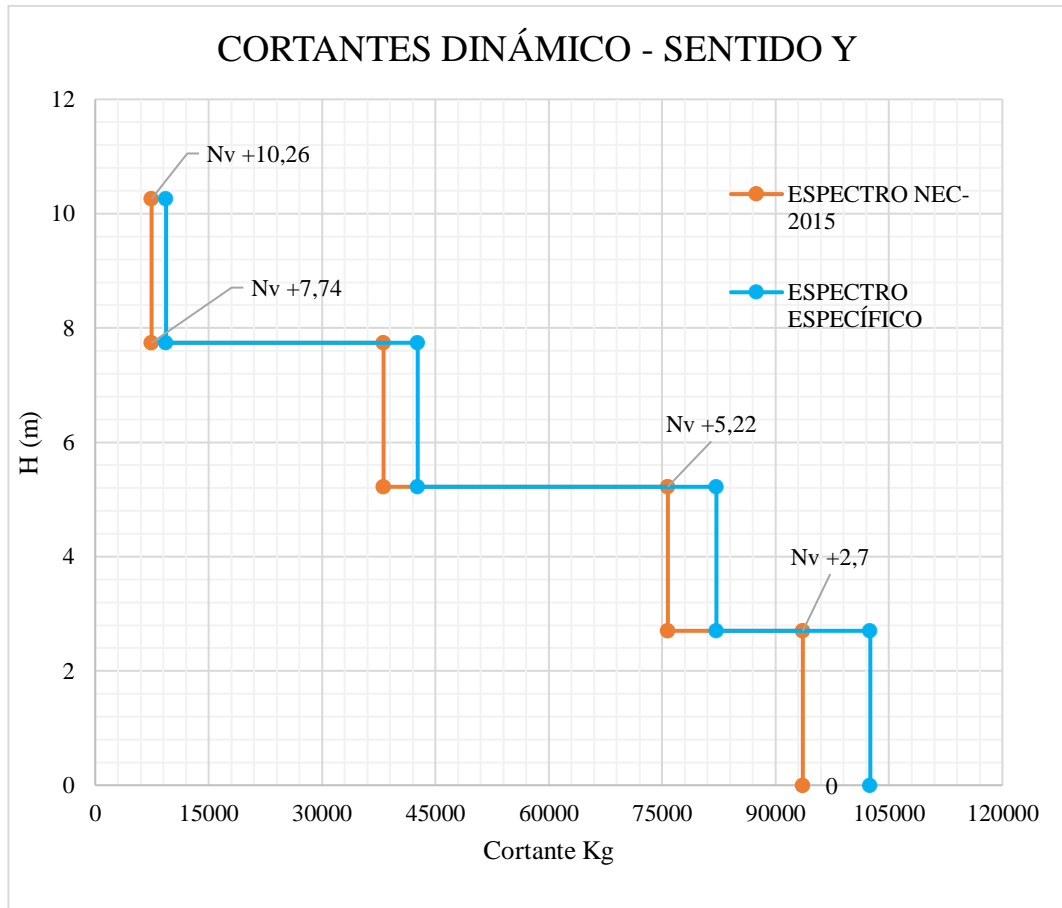


Figura 70. Comparación de los Cortantes Dinámico obtenidos con el espectro de la NEC-15 y Espectro Específico para la estructura de 3 Piso – Sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

De las figuras podemos concluir que las cortantes generadas por el espectro Determinista son mayores a las generadas por el espectro NEC.

Tabla 69 Validación del Análisis Dinámico

ESTRUCTURA DE 1 PISO						
Espectro NEC-15	Sentido X			Sentido Y		
	Vestát	Vdinám	Vdin/Vestá (%)	Vestát	Vdinám.	Vdin/Vestá(%)
	4479	4456,98	99,51	4479	4478,74	99,99
Espectro Específico	Sentido X			Sentido Y		
	Vestát	Vdinám	Vdin/Vestá (%)	Vestát	Vdinám.	Vdin/Vestá(%)
	6133,69	6106,47	99,55	6133,69	6135,02	100,02
ESTRUCTURA DE 2 PISO						
Espectro NEC-15	Sentido X			Sentido Y		
	Vestát	Vdinám	Vdin/Vestá (%)	Vestát	Vdinám.	Vdin/Vestá(%)
	36875	32589	88,38	36875	31918	86,56
Espectro Específico	Sentido X			Sentido Y		
	Vestát	Vdinám	Vdin/Vestá (%)	Vestát	Vdinám.	Vdin/Vestá(%)
	42605	36927	86,67	42605	36229	85,03
ESTRUCTURA DE 3 PISO						
Espectro NEC-15	Sentido X			Sentido Y		
	Vestát	Vdinám	Vdin/Vestá (%)	Vestát	Vdinám.	Vdin/Vestá(%)
	109936	93442	85,00	109936	93602	85,14
Espectro Específico	Sentido X			Sentido Y		
	Vestát	Vdinám	Vdin/Vestá (%)	Vestát	Vdinám.	Vdin/Vestá(%)
	120073	102062	85,00	120073	102530	85,39

Elaboración: Jennifer Guamán

La tabla 69 presenta el porcentaje entre la relación del cortante dinámico y el cortante estático, donde se observa que el análisis dinámico cumple con lo establecido por la norma vigente.

- **Derivas dinámicas**

Se obtuvieron las derivas elásticas dinámicas con los espectros ingresados, es decir con el espectro de la NEC-2015 y el espectro Determinístico y determinamos las derivas máximas inelásticas.

El valor de la deriva máxima inelástica debe ser menor al 2%.

- **ESTRUCTURA 1 PISO**

Tabla 70. Valores de las Derivas elásticas Dinámicas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro NEC 2015-Estructura de 1 piso

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Piso 1 Nv 2,52	ESPECT X Max	X	0,001212
Piso 1 Nv 2,52	ESPECT Y Max	Y	0,001157

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 71. Valores de las Derivas elásticas Dinámicas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro Específico-Estructura de 1 piso

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Piso 1 Nv 2,52	ESPECT X Max	X	0,00166
Piso 1 Nv 2,52	ESPECT Y Max	Y	0,001585

Fuente: Etabs 2016. V16

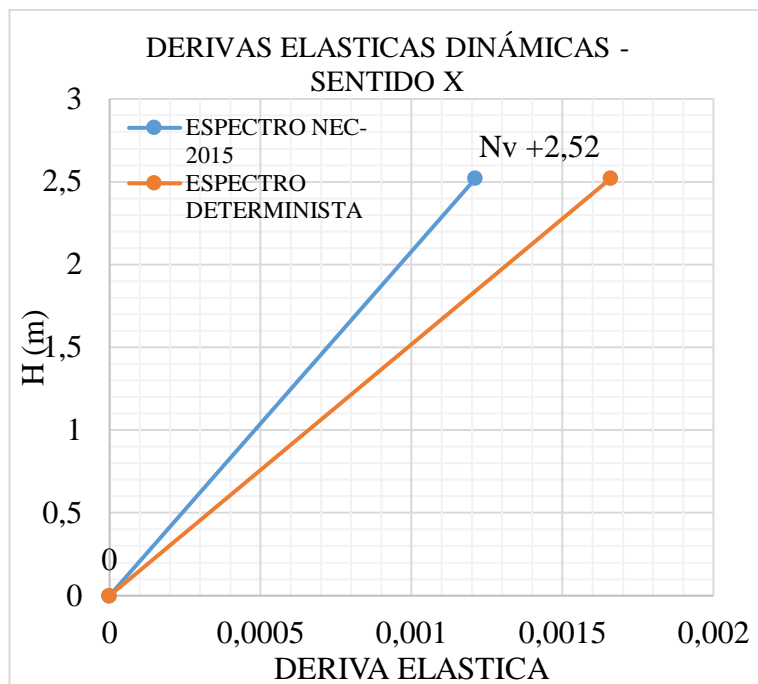


Figura 71. Comparación de las derivas elásticas dinámicas. Espectro NEC-15 y Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

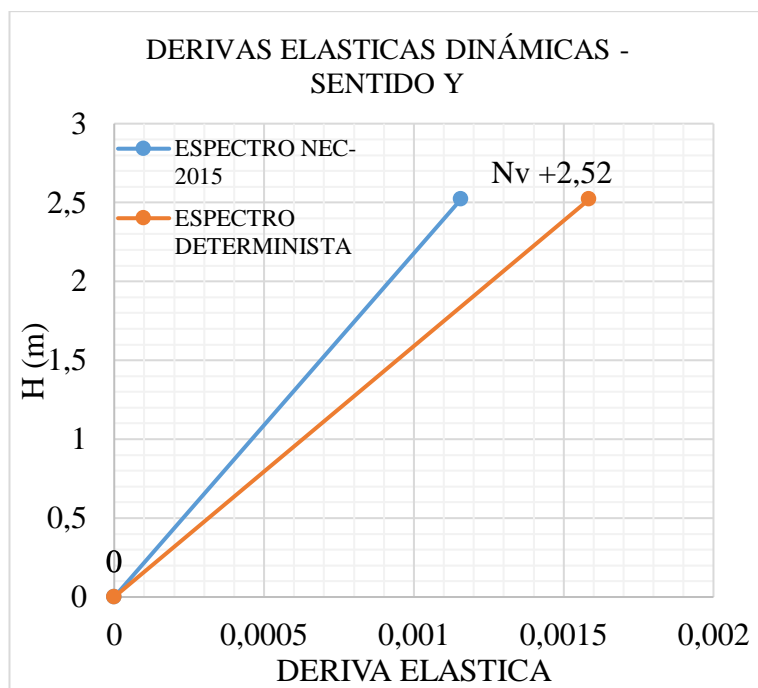


Figura 72. Comparación de las derivas elásticas dinámicas. Espectro NEC-15 y Específico para la estructura de 1 Piso - Sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

- ESTRUCTURA 2 PISOS

Tabla 72. Valores de las Derivas elásticas Dinámicas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro NEC 2015-Estructura de 2 piso

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
PISO 3 Nv 7,54 m	ESPECT X Max	X	0,00533
PISO 3 Nv 7,54 m	ESPECT Y Max	Y	0,0039
PISO 2 Nv 5,04 m	ESPECT X Max	X	0,00626
PISO 2 Nv 5,04 m	ESPECT Y Max	Y	0,0044
PISO 1 Nv 2,52 m	ESPECT X Max	X	0,00406
PISO 1 Nv 2,52 m	ESPECT Y Max	Y	0,00323

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 73. Valores de las Derivas elásticas Dinámicas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro Específico-Estructura de 2 piso.

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
PISO 3 Nv 7,54 m	ESPECT X Max	X	0,00607
PISO 3 Nv 7,54 m	ESPECT Y Max	Y	0,00446
PISO 2 Nv 5,04 m	ESPECT X Max	X	0,00708
PISO 2 Nv 5,04 m	ESPECT Y Max	Y	0,00497
PISO 1 Nv 2,52 m	ESPECT X Max	X	0,0046
PISO 1 Nv 2,52 m	ESPECT Y Max	Y	0,00364

Fuente: Etabs 2016. V16

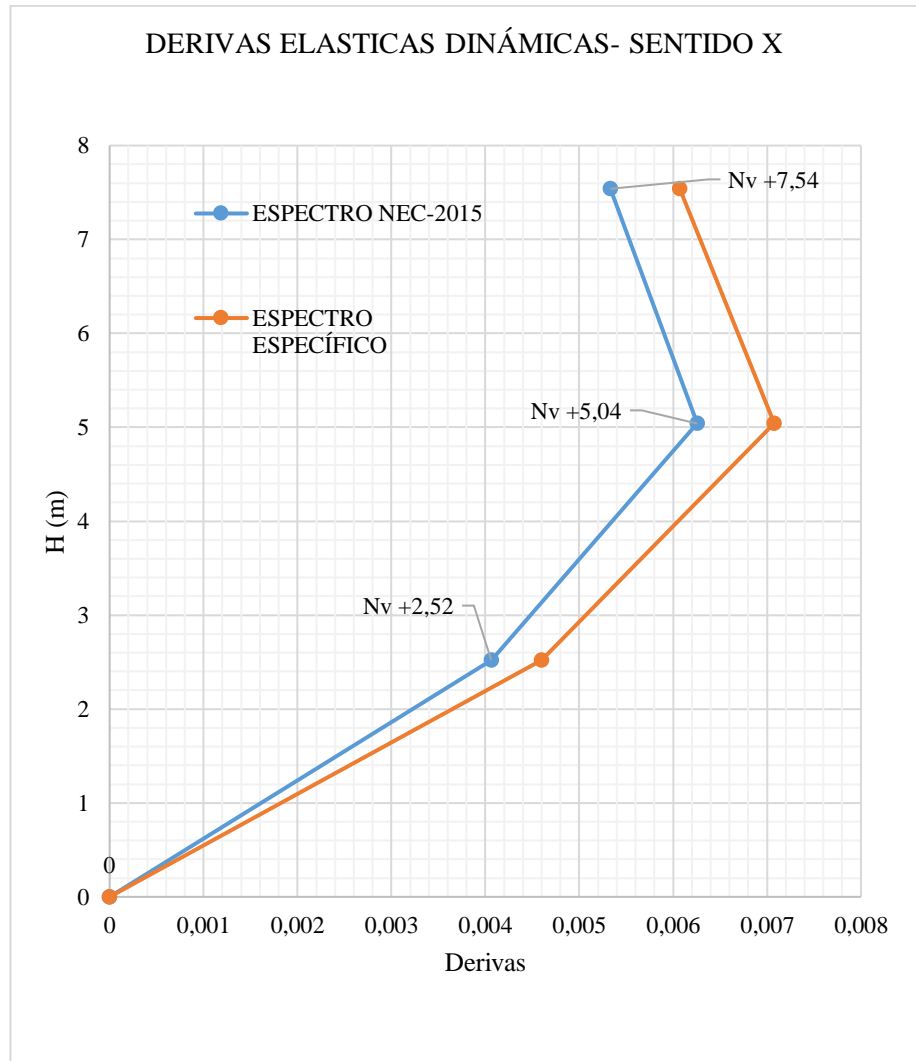


Figura 73. Comparación de las derivas elásticas dinámicas. Espectro NEC-15 y Específico para la estructura de 2 Piso - Sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

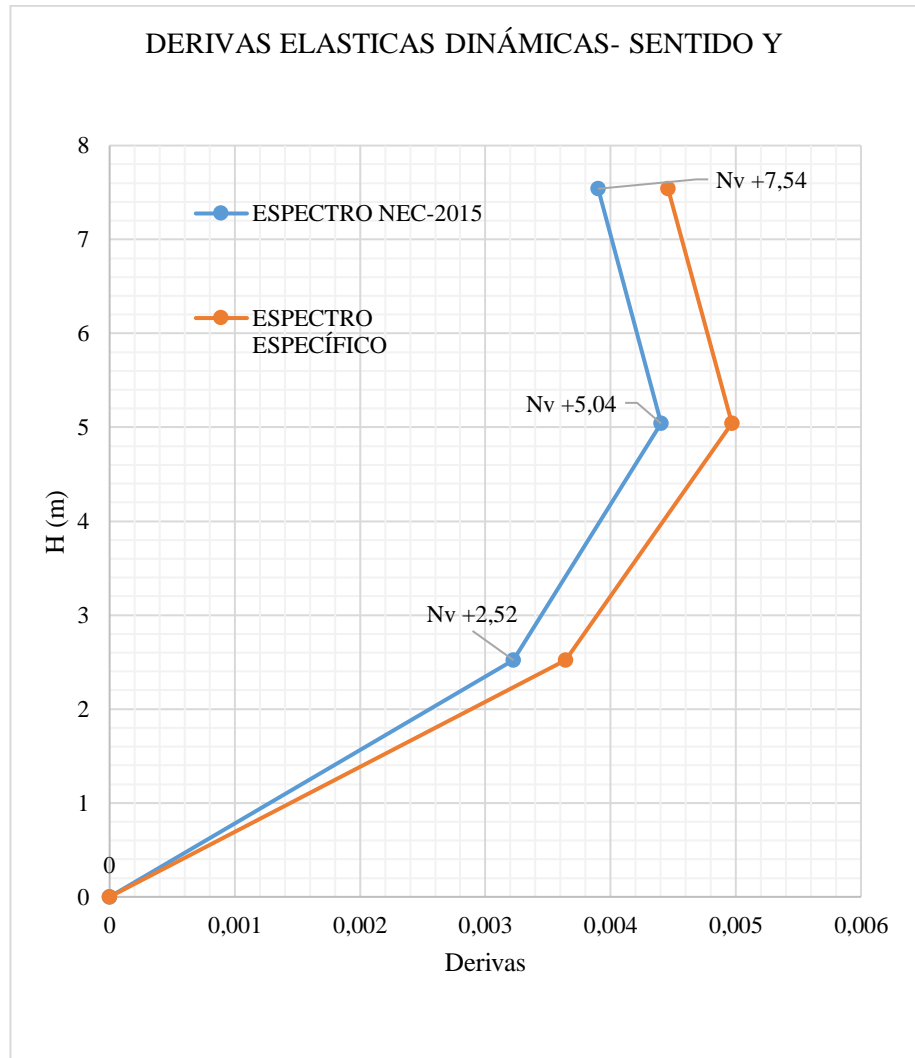


Figura 74. Comparación de las derivas elásticas dinámicas. Espectro NEC-15 y Específico para la estructura de 2 Piso - Sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

- ESTRUCTURA 3 PISOS

Tabla 74. Valores de las Derivas elásticas Dinámicas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro NEC 2015-Estructura de 3 piso

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
PISO 4 Nv 10,26	ESPECT X Max	X	0,005185
PISO 4 Nv 10,26	ESPECT Y Max	Y	0,00541
PISO 3 Nv 7,74 m	ESPECT Y Max	X	0,00677
PISO 3 Nv 7,74 m	ESPECT Y Max	Y	0,006991
PISO 2 Nv 5,22 m	ESPECT X Max	X	0,008995
PISO 2 Nv 5,22 m	ESPECT Y Max	Y	0,008668
PISO 1 Nv 2,7 m	ESPECT X Max	X	0,006066
PISO 1 Nv 2,7 m	ESPECT Y Max	Y	0,005713

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 75. Valores de las Derivas elásticas Dinámicas en X y Y para los diferentes niveles. Espectro Específico--Estructura de 3 piso

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
PISO 4 Nv 10,26	ESPECT X Max	X	0,005949
PISO 4 Nv 10,26	ESPECT Y Max	Y	0,006154
PISO 3 Nv 7,74 m	ESPECT Y Max	X	0,007439
PISO 3 Nv 7,74 m	ESPECT Y Max	Y	0,007627
PISO 2 Nv 5,22 m	ESPECT X Max	X	0,009731
PISO 2 Nv 5,22 m	ESPECT Y Max	Y	0,009388
PISO 1 Nv 2,7 m	ESPECT X Max	X	0,006574
PISO 1 Nv 2,7 m	ESPECT Y Max	Y	0,006205

Fuente: Etabs 2016. V16

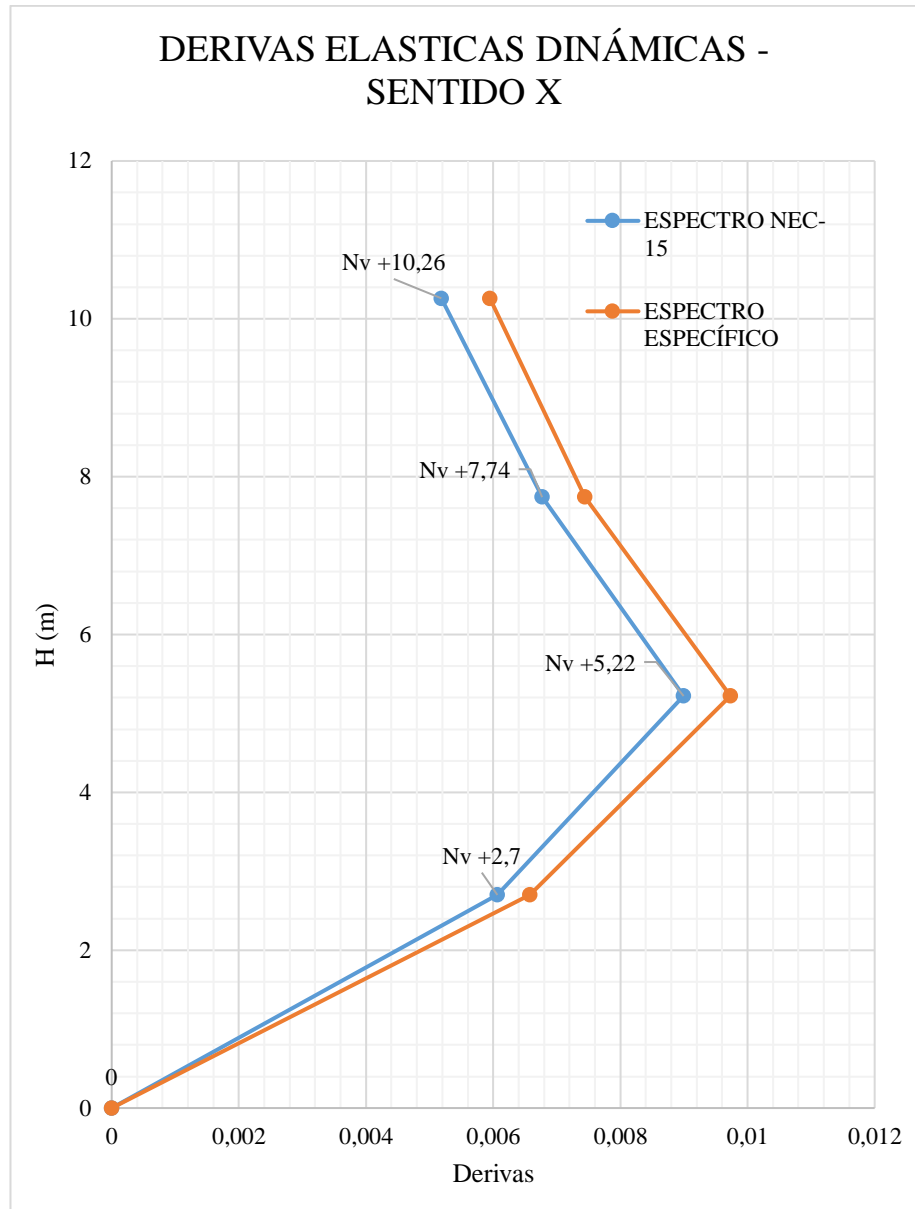


Figura 75. Comparación de las derivas elásticas dinámicas. Espectro NEC-15 y Específico para la estructura de 3 Piso - Sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

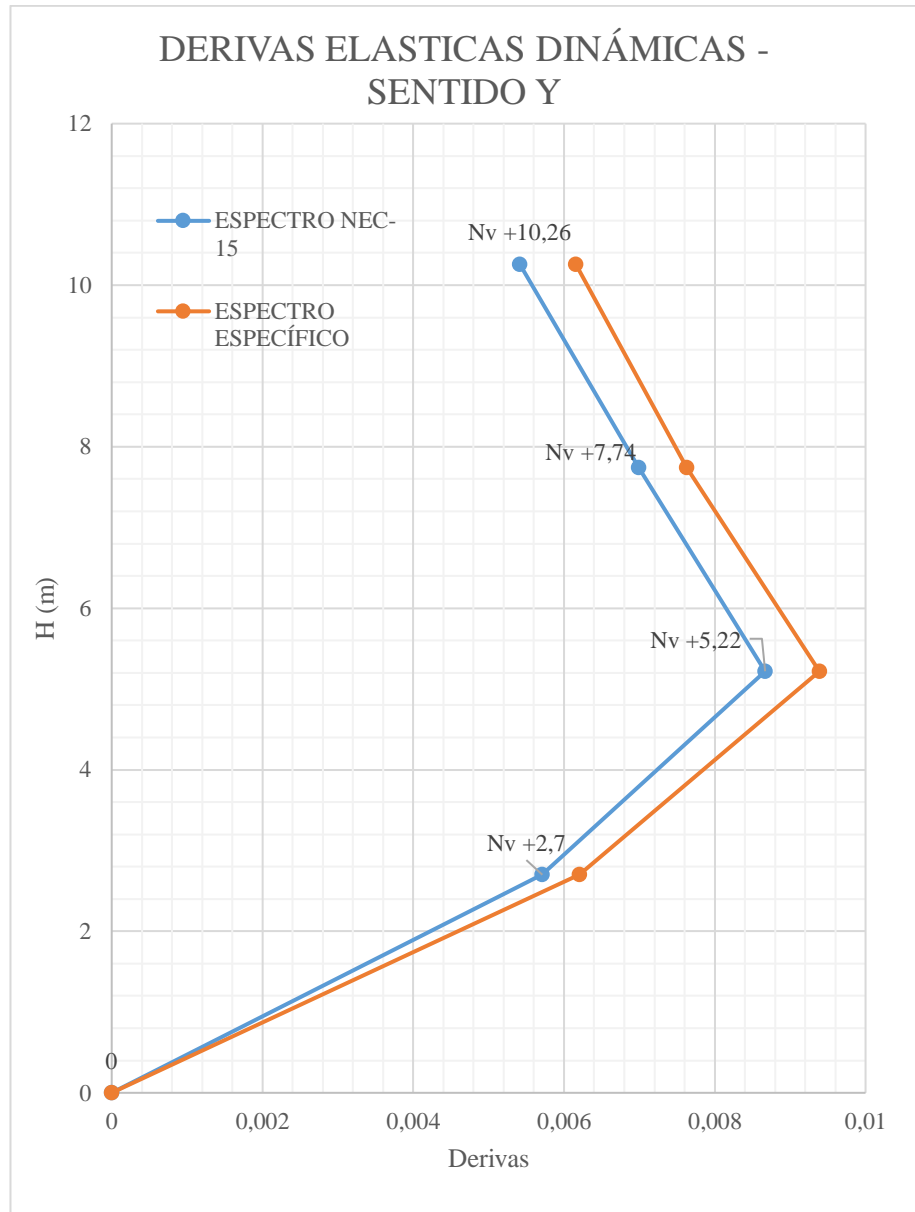


Figura 76. Comparación de las derivas elásticas dinámicas. Espectro NEC-15 y Específico para la estructura de 3 Piso - Sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 76. Derivas de piso elásticas con cada espectro

ESTRUCTURA DE 1 PISO (Nv 2,52)				
Espectro NEC-15	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
	0,001212	0,4545	0,001157	0,433875
Espectro Especifico	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
	0,00166	0,6225	0,001585	0,594375
ESTRUCTURA DE 2 PISO (Nv 5.04)				
Espectro NEC-15	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
	0,006256	2,346	0,004404	1,6515
Espectro Especifico	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
	0,006499	2,437125	0,004456	1,671
ESTRUCTURA DE 3 PISO (Nv 5,22)				
Espectro NEC-15	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
	0,008995	3,37313	0,008668	3,2505
Espectro Especifico	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
	0,009731	3,64	0,009388	3,521

Elaboración: Jennifer Guam

La tabla 76 presenta las derivas máximas dinámicas por los espectros NEC-15 y Específico, donde se observa que las derivas generadas por el espectro Especifico son mayores a las del espectro de la NEC-15.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

De acuerdo a la hipótesis planteado anteriormente en esta investigación “Estudio de Peligro Sísmico Determinista para las estructuras del Sector la Pradera, Parroquia Celiano Monje, de la Ciudad de Ambato Provincia Tungurahua” se determinó que la envolvente de los espectros de aceleración calculados mediante ecuaciones de atenuación en un intervalo de período de vibración de 0,14 a 1,49 segundos genera aceleraciones mayores comparada con el espectro de la NEC-15 por lo que se ve afectado el comportamiento estructural de las estructuras analizadas en sitio (1 a 3 pisos).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La falla geológica cortical que posee mayor magnitud de momento calculada es la de **Samanga** con una Mw de **6,9** y la falla de subducción en la Placa de Nazca podría generar una magnitud de momento de **8,9** por su mayor longitud de ruptura superficial.
- La respuesta de aceleración para la falla de subducción dependerá de la profundidad a la que se libere la energía para producir un sismo ya que a mayor profundidad focales mayores aceleraciones por lo que la profundidad focal que se utilizó en este estudio es de 125 Km debido a que existen eventos registrados a profundidades mayores a 100 km, para fallas corticales la respuesta de aceleración varía en base a la distancia del epicentro, la profundidad focal para este análisis es de 30 Km debido a que los sismos corticales intraplaca ocurren dentro de la placa continental a profundidades menores o iguales a 30 Km.
- Los espectros obtenidos con el modelo de Kanno presentan mayor respuesta de aceleración, para cada una de las fallas geológicas corticales seleccionadas, la falla de Huachi, Ambato, Totoras y Samanga presentan una aceleración de 1,36 g, 1,67 g, 1,17g y 1,16 g respectivamente.
- El espectro que generó mayor respuesta de aceleración fue el obtenido mediante el modelo de Kanno con la Falla de Ambato, ya que se encuentra a una distancia perpendicular a la zona de estudio de **0.49 Km**, siendo esta la distancia con menor valor respecto a las demás fallas seleccionadas, dicho espectro supera al espectro de la NEC-15.
- Mediante los espectros calculados se determinó que las aceleraciones máximas ocurren en periodos de **0,2** seg y **0,3** seg representando el **21,43** y el **71,43%** respectivamente, lo que indica que las estructuras que poseen una altura entre

2 a 3 pisos son las que pueden sufrir mayores daños en sus elementos estructurales y no estructurales.

- Del espectro específico de sitio se podrá tener aceleraciones hasta **1,67 g** que representa una variación de **28,74%** respecto al espectro de la NEC-15, en intervalos de **0,14 a 1,49** seg se genera aceleraciones mayores en comparación a lo obtenido con el espectro de la NEC-15, por lo que la estructuras en el sitio de análisis deberán ser diseñadas para aceleraciones mayores a las obtenidas con el espectro de la NEC-15 en los rangos de período T especificados.
- El periodo fundamental obtenido mediante el programa Etabs 2016 para la estructura de un piso es **0,210 seg** el cual no se encuentra dentro del rango establecido, a su vez no se presentaron problemas de torsión por lo que los valores registrados en el primer y segundo modo de vibración es **menor al 30%**, las derivas de piso inelásticas obtenidas son menores al 2% es decir que se encuentran dentro del rango establecido, lo que garantizara un buen desempeño estructural.
- La estructura de 2 pisos presenta un periodo de vibración de **0,519 seg**, mismo que supera al rango establecido. En el primer y segundo modo de vibración los valores obtenidos son **menores al 30%** lo que indica que no se registra problemas de torsión en la edificación, las derivas de piso inelásticas obtenida en el sentido Y con el espectro de la NEC-15 y Determinístico son menores al 2%, mientras que en el sentido X la deriva supera a lo establecido con los dos espectros.
- La estructura de 3 pisos tiene un periodo fundamental de **0,692 seg**, lo que indica que la estructura es más flexibles a lo que la NEC-15 recomienda. En el primero y segundo modo de vibración se observa que el valor registrado es **menor al 30%** lo que quiere decir que no se registran problemas de torsión. La deriva de piso inelástica obtenida supera al **2%** es decir que es una estructura que no cumple con lo establecido por la NEC-15.

- En base a los espectros calculados para la zona de estudio, se observa que las fallas corticales son las que mayor daño puede causar en estructuras que posean periodos de vibración de **0,14 a 1,49 seg** es decir en estructuras de **1 a 10** pisos, debido a que en ese periodo se producen aceleraciones altas, mayores a las del Espectro NEC, mientras que la liberación de energía de la falla de subducción muestra aceleraciones menores al espectro de la norma vigente.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es importante que la ciudad de Ambato cuente con un mapa de microzonificación de suelos en base a los parámetros establecidos por la NEC-15.
- Para estructuras futuras en la zona de estudio se recomienda realizar un diseño sísmo resistente en base a la NEC-15 a su vez verificar su desempeño con un Espectro Específico de sitio, mientras que para las estructuras existentes se debe realizar una evaluación del desempeño estructural en base al Espectro Específico Calculado en este estudio.
- Se recomienda tener en cuenta las actualizaciones de las ecuaciones de atenuación, ya que constantemente los autores van mejorando sus modelos, para de esa manera poder obtener mejores resultados en posteriores investigaciones.
- Seguir realizando estudios e investigación referente a este tema ya que sería de gran ayuda para futuros eventos.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. I. Castillo Jaramillo, «Peligo Sismico de la Cuenca de Loja-Ecuador,» Universidad Técnica Particular de Loja, 2013. [En línea]. Available: http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8324/1/Castillo_Jaramillo_Diego_Israel.pdf.
- [2] O. C. Ortiz Panchi, «Sismotectónica y Peligrosidad Sísmica en Ecuador,» Universidad Complutense de Madrid , 2013. [En línea]. Available: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf>.
- [3] D. I. Castillo Torres, «Espectro de Diseño para Quito, Considerando Factores de Cercanía Asociadas Fallas Ciegas,» Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9092>.
- [4] D. M. Quizanga Martínez, «Espectros Especificos para la Ciudad de Quito en Función de Fallas Ciegas Inversas,» Universidad Politécnica Nacional , 2017. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11856/1/CD-6563.pdf>.
- [5] J. Valverde, J. Fernández, E. Jiménez, T. Vaca y F. Alarcón, «Microzonificación Sísmica de los Suelos,» [En línea]. Available: <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/51553.pdf>.
- [6] I. Geofísico, «Terremoto del 5 de Agosto de 1949,» Escuela Politécnica Nacional, 2013. [En línea]. Available: <http://www.igepn.edu.ec/sangay/805-terremoto-del-5-de-agosto-de-1949>.
- [7] P. X. Villalba Nieto, «Comparación del Análisis Modal Espectral,» Universidad Central del Ecuador, 2015. [En línea]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4238/1/T-UCE-0011-67.pdf>.
- [8] G. Hernández Ruiz, «Análisis Comparativo de los Espectros de Diseño Y de los Acelerogramas reales. Aplicación a España y Europa,» Universidad Politécnica de Calatuña, 2007. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6408/00.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- [9] N. Alacón, N. Cimadon y C. Ferrada, «La Tierra y su Estructura,» Universidad de la Americas, Septiembre 2010. [En línea]. Available: <http://latierraysuestructura.blogspot.com/>.
- [10] G. Vera Prado y P. González Vergara, «Estructura Interna de la Tierra,» Portal Educativo, Septiembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.portaleducativo.net/cuarto-basico/746/Estructura-interna-de-la-Tierra>.
- [11] M. Rodríguez, «Geomorfología y Tectónica de placas,» 2013. [En línea]. Available: <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/BioMarina/02.pdf>.
- [12] N. Tortagada Camps, «Tectónica de Placas,» Colegio Hermes, 2007. [En línea]. Available: <http://www.cac.es/cursomotivar/resources/document/2007/16.pdf>.
- [13] J. Kious y R. Tilling, «The Story of Plate Tectonics,» USGS, 2015. [En línea]. Available: <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/dynamic.html#anchor19309449>.
- [14] INPRES, «Fallas Geológicas,» San Juan, Argentina, 1993. [En línea]. Available: <http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>.
- [15] F. V. Sánchez, «Los Terremotos y sus Causas,» Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, [En línea]. Available: [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETA-C1/\\$File/ETA-C1.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETA-C1/$File/ETA-C1.pdf).
- [16] P. Suárez, «Sismos,» 1985. [En línea]. Available: <http://noticieros.televisa.com/infografia/sismos/index.html#carousel-example-generic>.
- [17] A. J. Sanchez, «Los sismos, características y causas,» Enero 2018. [En línea]. Available: <https://create.piktochart.com/output/18646657-los-sismos-caracteristicas-e-impacto>.
- [18] I. E.T. S. Bartolome, «Actividad de las Ondas Sísmicas,» [En línea].: <http://fisicasanbartolome.wikispaces.com/file/view/Actividad+Ondas+Sismicas.pdf>.
- [19] A. M. Bolaños Luna y O. M. Monroy Concha, «Espectro de Peligro Sísmico Uniforme,» Pontificia Universidad Católica de Perú, 204. [En línea]. Available: http://tesis.pucp.edu.pe:8080/repositorio/bitstream/handle/123456789/1331/BOLANOS_ANA_Y_MONROY_OMAR_ESPECTROS_PELIGRO_SISMICO.pdf?sequence=1.

- [20] Z. Aguilar, «Análisis de Peligro Sísmico y Estimado del Movimiento Sísmico de Diseño,» 2016. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/237684107_ANALISIS_DE_PELIGRO_SISMICO_Y_ESTIMADO_DEL_MOVIMIENTO_SISMICO_DE_DISENO.
- [21] N. E. d. I. C. (NEC), «Peligro Sísmico NEC-SE-DS,» Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015, 2015. [En línea]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>.
- [22] INEN 689,» [En línea]. Available: http://apps.normalizacion.gob.ec/filesserver/2018/nte_inen_689.pdf.
- [23] L. M. Taípe Acosta, Análisis de las ecuaciones de predicción de movimiento de suelo para el Ecuador utilizando datos registrados durante el periodo 2000-2011 en estaciones sísmicas de banda ancha y acelerógrafos, 2013. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6447/1/CD-4961.pdf>.
- [24] D. Wells y K. Coppersmith, «Nuevas relaciones empíricas entre la magnitud, longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y desplazamiento de superficie,» Agosto 1994. [En línea]. Available: <http://seismo.berkeley.edu/~rallen/teaching/eps256-s07/WellsCoppersmith1994.pdf>.
- [25] L. Cabañas y B. Benito, «Revisión de modelos de movimiento fuerte del suelo y aplicación a la predicción de espectros de respuesta,» [En línea]. Available: http://redgeomática.rediris.es/sismo/pdf/pub_029.pdf.
- [26] H. A. Parra Cárdenas, M. B. Benito Oterino, J. M. Gaspar Escribano, A. Fernández Lorenzo, M. P. Luna Ludeña y X. P. Molina Simbaña, «Estimación de la Peligrosidad Sísmica en Ecuador continental,» ESPE, [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13741/1/978-9942-765-10-9.pdf>.
- [27] I. Geofísico, «Terremoto Ambato 5 de agosto 1949,» Escuela Politécnica Nacional, 2013. [En línea]. Available: <http://www.igepn.edu.ec/cayambe/805-terremoto-del-5-de-agosto-de-1949>.
- [28] S. Pérez, M. Muñoz, G. Carbón y F. Ruiz, «Correlaciones empíricas entre la velocidad de propagación de las ondas S (V_s) y otros parámetros geotécnicos para

- los suelos de Madrid,» 2012. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Alfonso_Munoz-Martin/publication/233810663_Correlaciones_empiricas_entre_la_velocidad_de_propagacion_de_las_ondas_s_Vs_y_otros_parametros_geotecnicos_para_los_suelos_de_Madrid/links/00b4951ee9d22d77b8000000/Correlacion.
- [29] «Sismicidad y Terremotos en Chile,» Centro Sismológico Nacional - Universidad de Chile., [En línea]. Available: http://www.csn.uchile.cl/wp-content/uploads/2014/06/001_terremotos_y_sismicidad_chile.pdf.
- [30] D. Boore y G. Atkinson, «Ecuaciones de predicción del movimiento del suelo para el componente horizontal promedio de PGA, PGV y PSA amortiguado al 5% en periodos espectrales entre 0,01 seg y 10,0 seg,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.resolutionmineeis.us/sites/default/files/references/boore-atkinson-2008.pdf>.
- [31] S. Akkar y J. Bommer, «Ecuaciones empíricas para la predicción de PGA, PGV y aceleraciones espectrales en Europa, la región Mediterránea y Oriente Medio,» 2010. [En línea]. Available: <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/srl/article-abstract/81/2/195/143661/empirical-equations-for-the-prediction-of-pga-pgv?redirectedFrom=fulltext>.
- [32] T. Kanno, «Una nueva relación de atenuación para el movimiento de tierra fuerte en Japón en base a datos registrados,» 2006. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/228663447_A_new_attenuation_relation_for_strong_ground_motion_in_Japan_based_on_recorded_data.
- [33] R. Youngs, «Fuertes relaciones de atenuación de movimiento de tierra en los terremotos de la zona de subducción,» 1997. [En línea]. Available: <http://www.pacificengineering.org/GM%20Attenuation/Strong%20GM%20Attenuation.pdf>.
- [34] J. Zhao, «Relaciones de atenuación del movimiento de tierra fuerte en Japón usando la clasificación del sitio basada en el periodo predominante,» 2006. [En línea]. Available: <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/96/3/898/146759>.
- [35] F. C. Elbio Villafañe, «Espectros de respuesta y diseño,» Universidad Nacional de Cuyo, 2002. [En línea]. Available:

<http://blog.uca.edu.ni/estructuras/files/2011/02/espectros-de-respuesta-y-de-dise%C3%B1o.pdf>.

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

2. ANEXOS

ANEXO A



Fotografía 1. Tripode



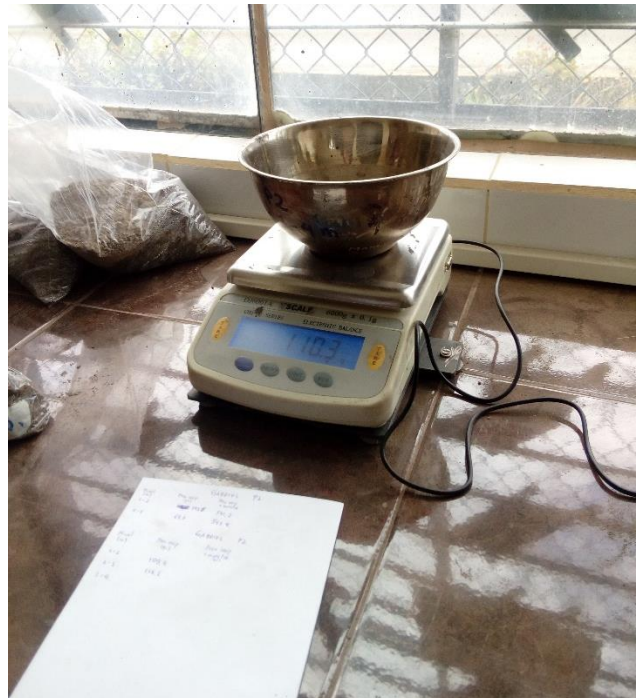
Fotografía 2. Realizando el ensayo SPT



Fotografía 3. Midiendo la longitud de la muestra de suelo



Fotografía 4. Muestras del Pozo 1



Fotografía 5. Pesando Muestra de Suelo



Fotografía 6. Secando las Muestras de Suelo



Fotografía 7. Tamizando la muestra de suelo para análisis granulométrico



Fotografía 8. Realizando el ensayo SPT y estructura de 1 piso



Fotografía 9. Estructura de 2 pisos



Fotografía 10. Estructura de 3 pisos

ANEXO B

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

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

Fuente: Modelo Boore y Atkinson 2008

B-2. Coeficientes de amplificación del sito dependiendo del período

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

Fuente: Modelo Boore y Atkinson 2008

B-3. Coeficientes de escala de Magnitud

e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	Mh
-0,53804	-0,5035	-0,75472	-0,5097	0,28805	-0,10164	0	6,75
-0,52883	-0,49429	-0,74551	-0,49966	0,28897	-0,10019	0	6,75
-0,52192	-0,48508	-0,73906	-0,48895	0,25144	-0,11006	0	6,75
-0,45285	-0,41831	-0,66722	-0,42229	0,17976	-0,12858	0	6,75
-0,28476	-0,25022	-0,48462	-0,26092	0,06369	-0,15752	0	6,75
0,00767	0,04912	-0,20578	0,02706	0,0117	-0,17051	0	6,75
0,20109	0,23102	0,03058	0,22193	0,04697	-0,15948	0	6,75
0,46128	0,48661	0,30185	0,49328	0,1799	-0,14539	0	6,75
0,5718	0,59253	0,4086	0,61472	0,52792	-0,12964	0,00102	6,75
0,51884	0,53496	0,3388	0,57747	0,6088	-0,13843	0,08607	6,75
0,43825	0,44516	0,25356	0,5199	0,64472	-0,15694	0,10601	6,75
0,3922	0,40602	0,21398	0,4608	0,7861	-0,07843	0,02262	6,75
0,18957	0,19878	0,00967	0,26337	0,76837	-0,09054	0	6,75
-0,21338	-0,19496	-0,49176	-0,10813	0,75179	-0,14053	0,10302	6,75
-0,46896	-0,43443	-0,78465	-0,3933	0,6788	-0,18257	0,05393	6,75
-0,86271	-0,79593	-1,20902	-0,88085	0,70689	-0,2595	0,19082	6,75
-1,22652	-1,15514	-1,57697	-1,27669	0,77989	-0,29657	0,29888	6,75
-1,82979	-1,7469	-2,22584	-1,91814	0,77966	-0,45384	0,67466	6,75
-2,24656	-2,15906	-2,58228	-2,38168	1,24961	-0,35874	0,79508	6,75
-1,28408	-1,2127	-1,50904	-1,41093	0,14271	-0,39006	0	8,5
-1,43145	-1,31632	-1,81022	-1,59217	0,52407	-0,37578	0	8,5
-2,15446	-2,16137	-2,53323	-2,14635	0,40387	-0,48492	0	8,5

Fuente: Modelo Boore y Atkinson 2008

ANEXO C

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

Periodo T(s)	b1	b2	b3	b4	b5	b6
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: Akkar y Bommer 2010

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

b7	b8	b9	b10	σ_1	σ_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	-6E-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: Akkar y Bommer 2010

ANEXO D

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

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

Fuente: Kanno 2006

ANEXO E

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

Período	c1	c2	c3	c4*	c5*
0	0	0	-2,329	1,45	-0,1
0,075	2,4	-0,0019	-2,697	1,45	-0,1
0,1	2,516	-0,0019	-2,697	1,45	-0,1
0,2	1,549	-0,0019	-2,464	1,45	-0,1
0,3	0,793	-0,002	-2,327	1,45	-0,1
0,4	0,144	-0,002	-2,23	1,45	-0,1
0,5	-0,438	-0,0035	-2,14	1,45	-0,1
0,75	-1,704	-0,0048	-1,952	1,45	-0,1
1	-2,87	-0,0066	-1,785	1,45	-0,1
1,5	-5,101	-0,0114	-1,47	1,5	-0,1
2	-6,433	-0,0164	-1,29	1,55	-0,1
3	-6,672	-0,0221	-1,347	1,65	-0,1
4	-7,618	-0,0235	-1,272	1,65	-0,1

Fuente: Youngs 1997

ANEXO F.

F-1 Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria

Periodo T(s)	a	b	c	d	e	SR	SI	Ss	SsL
0,00	1,101	-0,00564	0,0055	1,080	0,01412	0,251	0,000	2,607	-0,528
0,05	1,076	-0,00671	0,0075	1,060	0,01463	0,251	0,000	2,764	-0,551
0,10	1,118	-0,00787	0,0090	1,083	0,01423	0,240	0,000	2,156	-0,420
0,15	1,134	-0,00722	0,0100	1,053	0,01509	0,251	0,000	2,161	-0,431
0,20	1,147	-0,00659	0,0120	1,014	0,01462	0,260	0,000	1,901	-0,372
0,25	1,149	-0,00590	0,0140	0,966	0,01459	0,269	0,000	1,814	-0,360
0,30	1,163	-0,00520	0,0150	0,934	0,01458	0,259	0,000	2,181	-0,450
0,40	1,2	-0,00422	0,0100	0,959	0,01257	0,248	-0,041	2,432	-0,506
0,50	1,25	-0,00338	0,0060	1,008	0,01114	0,247	-0,053	2,629	-0,554
0,60	1,293	-0,00282	0,0030	1,088	0,01019	0,233	-0,103	2,702	-0,575
0,70	1,336	-0,00258	0,0025	1,084	0,00979	0,220	-0,146	2,654	-0,572
0,80	1,386	-0,00242	0,0022	1,088	0,00944	0,232	-0,164	2,480	-0,540
0,90	1,433	-0,00232	0,0020	1,109	0,00972	0,220	-0,206	2,332	-0,522
1,00	1,479	-0,00220	0,0020	1,115	0,01005	0,211	-0,239	2,233	-0,509
1,25	1,551	-0,00207	0,0020	1,083	0,01003	0,251	-0,256	2,029	-0,469
1,50	1,621	-0,00224	0,0020	1,091	0,00928	0,248	-0,306	1,589	-0,379
2,00	1,694	-0,00201	0,0025	1,055	0,00833	0,263	-0,320	0,966	-0,248
2,50	1,748	-0,00187	0,0028	1,052	0,00776	0,262	-0,337	0,789	-0,221
3,00	1,759	-0,00147	0,0032	1,025	0,00644	0,307	-0,331	1,037	-0,263
4,00	1,826	-0,00195	0,0040	1,044	0,00590	0,353	-0,390	0,561	-0,169
5,00	1,825	-0,00237	0,0050	1,065	0,00510	0,248	-0,498	0,225	-0,120

Fuente: Zhao 2006

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

CH	C1	C2	C3	C4	Ck	σ	τ	σT
0,239	1,111	1,344	1,355	1,420	1,344	0,604	0,398	0,723
0,939	1,684	1,793	1,747	1,814	1,793	0,640	0,444	0,779
1,499	2,061	2,135	2,031	2,082	2,135	0,694	0,490	0,849
1,462	1,916	2,168	2,052	2,113	2,168	0,702	0,460	0,839
1,280	1,669	2,085	2,001	2,030	2,085	0,692	0,423	0,811
1,121	1,468	1,942	1,941	1,937	1,942	0,682	0,391	0,786
0,852	1,172	1,683	1,808	1,770	1,683	0,670	0,379	0,770
0,365	0,655	1,127	1,482	1,397	1,127	0,659	0,390	0,766
-0,207	0,071	0,515	0,934	0,955	0,515	0,653	0,389	0,760
-0,705	-0,429	-0,003	0,394	0,559	-0,003	0,653	0,401	0,766
-1,144	-0,866	-0,449	-0,111	0,188	-0,449	0,652	0,408	0,769
-1,609	-1,325	-0,928	-0,620	-0,246	-0,928	0,647	0,418	0,770
-2,023	-1,732	-1,349	-1,066	-0,643	-1,349	0,653	0,411	0,771
-2,451	-2,152	-1,776	-1,523	-1,084	-1,776	0,657	0,410	0,775
-3,243	-2,923	-2,542	-2,327	-1,936	-2,542	0,660	0,402	0,773
-3,888	-3,548	-3,169	-2,979	-2,661	-3,169	0,664	0,408	0,779
-4,783	-4,410	-4,039	-3,871	-3,640	-4,039	0,669	0,414	0,787
-5,444	-5,049	-4,698	-4,496	-4,341	-4,698	0,671	0,411	0,786
-5,839	-5,431	-5,089	-4,893	-4,758	-5,089	0,667	0,396	0,776
-6,598	-6,181	-5,882	-5,698	-5,588	-5,882	0,647	0,382	0,751
-6,752	-6,347	-6,051	-5,873	-5,798	-6,051	0,643	0,377	0,745

Fuente: Zhao 2006