



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 DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS
ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR INGAHURCO
UBICADO EN LA AVENIDA LAS AMÉRICAS, AVENIDA INDOAMERICA,
PASTEUR, IZQUIETA PÉREZ, DR. JULIO ENRIQUE PAREDES,
AVENIDA CEVALLOS Y GONZÁLEZ SUÁREZ”**

AUTOR:

David Ricardo Jijón Cunalata

TUTOR:

Ing. Mg. Jorge Cevallos

Ambato – Ecuador

2019

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Jorge Cevallos en calidad de tutor, certifico que el presente Trabajo Experimental bajo el tema: **“ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR INGAHURCO UBICADO EN LA AVENIDA LAS AMÉRICAS, AVENIDA INDOAMERICA, PASTEUR, IZQUIETA PÉREZ, DR. JULIO ENRIQUE PAREDES, AVENIDA CEVALLOS Y GONZÁLEZ SUÁREZ”**, es de autoría del Sr David Ricardo Jijón Cunalata, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad

Ambato, 2019

Ing. Mg. Jorge Cevallos

TUTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, David Ricardo Jijón Cunalata con C.I: 180432865-4, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: **“ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR INGAHURCO UBICADO EN LA AVENIDA LAS AMÉRICAS, AVENIDA INDOAMERICA, PASTEUR, IZQUIETA PÉREZ, DR. JULIO ENRIQUE PAREDES, AVENIDA CEVALLOS Y GONZÁLEZ SUÁREZ”**, es de mi completa autoría.

Ambato, 2019

David Ricardo Jijón Cunalata

AUTOR

DERECHOS DEL 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, 2019

Autor

David Ricardo Jijón Cunalata

C.I: 180432865-4

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR INGAHURCO UBICADO EN LA AVENIDA LAS AMÉRICAS, AVENIDA INDOAMERICA, PASTEUR, IZQUIETA PÉREZ, DR. JULIO ENRIQUE PAREDES, AVENIDA CEVALLOS Y GONZÁLEZ SUÁREZ”**, del egresado David Ricardo Jijón Cunalata, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, 2019

Para constancia firman.

Ing. Mg. Maritza Ureña

Ing. Mg. Santiago Medina

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a Dios por haberme dado la oportunidad de vivir, así como ser la luz que ilumino mi camino día a día hasta conseguir esta meta que me propuse.

A mis padres Alicia y Franklin por darme su apoyo y amor incondicional, por los consejos que me brindaron para no decaer en los momentos difíciles y por brindarme su confianza en este trayecto que culmina con la obtención de un título profesional.

A mis hermanos Klever, Erick y Cristina que estuvieron presentes en todos estos años de estudio y a lo largo de este camino que tuvo altas y bajas para poder conseguir la meta ansiada.

A mis abuelitos Rodrigo y Mariana por todo el amor, consejos y ayuda espiritual que me supieron brindar en su momento para no decaer y seguir adelante con la culminación de mi carrera profesional.

David.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme el regalo de vida y con sus bendiciones poder realizar todas las metas que me he propuesto en lo académico.

A mis padres que me cuidaron, me inculcaron valores, me aconsejaron y con su sacrificio me apoyaron para que realizara mi sueño por el que tanto luche.

A mis abuelitos por darme su amor y apoyo incondicional.

A mis tías y tíos que con su presencia son como mis segundos padres me dieron ánimos para conseguir esta meta tan ansiada.

A mi familia por su apoyo y consejos que me supieron brindar en su momento para que siguiera adelante y no dejara este sueño inconcluso.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por haberme dado la oportunidad de alcanzar un sueño más en mi vida, el ser Ingeniero Civil y a todos los ingenieros que me ayudaron académicamente.

Al Ing. Mg. Jorge Cevallos por ser mi tutor de tesis, por sus conocimientos, tiempo y por la ayuda prestada que me ha permitido la realización y culminación de este proyecto.

A mis amigos que me ayudaron con la realización de los ensayos prácticos de este proyecto de investigación.

David.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES.

PORTADA	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA	III
DERECHOS DEL AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE ANEXOS	XVII
RESUMEN EJECUTIVO	XIX
ABSTRACT	XX

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	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
CAPITULO II	5
FUNDAMENTACIÓN	5
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
2.1.1. Capas sólidas de la Tierra	5

2.1.2. Tectónica de Placas.	7
2.1.3. Fallas Geológicas.	9
2.1.3.1. Tipos de fallas	9
2.1.4. Terremotos.	11
2.1.4.1. Clases de Sismos.....	12
2.1.5. Peligro Sísmico.	13
2.1.5.1. Análisis del Peligro Sísmico Probabilista.	13
2.1.5.2. Análisis del Peligro Sísmico Determinista.....	15
2.1.6. Zonificación Sísmica en el Ecuador.	17
2.1.6.1. Espectro Elástico Horizontal de Diseño en aceleraciones.....	18
2.1.6.2. Período de vibración.	19
2.1.7. Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (Ground Motion Prediction Equations GMPE's).....	20
2.1.7.1. Sismos Intraplacas	21
2.2. HIPÓTESIS	26
2.3. SEÑALAMIENTO DE LAS 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	39
4.1.3.1. Ensayo de Penetración Estándar (SPT).	50
4.1.4. Velocidad media de la onda de cortante Vs30.	55
4.1.4.1. Determinación de la Velocidad media de la onda de cortante Vs30.	57
4.1.5. Ecuaciones de atenuación para sismos Intraplaca cortical.	64
4.1.5.1. Modelo Boore y Atkinson (2008).	64
4.1.5.2. Modelo Akkar y Bommer (2010).	69
4.1.5.3. Modelo Kanno (2006).	71
4.1.6. Ecuaciones de atenuación para subducción.	73
4.1.6.1. Modelo Youngs (1997).	73
4.1.6.2. Modelo Zhao (2006).	75
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	77
4.2.1. Magnitud de las Fallas.	77
4.2.2. Cálculo de Espectros.	78
4.2.2.1. Espectros calculados con el modelo Boore y Atkinson 2008.	79
4.2.2.2. Espectros calculados con el modelo Akkar y Bommer 2010.	81
4.2.2.3. Espectros calculados con el modelo Kanno 2006.	83
4.2.2.4. Espectros calculados con el modelo Youngs 1997.	85
4.2.2.4. Espectros calculados con el modelo Zhao 2006.	86
4.2.3. Espectros con los modelos para una falla.	89
4.2.4. Espectros con la NEC-15.	97
4.2.5. Espectros con la NEC-15.	102
4.2.6. Espectro determinístico comparado con la NEC-15.	104
4.2.7. Comportamiento estructural de las estructuras tipo en el sitio de análisis.	108
4.2.7.1. Reducción de los espectros elásticos.	108
4.2.7.2. Características estructurales de las edificaciones.	109
4.2.7.3. Cálculo de los Períodos de Vibración	114
4.2.7.3.1. Período Fundamental de Vibración	114
4.2.7.3.2. Períodos límites de Vibración.	115
4.2.7.4. Verificación del comportamiento estructural	117
4.2.7.4.1. Períodos de Vibración	117

4.2.7.4.2. Modos de Vibración de la estructura.....	118
4.2.7.4.3. Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa en las direcciones principales.....	119
4.2.7.4.4. Derivas de Piso.....	121
4.2.7.4.5. Análisis dinámico.....	129
4.2.7.4.6. Derivas de piso dinámicas	143
4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.	151
CAPÍTULO V	152
5.1. CONCLUSIONES.	152
5.2. RECOMENDACIONES.....	154

C. MATERIALES DE REFERENCIA.

1. BIBLIOGRAFIA:	155
2. ANEXOS	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento (M)	25
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. Código de Fallas seleccionadas para el área de estudio	38
Tabla 6. Clasificación de los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	40
Tabla 7. Coordenadas U.T.M. de las perforaciones realizadas en el sector Ingahurco	42
Tabla 8. Se muestra los datos del Análisis Granulométrico del Pozo 1	42
Tabla 9. Se muestra los datos del Análisis Granulométrico del Pozo 2	44
Tabla 10. Se muestra los datos del Análisis Granulométrico del Pozo 3	46
Tabla 11. Se muestra los datos del Análisis Granulométrico del Pozo 4	47
Tabla 12. Se muestra los datos del Análisis Granulométrico del Pozo 5	48
Tabla 13. Numero de golpes obtenidos mediante SPT y clasificación de los suelos según S.U.C.S. en cada tramo del pozo 1	51
Tabla 14. Numero de golpes obtenidos mediante SPT y clasificación de los suelos según S.U.C.S. en cada tramo del pozo 2	52
Tabla 15. Numero de golpes obtenidos mediante SPT y clasificación de los suelos según S.U.C.S. en cada tramo del pozo 3	53
Tabla 16. Numero de golpes obtenidos mediante SPT y clasificación de los suelos según S.U.C.S. en cada tramo del pozo 4	54
Tabla 17. Numero de golpes obtenidos mediante SPT y clasificación de los suelos según S.U.C.S. en cada tramo del pozo 5	54
Tabla 18. Tipos de perfiles que nos muestra la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015	55
Tabla 19. Valores de la Velocidad media de la onda de corte (V_{s30}) calculados junto con su respectivo tipo de perfil del Pozo 1	59
Tabla 20. Valores de la Velocidad media de la onda de corte (V_{s30}) calculados junto con su respectivo tipo de perfil del Pozo 2	60
Tabla 21. Valores de la Velocidad media de la onda de corte (V_{s30}) calculados junto con su respectivo tipo de perfil del Pozo 3	61
Tabla 22. Valores de la Velocidad media de la onda de corte (V_{s30}) calculados junto con su respectivo tipo de perfil del Pozo 4	62

Tabla 23. Valores de la Velocidad media de la onda de corte (V_{s30}) calculados junto con su respectivo tipo de perfil del Pozo 5.....	62
Tabla 24. Valores de las velocidades media de la onda de corte (V_{s30}) de cada pozo, el tipo de perfil y la velocidad promedio de la onda de corte (V_{s30} promedio) de todos los pozos.....	63
Tabla 25. Valores de variables ficticias para diferentes tipos de fallas.....	66
Tabla 26. Valores utilizados en el Modelo Boore y Atkinson (2008).....	69
Tabla 27. Valores utilizados en el Modelo Akkar y Bommer (2010).....	71
Tabla 28. Valores utilizados en el Modelo Kanno (2006).....	73
Tabla 29. Valores utilizados en el Modelo Youngs (1997).....	75
Tabla 30. Valores utilizados en el Modelo Zhao (2006).....	77
Tabla 31. Magnitud de momento calculados con los valores escogidos en la tabla de Wells y Coppersmith y la longitud de rotura superficial.....	78
Tabla 32. Valores de aceleraciones máximas y su variación porcentual.....	87
Tabla 33. Valores de aceleraciones máximas y su variación porcentual.....	95
Tabla 34. Valores de aceleraciones y períodos para el espectro determinístico.....	104
Tabla 35. Valores de coeficientes para la reducción de espectros elásticos.....	109
Tabla 36. Dimensiones de elementos estructurales de las edificaciones.....	109
Tabla 37. Valores de C_t y α para el cálculo de periodo T	115
Tabla 38. Valores de Z y Coeficientes de amplificación para el suelo tipo D.....	116
Tabla 39. Valores del periodo de vibración T_1 , T_2 y $1.3 T_1$ (seg).....	117
Tabla 40. Participación modal de la masa estructura de 2 pisos.....	118
Tabla 41. Participación modal de la masa estructura de 3 pisos.....	118
Tabla 42. Participación modal de la masa estructura de 4 pisos.....	118
Tabla 43. Modos de vibración para cada una de las estructuras.....	119
Tabla 44. Modos necesarios para alcanzar el 90% de la masa estructura de 2 pisos (%).....	120
Tabla 45. Modos necesarios para alcanzar el 90% de la masa estructura de 3 pisos (%).....	120
Tabla 46. Modos necesarios para alcanzar el 90% de la masa estructura de 4 pisos (%).....	120
Tabla 47. Modos necesarios para alcanzar el 90% de la masa para cada una de las estructuras. (% de masa).....	121
Tabla 48. Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas estructura de 2 pisos.....	123
Tabla 49. Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas estructura de 3 pisos.....	125
Tabla 50. Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas estructura de 4 pisos.....	127
Tabla 51. Tabla Resumen de las Derivas elásticas estáticas máximas.....	128

Tabla 52. Tabla del Coeficiente Basal del espectro NEC-15 y Determinista para todas las estructuras.....	129
Tabla 53. Relación del cortante dinámico vs estático para la validación de análisis dinámico y sus valores para las correcciones (ton, %).....	142
Tabla 54. Relación del cortante dinámico vs estático corregido para la validación de análisis dinámico (ton, %).....	143
Tabla 55. Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas estructura de 2 pisos	145
Tabla 56. Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas estructura de 3 pisos	147
Tabla 57. Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas estructura de 4 pisos	149
Tabla 58. Tabla Resumen de las Derivas elásticas estáticas máximas.	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Capas internas de la Tierra, las cuales son la corteza que es la capa más externa, el manto que se encuentra sobre el núcleo y el núcleo que es la capa más interna de la tierra y está dividido en núcleo externo e interno.	6
Figura 2. Configuración de las placas como son: la Placa del Caribe, Nazca, Sudamericana, Americana, Pacífica, de Cocos entre otras.	8
Figura 3. Configuración de las placas, mostrando donde se forma la Litosfera Oceánica, como se hunde en las Zonas de Subducción y se destruye	9
Figura 4. Esquema de una Falla Normal donde se observa cómo se desliza hacia abajo el bloque que se encuentra encima del plano de falla.	10
Figura 5. Esquema de una Falla Inversa en donde se ve que el bloque superior se desliza hacia arriba sobre el plano de falla.....	10
Figura 6. Esquema de una Falla de Desgarre o de Desplazamiento de Rumbo en el cual se observa que el movimiento de los bloques es horizontal en dirección opuesta.	11
Figura 7. Vemos las diferentes partes de cómo se produce un terremoto en las que se encuentra: el foco, epicentro, las ondas producidas por el movimiento de las fallas y las montañas que forma la falla en el proceso de subducción.....	12
Figura 8. Mapa de Ecuador y las zonas sísmicas de diseño y el Factor de zona z.....	18
Figura 9. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.....	19
Figura 10. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.....	20
Figura 11. Límites de placas en la cual se detalla los nombres de las placas, su dirección y sus límites.	33
Figura 12. Fallas Geológicas presentes en el Ecuador como se detallan en la tabla de leyenda.	34

Figura 13. Fallas Geológicas presentes en la provincia Tungurahua como la falla Marcos Espinel, Samanga, San José de Poaló, Totoras, Ambato, Huachi, etc.	35
Figura 14. Fallas Geológicas presentes en la ciudad de Ambato como son las fallas de Samanga, Huachi, Totoras y Ambato.....	36
.....	36
Figura 15. Fallas Geológicas seleccionadas para el área de estudio (sector Ingahurco) como son la falla de Huachi (EC-344a), Ambato (EC-344b), Totoras (EC-345) y Samanga (EC-54).	37
Figura 16. Distancia medida desde el centro del área de estudio hacia la Falla Ambato	39
Figura 17. Área de estudio y ubicación de los puntos en los que se realizo el ensayo de campo SPT.....	41
Figura 18. Espectros de aceleracion obtenidos con el Modelo Boore y Atkinson 2008, utilizando cada una de las Fallas Corticales	79
Figura 19. Espectros de aceleracion obtenidos con el Modelo Akkar y Bommer 2010, utilizando cada una de las Fallas Corticales	81
Figura 20. Espectros de aceleracion obtenidos con el Modelo Kanno 2006, utilizando cada una de las Fallas Corticales.	83
Figura 21. Espectros de aceleracion obtenidos con el Modelo Youngs 1997, utilizando la Falla de Subducción.....	85
Figura 22. Espectros de aceleracion obtenidos con el Modelo Zhao 2006, utilizando la Falla de Subducción.	86
Figura 23. Espectros de aceleracion obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y Kanno para la Falla Ambato.	89
Figura 24. Espectros de aceleracion obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y Kanno para la Falla Huachi.	91
Figura 25. Espectros de aceleracion obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y Kanno para la Falla Totoras.	92
Figura 26. Espectros de aceleracion obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y Kanno para la Falla Samanga.	93
Figura 27. Espectros de aceleracion obtenidos con los modelos Youngs y Zhao para la Falla de Subducción.	94
Figura 28. Espectros de aceleracion obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, Kanno y NEC-15 para la Falla Ambato.	97
Figura 29. Espectros de aceleracion obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, Kanno y NEC-15 para la Falla Huachi.	98
Figura 30. Espectros de aceleracion obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, Kanno y NEC-15 para la Falla Totoras.....	99
Figura 31. Espectros de aceleracion obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, Kanno y NEC-15 para la Falla Samanga.	100

Figura 32. Espectros de aceleracion obtenidos con los modelos Youngs, zhao y NEC-15 para la Falla de Subducción.	101
Figura 33. Espectros de aceleracion obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, Kanno. Youngs, Zhao y NEC-15 para las Fallas Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y de Subducción.....	103
Figura 34. Espectros Determinístico comparado con el Espectro NEC-15.	107
Figura 35. Vista en planta y elevación de la estructura de 2 pisos (m).	110
Figura 36. Plano arquitectonica de la estructura de 2 pisos (m).	111
Figura 37. Vista en planta y elevación de la estructura de 3 pisos (m)	112
Figura 38. Plano arquitectonica de la estructura de 3 pisos (m).	113
Figura 39. Vista en planta y elevación de la estructura de 4 pisos (m).	113
Figura 40. Plano arquitectonica de la estructura de 4 pisos (m).	114
Figura 41. Derivas elasticas del Espectro NEC 2015 en el sentido X e Y estructura de 2 pisos.	122
Figura 42. Derivas elasticas del Espectro Determinista en el sentido X e Y estructura de 2 pisos.	123
Figura 43. Derivas elasticas del Espectro NEC 2015 en el sentido X e Y estructura de 3 pisos.	124
Figura 44. Derivas elasticas del Espectro Determinista en el sentido X e Y estructura de 3 pisos.	125
Figura 45. Derivas elasticas del Espectro NEC-2015 en el sentido X e Y estructura de 4 pisos.	126
Figura 46. Derivas elasticas del Espectro Determinista en el sentido X e Y estructura de 4 pisos.	127
Figura 47. Cortante dinámico para el Espectro NEC-2015 X e Y. Estructura de 2 pisos (ton) ..	130
Figura 48. Cortante dinámico para el Espectro Determinista X e Y. Estructura de 2 pisos (ton)	131
Figura 49. Cortante estático para el Espectro NEC-2015 X e Y. Estructura de 2 pisos (ton) ..	132
Figura 50. Cortante estático para el Espectro Determinista X e Y. Estructura de 2 pisos (ton) ..	133
Figura 51. Cortante dinámico para el Espectro NEC-2015 X e Y. Estructura de 3 pisos (ton) ..	134
Figura 52. Cortante dinámico para el Espectro Determinista X e Y. Estructura de 3 pisos (ton)	135
Figura 53. Cortante estático para el Espectro NEC-2015 X e Y. Estructura de 3 pisos (ton) ..	136
Figura 54. Cortante estático para el Espectro Determinista X e Y. Estructura de 3 pisos (ton) ..	137
Figura 55. Cortante dinámico para el Espectro NEC-2015 X e Y. Estructura de 4 pisos (ton) ..	138

Figura 56. Cortante dinámico para el Espectro Determinista X e Y. Estructura de 4 pisos (ton)	139
Figura 57. Cortante estático para el Espectro NEC-15 X e Y. Estructura de 4 pisos (ton)	140
Figura 58. Cortante estático para el Espectro NEC-15 X e Y. Estructura de 4 pisos (ton)	141
Figura 59. Derivas elásticas dinámicas del Espectro NEC 2015 en el sentido X e Y estructura de 2 pisos.....	144
Figura 60. Derivas elásticas dinámicas del Espectro Determinista en el sentido X e Y estructura de 2 pisos.	145
Figura 61. Derivas elásticas dinámicas del Espectro NEC 2015 en el sentido X e Y estructura de 3 pisos.....	146
Figura 62. Derivas elásticas dinámicas del Espectro Determinista en el sentido X e Y estructura de 3 pisos.	147
Figura 63. Derivas elásticas dinámicas del Espectro NEC 2015 en el sentido X e Y estructura de 4 pisos.....	148
Figura 64. Derivas elásticas dinámicas del Espectro Determinista en el sentido X e Y estructura de 4 pisos.	149

ÍNDICE ANEXOS

ANEXO A	159
Fotografía 1: Preparación del Equipo SPT	159
Fotografía 2: Ensayos de campo.	160
Fotografía 3: Toma de muestras en diferentes estratos.	160
Fotografía 4: Muestras húmedas puestas al horno.	161
Fotografía 5: Muestras de suelo secas.	161
Fotografía 6: Tamizada de las muestras secas.	162
Fotografía 7: Obtención de pesos del suelo en los diferentes estratos.	162
Fotografía 8: Estructura de 2 pisos modelada en Etabs 2016.	163
Fotografía 9: Estructura de 3 pisos modelada en Etabs 2016.	163
Fotografía 10: Estructura de 4 pisos modelada en Etabs 2016.	164
ANEXO B	165

B- 1. Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del período.....	165
B- 2. Coeficientes de escala de distancia ($M_{ref} = 4,5$ y $R_{ref} = 1,0$ km para todos los períodos, excepto $R_{ref} = 5,0$ km para pga_{4nl})	166
B- 3. Coeficientes de escala de magnitud	167
 ANEXO C	 168
 C- 1. Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción de Pseudoaceleración Espectral.....	 168
 ANEXO D	 169
 D- 1. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos superficiales de PGA, PGV y espectros de respuesta de aceleración amortiguada del 5%.	 169
 ANEXO E	 171
 E- 1. Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral horizontal (5% de amortiguación) para terremotos de subducción para suelo.....	 171
 ANEXO F	 171
 F- 1. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria.....	 171
F- 2. Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción.....	172

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

TEMA: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR INGAHURCO UBICADO EN LA AVENIDA LAS AMÉRICAS, AVENIDA INDOAMERICA, PASTEUR, IZQUIETA PÉREZ, DR. JULIO ENRIQUE PAREDES, AVENIDA CEVALLOS Y GONZÁLEZ SUÁREZ”

Autor: David Ricardo Jijón Cunalata

Tutor: Ing. Mg. Jorge Cevallos

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente proyecto de investigación se encontró un espectro determinista específico para el sector de Ingahurco con la ayuda de los parámetros necesarios en aceleración mediante las Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo GMPE's para el tipo de fallas presentes en el área de estudio. Estas ecuaciones se encuentran basadas fundamentalmente en las características sísmicas que son: Velocidad de Onda de Corte V_{s30} , Magnitud de Momento M_w , Profundidad Focal y Distancia de Joyner-Boore que es la distancia perpendicular de la falla hasta el centro de gravedad del sitio de estudio. Con la obtención de los diferentes espectros de respuesta de cada una de las fallas y modelos de ecuaciones se procedió a realizar la envolvente de todos los modelos y así recoger los valores máximos para realizar el Espectro de respuesta Determinístico. Posteriormente se lo compara con el Espectro que nos brinda la Norma Ecuatoriana de la Construcción Nec-2015 y así obtener los intervalos críticos en los que el espectro Determinista supera al de la norma.

Una vez obtenido el espectro determinista con las aceleraciones máximas se procede a analizar la incidencia que este espectro tiene en las tres estructuras tipo construidas en el sector de estudio y así compararlos con la normativa.

ABSTRACT

In the present research project, a specific deterministic spectrum was found for the Ingahurco sector with the help of the parameters needed in acceleration through the GMPE's Ground Movement Prediction Equations for the type of faults present in the study area. These equations are based fundamentally on the seismic characteristics that are: Cut Wave Speed V_{s30} , Mw Moment Magnitude, Focal Depth and Joyner-Boore Distance which is the perpendicular distance of the fault to the center of gravity of the study site . With the obtaining of the different response spectra of each of the faults and models of equations, we proceeded to make the envelope of all the models and thus collect the maximum values to perform the Deterministic Response Spectrum. Later it is compared with the Spectrum provided by the Ecuadorian Construction Standard Nec-2015 and thus obtain the critical intervals in which the Deterministic spectrum exceeds that of the norm.

Once the deterministic spectrum with the maximum accelerations has been obtained, we proceed to analyze the impact that this spectrum has on the three type structures constructed in the study sector and thus compare them with the regulations.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR INGAHURCO UBICADO EN LA AVENIDA LAS AMÉRICAS, AVENIDA INDOAMERICA, PASTEUR, IZQUIETA PÉREZ, DR. JULIO ENRIQUE PAREDES, AVENIDA CEVALLOS Y GONZÁLEZ SUÁREZ”

1.2. ANTECEDENTES

Ecuador presenta un historial sísmico importante, ya que su ubicación en una zona de alto riesgo sísmico, ha permitido la generación de sismos cuya acción destructiva ha provocado pérdidas materiales y de vidas humanas. Un complejo sistema de fallamiento superficial dentro del territorio continental del Ecuador, fallas geológicas, actividad neotectónica, la acción de subducción de la placa de nazca dentro de la placa sudamericana y la actividad volcánica, son las principales fuentes de generación de sismos en Ecuador.

[1]

El primer estudio tendiente a una microzonificación fue realizado por la Politécnica Nacional en 1994 donde se clasificaron los suelos de la ciudad. El segundo trabajo fue desarrollado en 1997 por el Instituto Francés de Cooperación, ORSTOM en que obtuvieron factores de sitio y frecuencias de vibración de los suelos; los factores de sitio o de amplificación son debidos al tipo de suelo que se tiene en los diferentes lugares de la ciudad. El tercer estudio fue publicado en el 2002 por la Politécnica Nacional, donde se amplió notablemente el área de estudio con respecto al de 1994, se clasificó los suelos de acuerdo al CEC-2000 y se presentaron espectros de diseño.

En el 2011 para diseñar el Metro de Quito, se realizaron estudios de suelos por los lugares donde va a circular el Metro, lo importante de este estudio fue que se obtuvo importante

información hasta una profundidad media de 50 m. Esta información fue entregada por el Distrito Metropolitano de Quito a la compañía consultora ERN, Evaluación de Riesgos Naturales en América Latina, quienes realizaron el cuarto estudio de microzonificación sísmica de Quito.

El grupo consultor ERN que realizó el estudio estaba liderado por expertos de Colombia, México, España y Ecuador a quienes se les entregó los tres trabajos de microzonificación sísmica realizados y los estudios del Metro. En base a esta información ERN seleccionó 17 sitios donde no se conocía las propiedades geotécnicas de los suelos y realizó estudios hasta una profundidad media que está entre los 30 y 40 m. Se amplió la cobertura y se incluyó un estudio en el Valle de los Chillos y dos en el Valle de Tumbaco. El estudio finalizó con la entrega de factores de sitio para el distrito Metropolitano de Quito, con los cuales se obtienen los espectros de diseño utilizando las ecuaciones del espectro del NEC-11. [2]

De acuerdo con la norma ecuatoriana de la construcción NEC nuestro país cuenta con seis zonas sísmicas caracterizada por el valor del factor de zona Z , el cual representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño. El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno 475 años). Además, nos muestra que Ambato está en la quinta zona con un valor de Z igual a 0.4. [3]

Por tales razones el presente estudio busca evaluar el peligro sísmico en el área seleccionada con el fin de determinar los espectros de respuesta en aceleración utilizando ecuaciones de atenuación para mejorar el diseño y construcción de estructuras.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El Cinturón de Fuego del Pacífico o Anillo de Fuego del Pacífico está ubicado a lo largo de la costa del océano Pacífico y se caracteriza por agrupar varias de las zonas de subducción más influyentes del mundo, lo que produce una intensa actividad sísmica y volcánica en las zonas que abarca. [4]

En América Latina se han producido una gran cantidad de terremotos. No siempre los terremotos con más magnitud tienen gran impacto, esto varía dependiendo de las medidas preventivas que se tenga en el territorio afectado, la densidad de población y la infraestructura de las edificaciones. [5]

Ecuador se encuentra dentro del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, por lo que su actividad sísmica es alta, incluyendo eventos tales como el de 1906, que alcanzó una magnitud de 8.8 colocándolo dentro de los sismos más grandes de la historia. Salvo el sismo de Bahía de Caráquez en agosto de 1997 con una magnitud de 7.1, y que dejó en evidencia ciertos problemas relacionados al diseño sismorresistente en el Ecuador. Si bien es cierto existe una Norma Ecuatoriana de la construcción, también lo es el hecho que los estudios acerca del tema en el país son escasos. El mapa de zonificación sísmica que nos da la Norma Ecuatoriana de la Construcción para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno de 475 años). [3] [6]

La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo elaboró un mapa de riesgos sísmicos y de tsunamis. Ambato y Riobamba, muy importantes en la Sierra central, están de acuerdo con este dato oficial en zonas de alta vulnerabilidad. Ambas ciudades se encuentran asentadas sobre un enjambre de fallas sísmicas con altas probabilidades de temblar. Lo grave es que las estimaciones hablan de un 70% de construcciones frágiles. Las normas de construcción y sismorresistencia no se aplican con el rigor que se debería. [7]

Ambato ha sido declarada como la ciudad de más alto riesgo sísmico del país, según lo que detectó el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, lo que significa que existen suelos vulnerables y si hay edificaciones sin recomendaciones técnicas pueden traer consecuencias graves. Ambato se caracteriza por ser eminentemente agrícola, industrial, de bastante concurrencia comercial, pero su ubicación geográfica, estratigráfica y geológica, trae como consecuencia que la ciudad sea considerada como de alto riesgo sísmico, lo que invita a que instituciones que estén inmersas en este aspecto tomen cartas

en el asunto para poder prevenir, especialmente que se construyan edificaciones que no se rijan a un estudio de suelos y de la sismicidad que tiene la zona.

Esto no quiere decir que en los suelos de Ambato no se puedan hacer construcciones, se los puede efectuar siempre y cuando tengan un estudio técnico de suelo. [8]

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Realizar el estudio del peligro sísmico determinista para las estructuras del cantón Ambato sector Ingahurco ubicado en la Avenida las Américas, Avenida Indoamérica, Pasteur, Izquieta Pérez, Dr. Julio Enrique Paredes, Avenida Cevallos y González Suárez

1.4.2 Objetivos Específicos

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

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. Capas sólidas de la Tierra

La Tierra presenta una estructura en capas concéntricas que conocemos gracias, fundamentalmente, al estudio del movimiento de las ondas sísmicas cada vez que se produce un terremoto. [9]

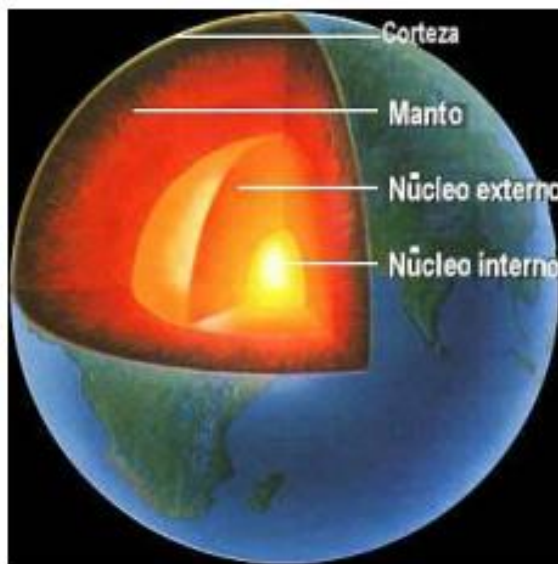
Desde el interior al exterior se diferencian tres capas:

- **NÚCLEO:** También llamado endosfera, es la capa más interna de la Tierra. Está formada por metales como el hierro y el níquel y es bastante peculiar por el hecho de que se encuentra fundida, al menos parcialmente el núcleo externo, debido a las altas temperaturas que existen en esa zona. Este calor interno es el responsable de los procesos internos que se dan en la Tierra, alguno de los cuáles tiene manifestaciones en la superficie, como son los terremotos, el vulcanismo o el desplazamiento de los continentes. [9]
- **MANTO o mesosfera:** Se encuentra por encima del núcleo y está formado por silicatos, más densos en el manto inferior y menos hacia el manto superior. Es una capa muy activa ya que se producen fenómenos de convección de materiales, es decir, los materiales calientes tienden a ascender desde el núcleo, pudiendo alcanzar la superficie y cuando los materiales se enfrían tienden a hundirse de nuevo hacia el interior, como un ciclo de materia llamado Ciclo de Convección. Al moverse estos materiales producen el desplazamiento de los continentes y todo lo que esto lleva asociado: terremotos, vulcanismo, creación de islas y cordilleras, etc. [9]
- **CORTEZA o litosfera:** Es la capa más externa, la que está en contacto con la atmósfera y está formada por silicatos ligeros, carbonatos y óxidos. Es más gruesa en la zona de los continentes y más delgada en los océanos. Es una zona

geológicamente muy activa ya que aquí se manifiestan los procesos internos debidos al calor terrestre, pero también se dan los procesos externos como son: erosión, transporte y sedimentación debidos a la energía solar y la fuerza de gravedad. Se diferencia una corteza continental y una corteza oceánica. [9]

El grosor de la corteza terrestre oscila entre 3 kilómetros bajo las dorsales mesoceánicas, y más de 70 kilómetros debajo de algunos cinturones montañosos como los Andes y los Himalayas. Se dividen en corteza oceánica y corteza continental. Las rocas de la corteza oceánica son más jóvenes y poseen una densidad de 3 g/cm^3 , en tanto que las rocas continentales tienen una densidad de 2.7 g/cm^3 . [10]

Figura 1. Capas internas de la Tierra, las cuales son la corteza que es la capa más externa, el manto que se encuentra sobre el núcleo y el núcleo que es la capa más interna de la tierra y está dividido en núcleo externo e interno.



Fuente: Educación secundaria para personas adultas nivel I, Ámbito Científico Tecnológico, Bloque 1, Tema 2: estructura de la Tierra

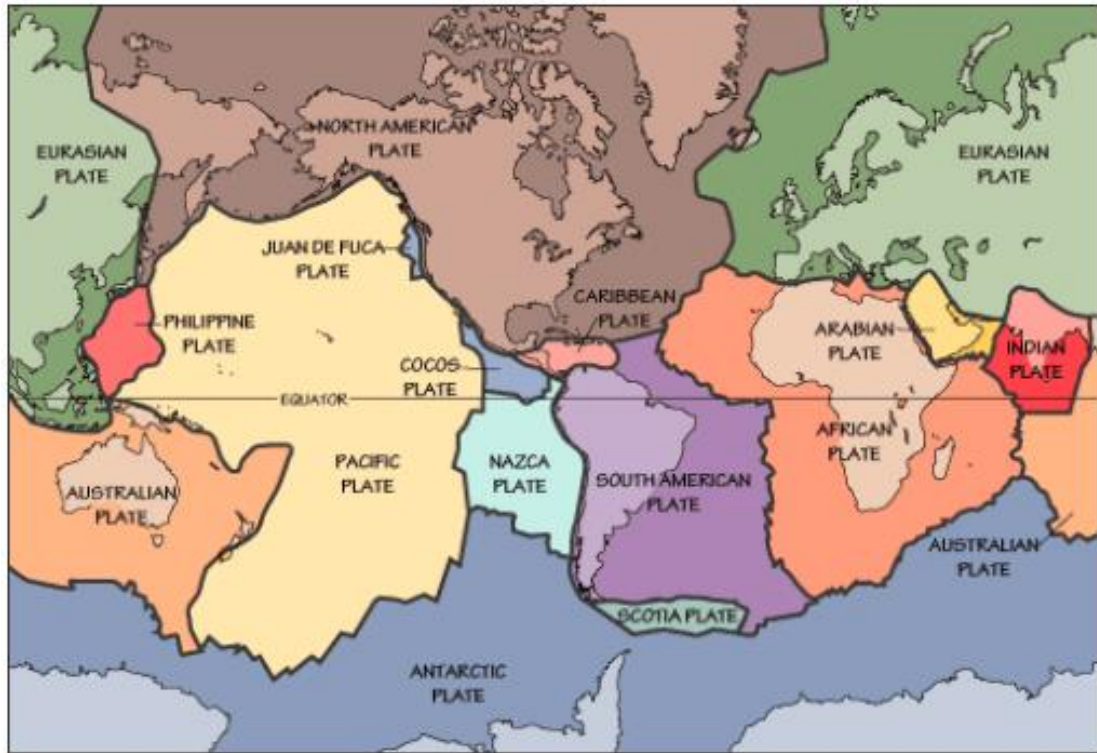
2.1.2. Tectónica de Placas.

En términos generales la tectónica de placas es un concepto científico relativamente nuevo que fue introducido a comienzo de 1960, pero que ha revolucionado nuestro entendimiento de la dinámica del planeta en que vivimos. Tal vez uno de los logros más relevantes de esta teoría es la de haber incorporado otras ramas de las ciencias de la tierra, tan opuestas como la paleontología y la sismología, en pro de encontrar respuestas a muchas preguntas sobre las que los científicos han especulado durante siglos. Interrogantes como: ¿Porque los terremotos y las erupciones volcánicas ocurren en áreas específicas alrededor del mundo?, y ¿Cómo y porque se han formado grandes cadenas montañosas como los Andes y los Himalayas?, han sido algunas de las grandes incógnitas a las que los científicos, filósofos y hasta teólogos han tratado de dar explicación durante siglos. [10]

Las placas son, por tanto, fragmentos de litosfera terrestre, cuya forma es la de un casquete esférico de forma irregular, que se mueven sobre la astenosfera. Su espesor es el de la litosfera y varía, según se trate de litosfera continental u oceánica, entre 60 y 200 km como media. [11]

El movimiento de las placas, su creación y destrucción o el deslizamiento de unas junto a otras, configuran lo que se denomina la **Tectónica de Placas o Nueva Tectónica Global**. En la actualidad hay 6 grandes placas y varias placas menores y sus límites coinciden con las zonas de mayor actividad sísmica del planeta. La mayor parte de las placas incluyen litosfera continental y litosfera oceánica. Así, la **placa americana** incluye toda América y la mitad occidental del Atlántico, la **placa africana** se compone de África y la parte suroriental del Atlántico, la **placa euroasiática** comprende Europa, casi toda Asia y la parte nororiental del Atlántico, la **placa índica o australiana** incluye Australia, la parte sur de Asia y el Océano Indico y la **placa antártica** consta de la Antártida y el Océano Antártico. Sólo la **placa pacífica** no tiene litosfera continental y se compone exclusivamente de la litosfera oceánica del Pacífico. [11]

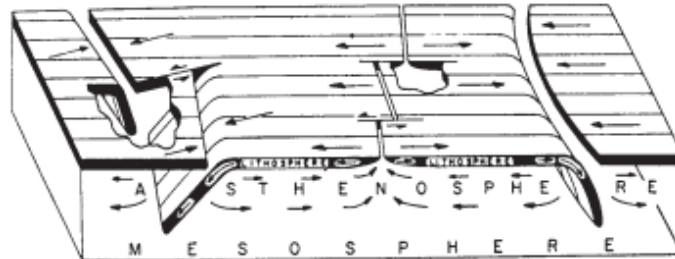
Figura 2. Configuración de las placas como son: la Placa del Caribe, Nazca, Sudamericana, Americana, Pacífica, de Cocos entre otras.



Fuente: Geología estructural y dinámica global, Universidad de Salamanca

Las zonas donde dos placas están en contacto se denominan límites de placa, pudiendo éstos ser de tres tipos. Dos de ellos ya han sido mencionados: las dorsales oceánicas, donde se crea la litosfera oceánica, y las zonas de subducción, donde se destruye. El tercer tipo son las denominadas fallas transformantes, un tipo de fallas de desgarre en las cuales dos placas se deslizan una al lado de otra sin crearse ni consumirse. La Fig.3 muestra esquemáticamente los tres tipos de límites de placa y el movimiento relativo de las placas: convergencia en las fosas, divergencia en las dorsales y transurrencia en las fallas transformantes. [11]

Figura 3. Configuración de las placas, mostrando donde se forma la Litosfera Oceánica, como se hunde en las Zonas de Subducción y se destruye



Fuente: Geología estructural y dinámica global, Universidad de Salamanca

2.1.3. Fallas Geológicas.

En geología, una falla es una fractura o zona de fracturas a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento relativo de los bloques paralelos a la fractura (Bates y Jackson, 1980). Esencialmente, una falla es una discontinuidad que se forma debido a la fractura de grandes bloques de rocas en la Tierra cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. [12]

2.1.3.1. Tipos de fallas

Falla normal: Este tipo de fallas se generan por tensión horizontal. Esto es producido porque el bloque que se encuentra por encima del plano de la falla se desliza hacia abajo; mientras que el bloque que se encuentra por debajo del plano de la falla asciende. Por lo general tienen un ángulo de 60 grados. [12]

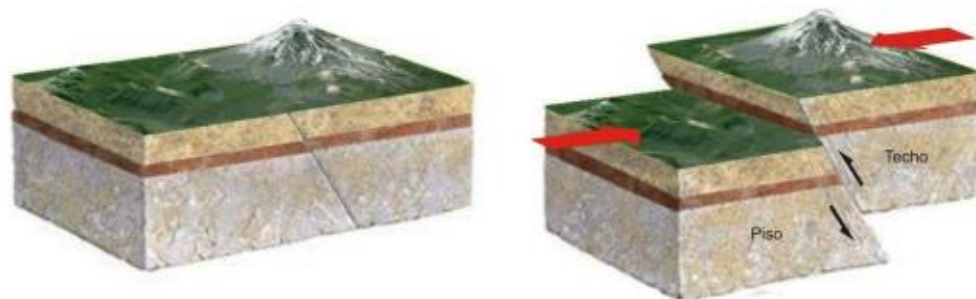
Figura 4. Esquema de una Falla Normal donde se observa cómo se desliza hacia abajo el bloque que se encuentra encima del plano de falla.



Fuente: Fallas Geológicas, Instituto Nacional de Prevención Sísmica INPRES

Falla inversa: Este tipo de fallas se genera por compresión horizontal. El bloque superior tiene un sentido ascendente respecto al bloque inferior. Tienen un ángulo inferior a 45 grados y también toman el nombre de cabalgamiento. [12]

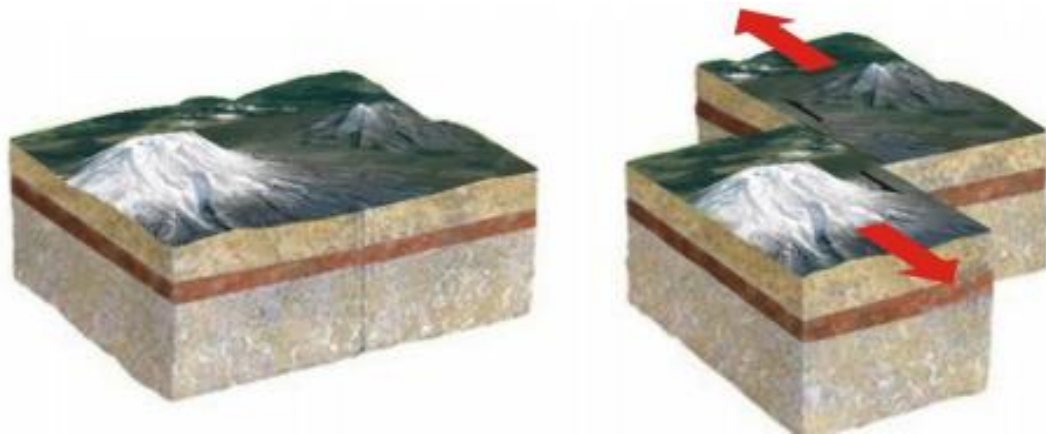
Figura 5. Esquema de una Falla Inversa en donde se ve que el bloque superior se desliza hacia arriba sobre el plano de falla.



Fuente: Fallas Geológicas, Instituto Nacional de Prevención Sísmica INPRES

Falla de desgarre o de desplazamiento de rumbo: Estas fallas se desarrollan a lo largo de planos verticales y el movimiento de los bloques es horizontal, es decir que los bloques se deslizan lateralmente uno respecto del otro en direcciones opuestas. [12]

Figura 6. Esquema de una Falla de Desgarre o de Desplazamiento de Rumbo en el cual se observa que el movimiento de los bloques es horizontal en dirección opuesta.



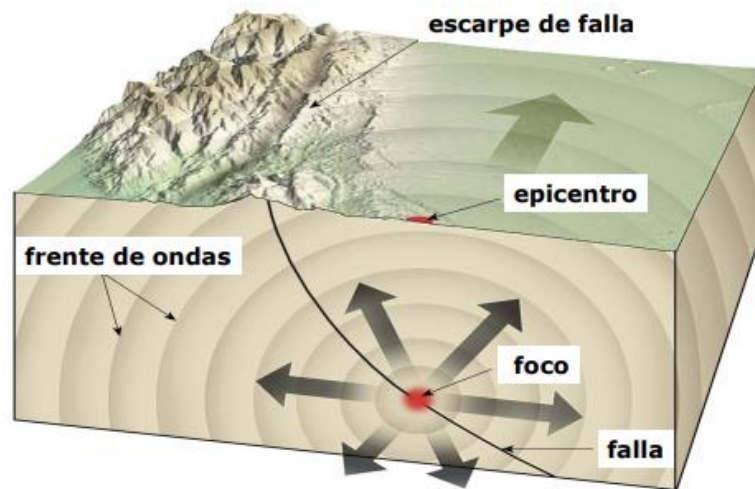
Fuente: Fallas Geológicas, Instituto Nacional de Prevención Sísmica INPRES

2.1.4. Terremotos.

Los terremotos naturales son vibraciones de la tierra ocasionados por la liberación de energía almacenada en las rocas, esta acumulación de energía se da por el sometimiento de las rocas a grandes esfuerzos, por movimientos tectónicos a lo largo de una falla y que una vez que llega a superar su resistencia estas se rompen súbitamente provocando vibraciones. [13]

La energía liberada por estas vibraciones se propaga en todas las direcciones en forma de ondas desde su origen llamado foco o hipocentro en el interior de la Tierra. [13]

Figura 7. Vemos las diferentes partes de cómo se produce un terremoto en las que se encuentra: el foco, epicentro, las ondas producidas por el movimiento de las fallas y las montañas que forma la falla en el proceso de subducción.



Fuente: Conceptos básicos sobre terremotos y las causas que lo originan, proyecto de prevención y mitigación del riesgo en el colegio Nicolás Gómez Dávila IED

2.1.4.1. Clases de Sismos

Plutónicos: son sismos ocasionados a una profundidad de entre 300 km y un máximo de 900 km son los de más energía por la profundidad, aunque en la superficie es tenue pero extenso. [14]

Interplaca: son sismos ocasionados a una profundidad de entre 70 y 300km, son típicos en zonas de subducción. Son los segundos en energía, ya que a esta profundidad la Tierra no almacena tanta energía como en los plutónicos, pero dado que son superficiales son destructivos. [14]

Intraplaca: son sismos de fallas, se dan en el interior de las placas tectónicas, cuando la energía se libera por sus zonas más débiles. Son los más destructivos, aunque acumulan menos energía que los anteriores dado que su profundidad es menor a 70 km. [14]

Volcánicos: se presentan a menos de 20 km de profundidad. A diferencia de los otros los daños que causan estos sismos son de pocos km. Porque el foco es muy puntual y gran parte de la energía se libera en la atmósfera. [14]

Sismos artificiales: son producidos por detonaciones de bombas nucleares etc. Su profundidad de menor a los 2 km. Al igual que los volcánicos tienen un foco muy puntual y gran parte de la energía se libera en la atmósfera. [14]

2.1.5. Peligro Sísmico.

Es la probabilidad de que ocurra un fenómeno físico como consecuencia del movimiento del suelo en un periodo de tiempo cuyos parámetros aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados. [3]

Por este motivo y para la evaluación de peligrosidad sísmica primeramente es necesario caracterizar las zonas sísmo tectónicas. Luego utilizando métodos probabilísticos simplificados basados en el establecimiento de leyes estadísticas para poder definir el comportamiento sísmico de una zona, las fuentes sísmicas y la atenuación del movimiento de suelo, se expresan los resultados en forma de probabilidad de excedencia de los distintos niveles de intensidad de movimiento o los valores máximos de aceleración esperados en un lugar y en un intervalo de tiempo determinado. [15]

2.1.5.1. Análisis del Peligro Sísmico Probabilista.

Este análisis considera la influencia de todos los eventos sísmicos que han ocurrido en el sitio de estudio mediante datos obtenidos de la relación frecuencia-magnitud y los valores de magnitud máxima. Por este medio se considera la probabilidad de ocurrencia de los

sismos y el resultado final corresponde a la aceleración máxima esperada con una probabilidad de excedencia determinada y en un periodo de exposición dado. [16]

Por lo que se puede citar el Método de Cornell que nos brinda los siguientes pasos:

- Determinar la frecuencia de ocurrencia de sismos para fuentes sísmicas de área y lineales (fallas) a partir del conocimiento actual de las provincias geológicas/tectónicas en la región, incluyendo la ubicación y el índice de actividad de las fallas conocidas. [38]
- Seleccionar expresiones que describan la atenuación de aceleraciones sísmicas en emplazamientos rocosos, desde la fuente sísmica hasta el lugar de origen de la falla. En la medida de lo posible estas leyes de atenuación deben ser regresiones estadísticas de aceleraciones sísmicas observadas mediante instrumentos en la región. [38]
- Desarrollar curvas de peligro sísmico para el emplazamiento, que muestren la probabilidad de aceleraciones sísmicas debido a todos los posibles sismos que ocurran dentro de todas las zonas sísmicas. La curva de Peligro Sísmico se utiliza para estimar la probabilidad anual de que se excedan las aceleraciones sísmicas horizontales máximas especificadas. [38]

Además del método que asume una distribución de Poisson, ya que esta se ajusta adecuadamente al comportamiento de los eventos de gran magnitud que son los de interés en estudios de peligro sísmico y obedece a las siguientes premisas: [16]

- El número de ocurrencias de eventos sísmicos en un intervalo de tiempo es independiente del número que ocurre en cualquier otro intervalo de tiempo, es decir, los eventos son independientes entre sí. [16]
- La probabilidad de ocurrencia durante un intervalo de tiempo muy corto es proporcional a la longitud del intervalo de tiempo. [16]
- La probabilidad de que ocurra más de un evento sísmico durante un intervalo de tiempo muy corto es insignificante. [16]

- Aplicando esta teoría se puede demostrar que si la ocurrencia de un evento A depende de la ocurrencia de otros eventos: E1, E2, ...En, mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos; entonces, de acuerdo al teorema de la “probabilidad total” se tiene para la probabilidad de ocurrencia A: [16]

$$P(A) = \sum P(E_i) * P\left(\frac{A}{E_i}\right)$$

Donde P(A/E_i) es la probabilidad condicional que A ocurra, dado que E_i ocurra

2.1.5.2. Análisis del Peligro Sísmico Determinista.

Este análisis se desarrolla considerando un escenario sísmico específico para el área de estudio. Este escenario debe representar la generación de un evento sísmico en una fuente identificada y localizada a la menor distancia de la zona de estudio. De este modo el análisis determinístico permite estimar el movimiento sísmico más desfavorable para el área de estudio. [16]

Este análisis esta descrito por los siguientes pasos:

- Identificación y caracterización de todas las fuentes sismogenicas capaces de producir movimientos sísmicos en la zona de estudio.
- Selección del parámetro de distancia fuente-sitio para cada fuente. En la mayoría de los casos se selecciona la menor distancia entre la fuente y el sitio del estudio. Las distancias pueden ser epicentrales o hipocentrales dependiendo de las ecuaciones utilizadas.
- El terremoto dominante expresado en términos de su tamaño, es decir de su magnitud.
- El peligro en el sitio es formalmente definido, usualmente en términos del movimiento sísmico producido en el sitio por el sismo dominante. Sus características son descritas por los valores de aceleración, velocidad y ordenadas del espectro de respuesta obtenidos mediante las Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPE's). [16]

Teorías Determinísticas.

La metodología Determinista (Deterministic Seismic Hazard Assessment, en adelante DSHA) asume la hipótesis de estacionariedad de la sismicidad, es decir, considera que los terremotos en el futuro se producirán de forma análoga a como lo hicieron en el pasado, analizando el “peor escenario” que pudiese ocurrir despreocupándose de cuándo y con qué probabilidad esto pueda ocurrir [GREEN & HALL., 1994; REITER L., 1990], si se consideran zonas sismogénicas o estructuras geológicas se asume que los terremotos pueden ocurrir en cualquier lugar de la zona o falla, por lo cual el análisis debe situarse en el punto más cercano al emplazamiento o región de estudio [MUÑOZ D., 1989]

DSHA, selecciona un evento discreto controlador, por ejemplo, el terremoto máximo creíble, terremoto característico o el máximo terremoto histórico [REITER L., 1990] para el caso de las fuentes sísmicas de subducción [BENITO ET AL., 1999] y la máxima magnitud posible para el caso de estructuras sismogénicas intracontinentales [WELL & COPPERSMITH., 1994]. Para determinar el evento controlador, y por consiguiente el más desfavorable en términos de la magnitud posible, se deben definir preliminarmente los parámetros focales tales como geometría de falla, profundidad, localización, magnitudes máximas para cada fuente sísmica evaluada, a partir de los antecedentes históricos y condiciones sismotectónicas. A partir, de los cuales posteriormente, se estima el movimiento del suelo a esperar en el sitio evaluado con respecto a algún parámetro indicativo como por ejemplo la intensidad, período predominante, la velocidad máxima (PGV), aceleración máxima horizontal (PGA) o bien, otras medidas de movimientos fuertes, haciendo uso de una relación de Atenuación apropiada para la región, así como qué considere las distinciones dinámicas por fuente sísmica de interés [GREEN & HALL., 1994]. De esta forma, la aplicación de una ley de atenuación con la distancia proporciona valores del movimiento en el emplazamiento como consecuencia de la acción sísmica del terremoto (s) controlador (es). Finalmente, la determinación de la peligrosidad en el emplazamiento, tomando el máximo valor del parámetro seleccionado, queda caracterizada por el límite superior del movimiento en las zonas o sitios evaluados [BENITO ET AL., 1999]. [39]

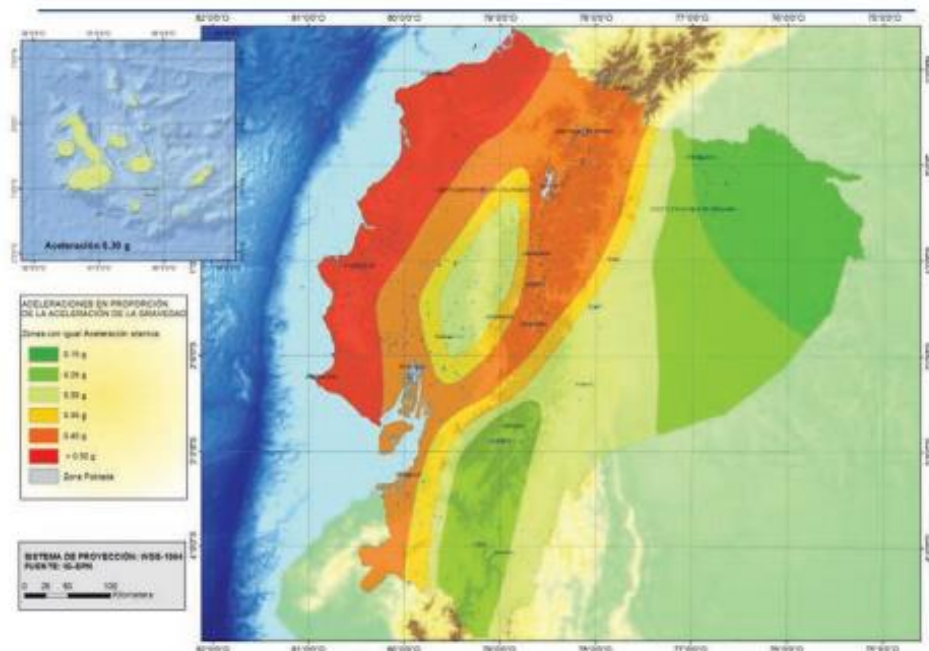
2.1.6. Zonificación Sísmica en el Ecuador.

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI. [3]

El mapa reconoce el hecho de que la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana es la principal fuente de generación de energía sísmica en el Ecuador. A este hecho se añade un complejo sistema de fallas local superficial que produce sismos importantes en gran parte del territorio ecuatoriano. [3]

El estudio de peligro sísmico fue realizado de manera integral para todo el territorio nacional, de acuerdo con las metodologías actuales usadas a nivel mundial y a la disponibilidad de la información a nivel local. [3]

Figura 8. Mapa de Ecuador y las zonas sísmicas de diseño y el Factor de zona z



Fuente: Peligro sísmico. NEC_SE_DS 2015

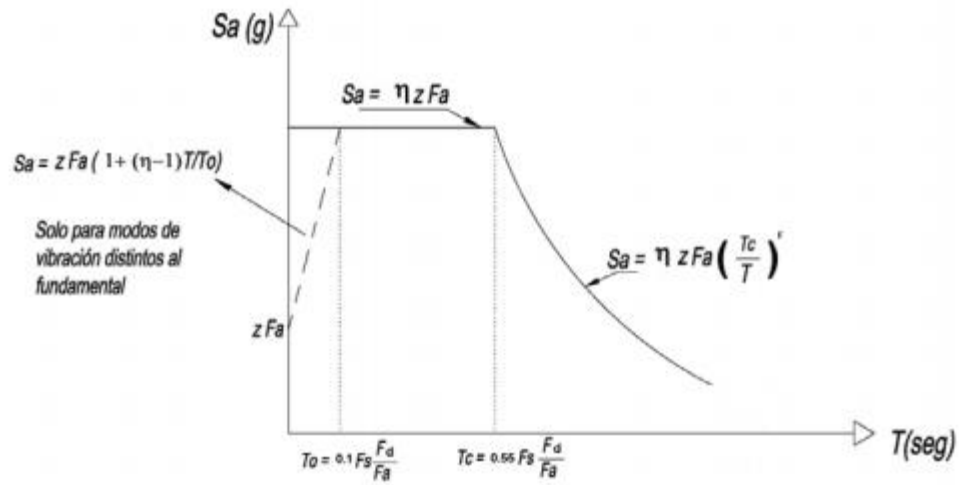
2.1.6.1. Espectro Elástico Horizontal de Diseño en aceleraciones.

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, tiene como parámetros:

- El factor de zona sísmica z y Ecuador consta con seis zonas
- El tipo de suelo de emplazamiento de la estructura que se clasifican en seis tipos de suelo y la clasificación es correspondiente a los 30 m superiores del perfil para los tipos A, B, C, D y E. para el perfil F se aplican otros criterios y no se aplican a los 30 m superiores del perfil.
- La consideración de los valores de los coeficientes de amplificación de suelo F_a , F_d y F_s que son F_a Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto. F_d amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de

desplazamientos para diseño en roca F_s comportamiento no lineal de los suelos. [3]

Figura 9. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

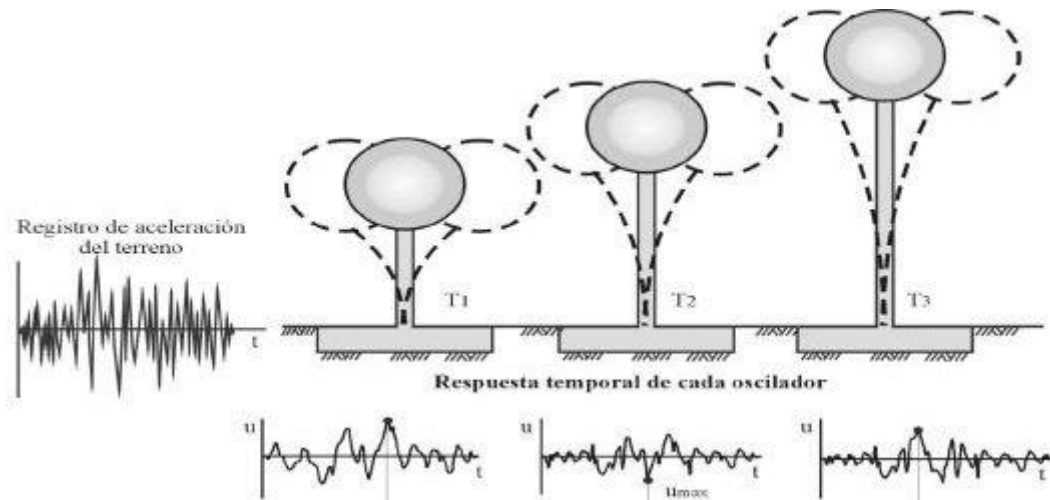


Fuente: Peligro sísmico. NEC_SE_DS 2015

2.1.6.2. Período de vibración.

Es el tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico ondulatorio, o vibratorio, para que el sistema vibratorio vuelva a su posición original considerada luego de un ciclo de oscilación. [3]

Figura 10. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño



Fuente: Estructuras SismoResistentes. Análisis Modal Espectral

Período de vibración Fundamental.

Es el mayor período de vibración de la estructura en la dirección horizontal de interés. [3]

2.1.7. Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (Ground Motion Prediction Equations GMPE's).

Una relación de atenuación es una expresión matemática que relaciona un parámetro específico del movimiento del suelo con otros parámetros sismológicos que caracterizan cuantitativamente la fuente sísmica, la trayectoria de propagación de las ondas y el efecto local del suelo. [17]

Algunos autores han considerado que las ecuaciones de atenuación influyen en gran medida en los resultados que se obtengan en los estudios de amenaza. También conocidas como Ground Motion Prediction Equations (GMPE), estas ecuaciones son utilizadas para estimar las fuerzas y/o desplazamientos a los que se pueden exponer las estructuras y con

base en ellos, plantear las medidas correctivas requeridas para lograr un adecuado comportamiento estructural. [18]

Con base en un conjunto sistemático y consistente de criterios de evaluación los GMPE's existen para cada entorno tectónico, en el territorio ecuatoriano para las fuentes Intraplaca se pueden usar Boore y Atkinson (2008), Akkar y Bommer (2010), Kanno et.al (2006), Bindi et.al (2009) y para las fuentes de subducción Young et.al (1997), Atkinson y Boore (2003), Kanno et.al (2006), McVerry et.al (2006), Lin y Lee (2008), Zhao et.al (2006). [3]

2.1.7.1. Sismos Intraplacas

- **Boore y Atkinson (2008)**

Las ecuaciones mostradas para este modelo son para movimientos de suelo de componente horizontal promedio en función de la magnitud del terremoto, la distancia de la fuente al sitio, la velocidad de onda de corte promedio local y el tipo de falla, que a su vez son para la aceleración pico de la tierra (PGA), la velocidad máxima del terreno (PGV) y el 5% de pseudo-absoluta aceleración de los espectros (PSA) en los períodos entre 0,01 y 10 s. [32]

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

Dónde:

F_M, F_D, F_S: Coeficientes

M: Magnitud de momento

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

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

- **Akkar y Bommer (2010)**

Akkar y Bommer (2007a) presentaron un nuevo GMPE, basado en la misma base de datos que Ambraseys y otros. (2005). La principal motivación fue ampliar el rango de

períodos de respuesta cubiertos por las ecuaciones. Así como algunos enfoques emergentes para el diseño sísmico basado en desplazamientos, así como el diseño de estructuras de base aislada, requieren ordenadas espectrales en periodos más largos, así como a valores de amortiguación diferentes al omnipresente 5% del crítico.

$$\ln y = \mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2\mathbf{M} + \mathbf{b}_3\mathbf{M}^2 + (\mathbf{b}_4 + \mathbf{b}_5\mathbf{M}) \log \sqrt{\mathbf{R}^2} \mathbf{j} \mathbf{b} + \mathbf{b}^2\mathbf{6} + \mathbf{b}_7\mathbf{S}_S + \mathbf{b}_8\mathbf{S}_A + \mathbf{b}_9\mathbf{F}_N + \mathbf{b}_{10}\mathbf{F}_R + \varepsilon\sigma$$

Dónde:

b: Coeficientes

F_N: Falla normal

F_R: Falla inversa

M: Magnitud de momento

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

S_A: Suelo rígido

S_B: Suelo suave

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

Después del terremoto de 1995 en Hyogo-ken Nanbu, Kobe, el gobierno japonés, en un esfuerzo por evitar futuros desastres sísmicos, instaló redes que consistían en un gran número de estaciones de observación de movimiento fuerte. Además, los mapas nacionales de riesgo sísmico se publicaron en un sitio web en la Sede Central para la Promoción de la Investigación de Terremotos (1995). Estos mapas indican solo la intensidad sísmica local para Japón, como conversión empírica de la velocidad máxima predicha por Si y Midorikawa (1999) en suelos consolidados. Para diversas aplicaciones, se requieren otros índices de movimiento fuerte, como la aceleración espectral de respuesta. Algunas relaciones de atenuación empírica para los espectros de respuesta como, por ejemplo, Kobayashi y Midorikawa, 1982; Annaka et al., 1997 existen para Japón, pero se derivaron de un conjunto limitado de registros. En este estudio, se establece una base de datos de fuertes registros de movimiento terrestre japonés entre 1963 y 2003 para identificar una nueva relación de atenuación estándar

para la aceleración de respuesta y la aceleración máxima de terreno (PGA) y la velocidad (PGV). [34]

Si $D \leq 30$ Km:

$$\text{Log pre} = a_1M_W + b_1X - \log(X+d_1 * 10^{e1M_w}) + c_1 + \epsilon_1$$

Si $D \leq 30$ Km:

$$\text{Log pre} = a_2M_W + b_2X - \log(X) + c_2 + \epsilon_2$$

Dónde:

d: Profundidad Focal

a, b, c, d: Coeficientes

M_w: Magnitud de momento

X: Distancia de la fuente

2.1.7.2. Sismos Subducción

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

Las ecuaciones de atenuación para aceleraciones máximas en el suelo y la respuesta espectral de aceleración para la subducción de zonas de superficies de contacto; también para terremotos que generan momentos de magnitud 5 o mayores, entre distancias de 10 a 500 km. [35]

$$\text{Lny} = -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2 (10-M)^3 + C_3 * \text{Ln}(R+1.097e^{0.617M}) + 0.00648H + 0.3643t$$

Dónde:

y: Aceleración espectral en g

C = Coeficientes

R: Distancia de la fuente al sitio

H: Profundidad focal

M: Magnitud de momento

Zt: Tipo de falla

- **Zhao (2006)**

De manera determinista, los ingenieros usan modelos de atenuación para estimar las fuerzas y / o desplazamientos inducidos en las estructuras de ingeniería. Japón se encuentra en un entorno de límite de placa activa y, por lo tanto, tiene un entorno geológico y tectónico complicado. Debido a que las trayectorias de propagación de la onda sísmica desde la fuente del terremoto hasta la superficie del suelo varían de un tipo de terremoto a otro, se espera que los movimientos del suelo generados por diferentes tipos de terremotos sean diferentes incluso si los eventos tienen magnitudes idénticas y distancias fuente. [36]

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

Dónde:

M: Magnitud de momento

a, b, e = Coeficientes

x: Distancia de la fuente en Km

h: Profundidad focal

hc: Constante

Ck: Clase de sitio

2.1.8. Magnitud de momento Mw

Esta magnitud se determina a partir del momento sísmico, que es una cantidad proporcional al área de ruptura y al deslizamiento que ocurra en la falla. [19]

Los autores Wells, D. y Coppersmith, K. nos dicen: Los análisis probabilísticos como deterministas, necesitan de una evaluación del futuro potencial del terremoto en una

región. Se debe estimar el tamaño de los terremotos más grandes que podrían ser generados por una falla particular o una fuente de terremoto. El futuro potencial de terremoto por lo general se evalúa a partir de estimaciones de parámetros de ruptura de falla, ya que están relacionados con la magnitud del terremoto. [20]

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 <i>s</i>	Correlation Coefficient <i>r</i>	Magnitude Range	Length/Width Range (km)
			<i>a</i> (<i>ss</i>)	<i>b</i> (<i>sb</i>)				
$M = a + b * \log (SRL)$	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
$\log (SRL) = a + b * M$	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
$M = a + b * \log (RLD)$	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
$\log (RLD) = a + b * M$	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
$M = a + b * \log (RW)$	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
$\log (RW) = a + b * M$	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
$M = a + b * \log (RA)$	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
$\log (RA) = a + b * M$	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-Coppersmith

La tabla anterior nos muestra dos ecuaciones para el cálculo de la Magnitud de Momento (Mw) y si se sabe el momento producido podemos calcular los diferentes tipos de

longitudes a las fallas. Para dichos cálculos tenemos variables como son el tipo de falla que en la tabla los muestra como Transcurrente (SS), Inversa (R), Normal (N) y todas (All) que son todas las fallas mencionadas. Además del tipo de fallas tenemos los coeficientes a y b que son coeficientes de error. Para el uso de cada una de las ecuaciones verificamos que tipo de distancia a la falla es la que conocemos y tenemos SRL (longitud de ruptura en la superficie), RLD (longitud de ruptura subsuperficial), RW (ancho de la ruptura) y RA (área de la ruptura). En nuestro caso tenemos la longitud de ruptura en la superficie (SRL) por lo que ocuparemos para una falla inversa (R) la ecuación:

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

2.2. HIPÓTESIS

¿El estudio de Peligro Sísmico Determinista influye en el cálculo del espectro de respuesta determinista y comparación con el espectro de la NEC 2015 (Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015)?

2.3. SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1. Variable Dependiente

Calculo del espectro de respuesta determinista y comparación con el espectro de la NEC 2015 (Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015)

2.3.2. Variable Independiente

Peligro Sísmico Determinista

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.

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

- Exploratorio ya que por medio del Ensayo de Penetración Estándar SPT que se realizará en el sector de estudio se extraerá muestras del suelo para luego ser analizadas en el laboratorio, mediante los resultados obtenidos y sabiendo el tipo de suelo obtenido conjuntamente con las ecuaciones antes mencionadas poder obtener el espectro de respuesta determinista y así compararlo con el espectro de respuesta que nos brinda la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015.
- De Laboratorio debido a que se analizará el tipo de suelo extraído del sector mediante el equipo de penetración estándar SPT. Para luego mediante ensayos en laboratorio determinar el tipo de suelo mediante la clasificación SUCS.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.

Población:

El Estudio de Peligro Sísmico Determinista se lo realizará para las estructuras del sector Ingahurco. Por tal motivo es necesario conocer las características geotécnicas del suelo, así como las Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (GMPE's) que van a ser empleadas.

Muestra:

Las Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (GMPE's) que se utilizaran son:

- Akkar y Bommer (2010)
- Boore y Atkinson (2008)

- Kanno (2006)
- Youngs (1997)
- Zhao (2006)

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
Considera la generación de un evento sísmico en una fuente identificada y localizada a la menor distancia de la zona de estudio.	Fuente Sísmica	Fallas Geológicas	¿Cuáles son las fallas geológicas cercanas al área de estudio?	Experimental Bibliográfica
	Distancia fuente-sitio	Distancia de Joyner-Boore	¿Cuál es la distancia de Joyner-Boore?	Experimental Bibliográfica
	Magnitud	Longitud de ruptura superficial	¿Cuál es la longitud de ruptura superficial?	Experimental Bibliográfica

Elaboración: David Jijón.

3.3.2. Variable Dependiente

Calculo del espectro de respuesta determinista y comparación con el espectro de la NEC 2015 (Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015)

Tabla 3. Operacionalización de la variable dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
El espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , expresado como fracción de la gravedad, para el sismo de diseño.	Ensayo granulométrico	Tipo de suelo	¿Cuál es el tipo de suelo?	Experimental Bibliográfica
	Período de vibración	Período de vibración de la estructura	¿Cuál es el periodo de vibración de la estructura?	Experimental Bibliográfica
	Ecuaciones de Atenuación	Aceleración	¿Cuál es la aceleración?	Experimental Bibliográfica

Elaboración: David Jijón.

3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

Tabla 4. Plan de recolección de información

Preguntas Básicas	Explicación
1. ¿Para qué?	Para comparar el espectro de respuesta de la NEC 2015 con los espectros de respuesta asociados a las fallas seleccionadas en el sector Ingahurco del cantón Ambato
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?	David Ricardo Jijón Cunalata
5. ¿Dónde?	Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
6. ¿Cómo?	Investigación bibliográfica Ensayos de laboratorio Norma NEC-15

Elaboración: David Jijón.

3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.

El proceso a seguir será de la siguiente manera:

- Identificación del régimen tectónico en base al área de estudio.
- Selección de las fallas más importantes que afectan al área de estudio, basado en NeoTec/Ecuador
- Determinación de la magnitud máxima de las fallas seleccionadas, basado en la metodología de Wells – Coppersmith
- Identificación del tipo de perfil de suelo mediante el ensayo de penetración estándar SPT, basado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Estimar la aceleración máxima de suelo de acuerdo al régimen tectónico, basado en Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPE's).
- Comparación del espectro de respuesta analizado con los de la NEC-2015

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS.

4.1.1. Régimen Tectónico

El cantón Ambato sector Ingahurco se encuentra ubicado en la región interandina del Ecuador a una altura aproximada de 2580 msnm. La ciudad se encuentra en la provincia de Tungurahua y que a su vez es una región sísmica y volcánica. [21]

Los eventos sísmicos tienen origen en dos fuentes principales: debido al fallamiento cortical que afecta al Bloque Norandino y a la Placa Sudamericana y al proceso de subducción de la Placa de Nazca bajo el bloque Norandino y la Placa sudamericana. [22]

Los sismos volcánicos se originan por la sobrepresión generada por los fluidos magmáticos que tienden a salir a la superficie y/o por el movimiento o vibraciones que causan estos fluidos al abrirse paso entre las rocas. [23]

Uno de los sismos históricos registrados es el terremoto de Ambato-Pelileo ocurrido el 5 de agosto de 1949, tuvo un alto potencial destructivo debido a la generación de grandes deslizamientos. El epicentro de acuerdo a las últimas investigaciones, se ubica en una falla al sur del Nido Sísmico de Pisayambo, aproximadamente a 20 km nororiente de Pelileo. La magnitud calculada en función a las intensidades generadas es de 6.8 con una profundidad menor a 15 km. [23] [24]

La Placa de Nazca se mueve respecto a la placa sudamericana a una velocidad de 58 mm/año con dirección N83°E, mientras el Bloque Andino se desplaza con dirección N35°E a una velocidad de entre 7 y 8 mm/año con respecto a Sudamérica a lo largo de un sistema de fallas denominado Sistema Mayor Dextral. [25]

Figura 11. Límites de placas en la cual se detalla los nombres de las placas, su dirección y sus límites.



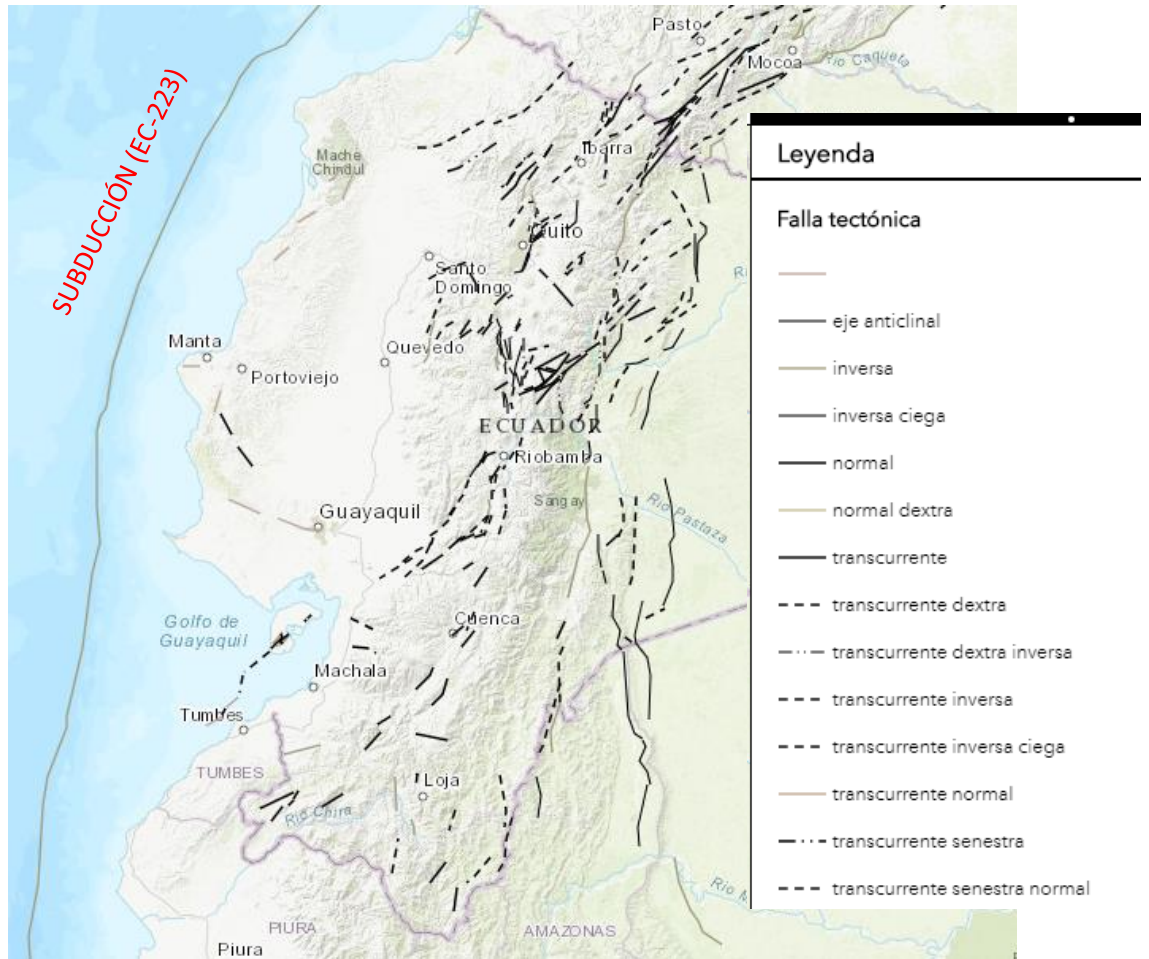
Fuente: Ciencias Terrestres.

4.1.2. Selección de Fallas Geológicas

Para la investigación que se está realizando se establecerán las fallas activas que se encuentran cerca del área de estudio, mediante datos que obtendremos de la página Neo Tec/Ecuador.

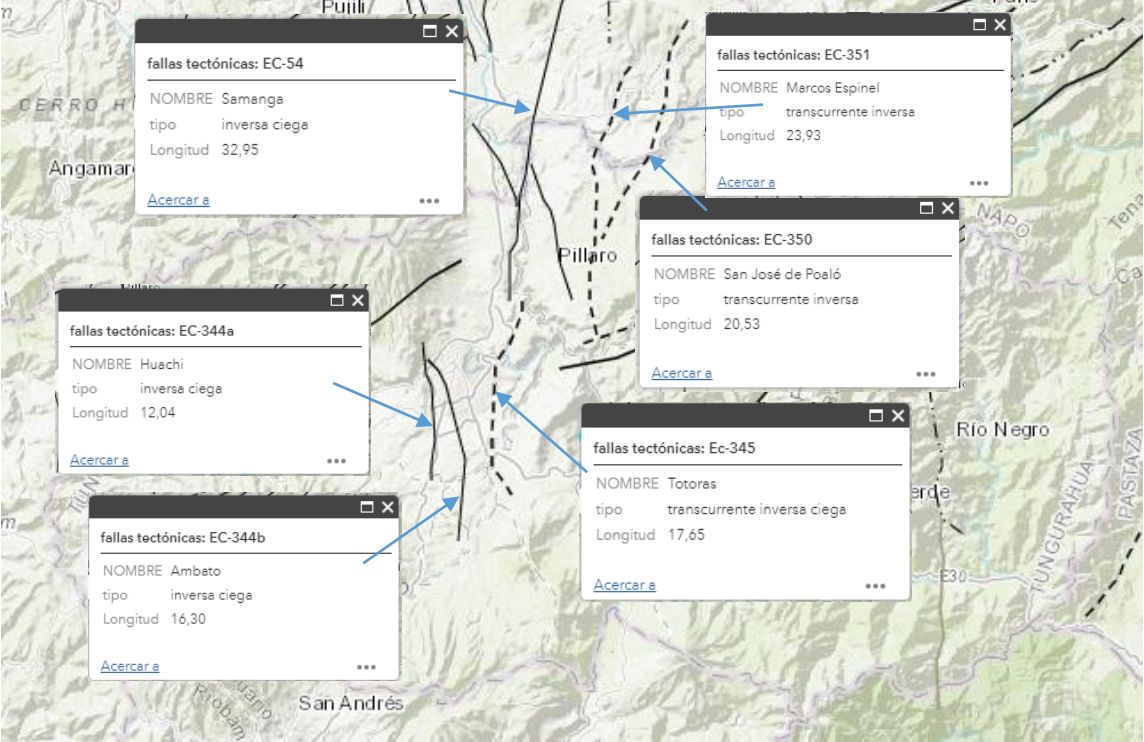
Las imágenes se muestran a continuación, las cuales indican las fallas existentes en el Ecuador, Tungurahua y Ambato.

Figura 12. Fallas Geológicas presentes en el Ecuador como se detallan en la tabla de leyenda.



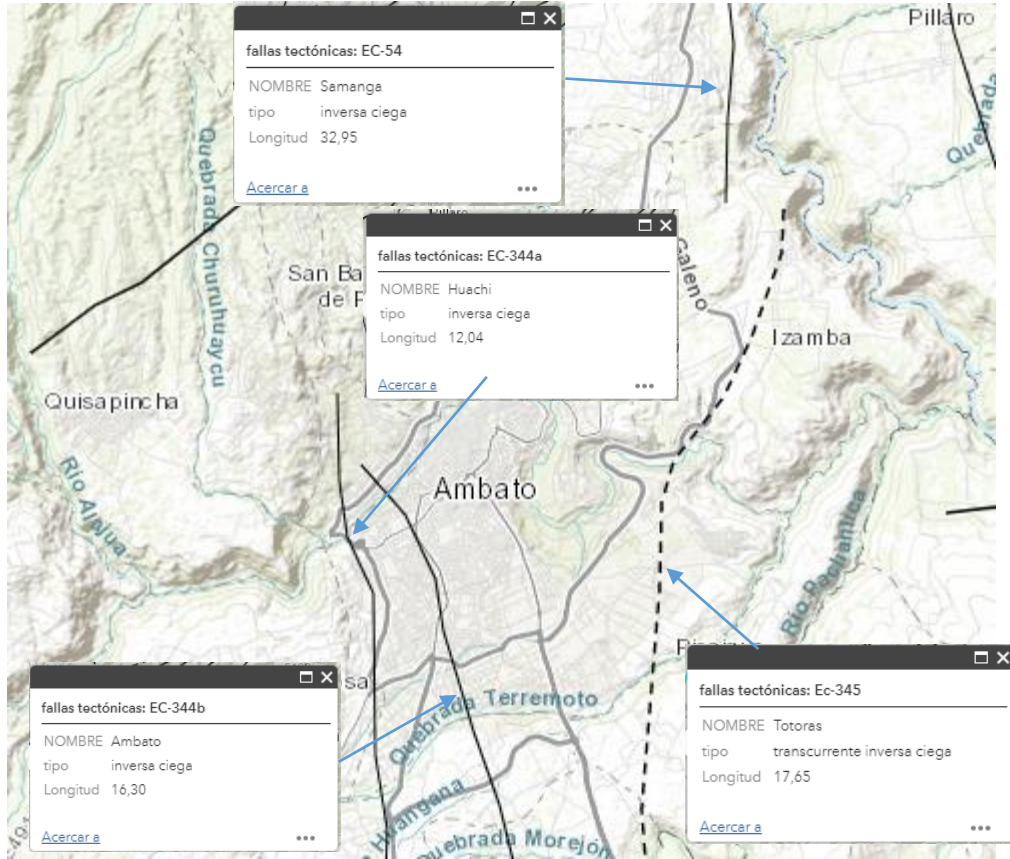
Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

Figura 13. Fallas Geológicas presentes en la provincia Tungurahua como la falla Marcos Espinel, Samanga, San José de Poaló, Totoras, Ambato, Huachi, etc.



Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

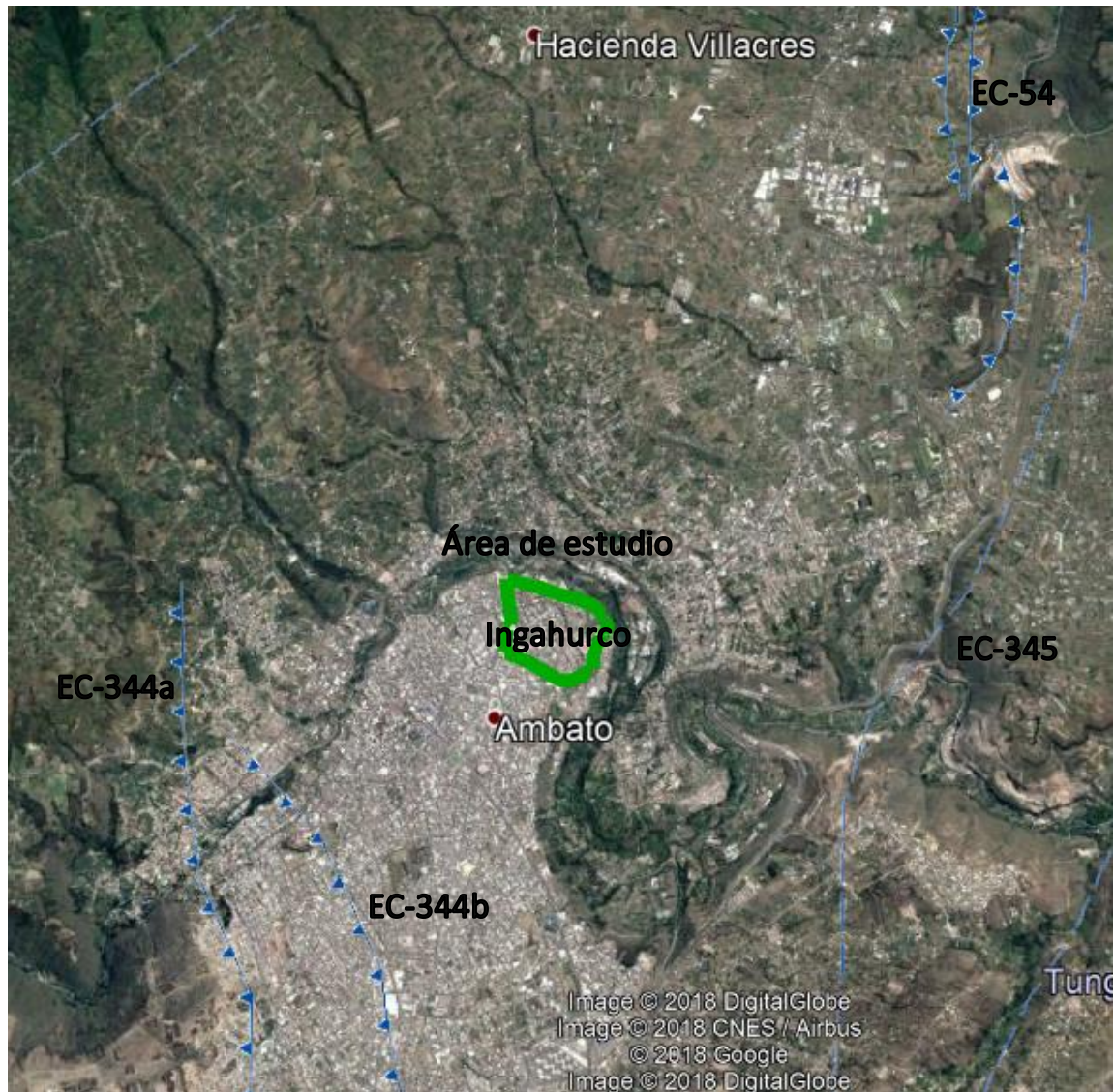
Figura 14. Fallas Geológicas presentes en la ciudad de Ambato como son las fallas de Samanga, Huachi, Totoras y Ambato.



Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

Procedemos a elegir las fallas de mayor longitud y las que se encuentran más cercanas al lugar de estudio, ya que son las fallas que generan sismos de mayor magnitud.

Figura 15. Fallas Geológicas seleccionadas para el área de estudio (sector Ingahurco) como son la falla de Huachi (EC-344a), Ambato (EC-344b), Totoras (EC-345) y Samanga (EC-54).



Fuente: Google Earth

Tabla 5. Código de Fallas seleccionadas para el área de estudio

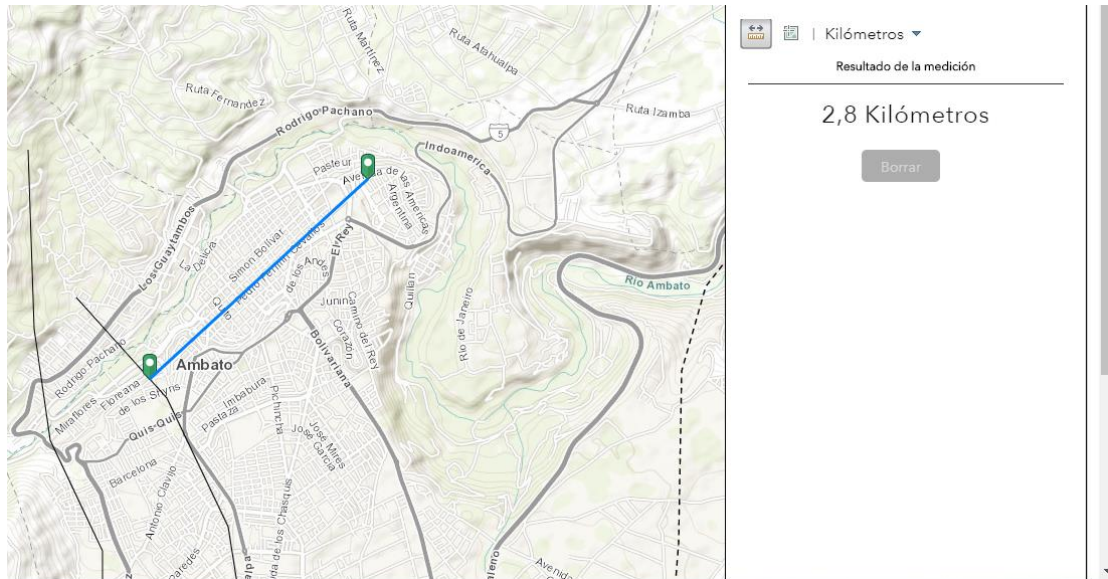
CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	LONGITUD (Km)	DISTANCIA (Km)
EC-344a	HUACHI	Inversa ciega	12.04	3.64
EC-344b	AMBATO	Inversa ciega	16.30	2.8
EC-345	TOTORAS	Transcurrente inversa ciega	17.65	3.26
EC-54	SAMANGA	Inversa ciega	32.95	5.6
EC-223	SUBDUCCIÓN	Inversa	1536.49	296

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

Una vez seleccionadas las fallas procedemos a medir desde un punto centro del área de estudio hacia cada una de las fallas geológicas (Rjb distancia de Joyner y Boore), utilizando el mapa del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

La medida se realiza midiendo desde el centro de gravedad del área de estudio hasta la falla y formando un ángulo de 90° con la misma.

Figura 16. Distancia medida desde el centro del área de estudio hacia la Falla Ambato



Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

4.1.3. Características del Suelo

El método del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, requiere obtener la información pertinente sobre algunas características esenciales del suelo a estudiar. Esta información se obtiene a partir de varias pruebas de laboratorio normadas por la ASTM International, las pruebas necesarias para obtener los datos para poder clasificar el suelo son el contenido de humedad, el análisis granulométrico y los límites líquido y plástico y el índice de plasticidad. [26]

Es así como se comienza a realizar una clasificación del suelo, el suelo que queda retenido sobre la malla N°4 es correspondiente a un suelo de tipo grava, El suelo que se retiene sobre la malla N°200 corresponde a un suelo de tipo arena y por último el suelo que pasa la malla N°200 corresponde a ser suelo fino que a su vez puede ser arcilloso o limoso. [27]

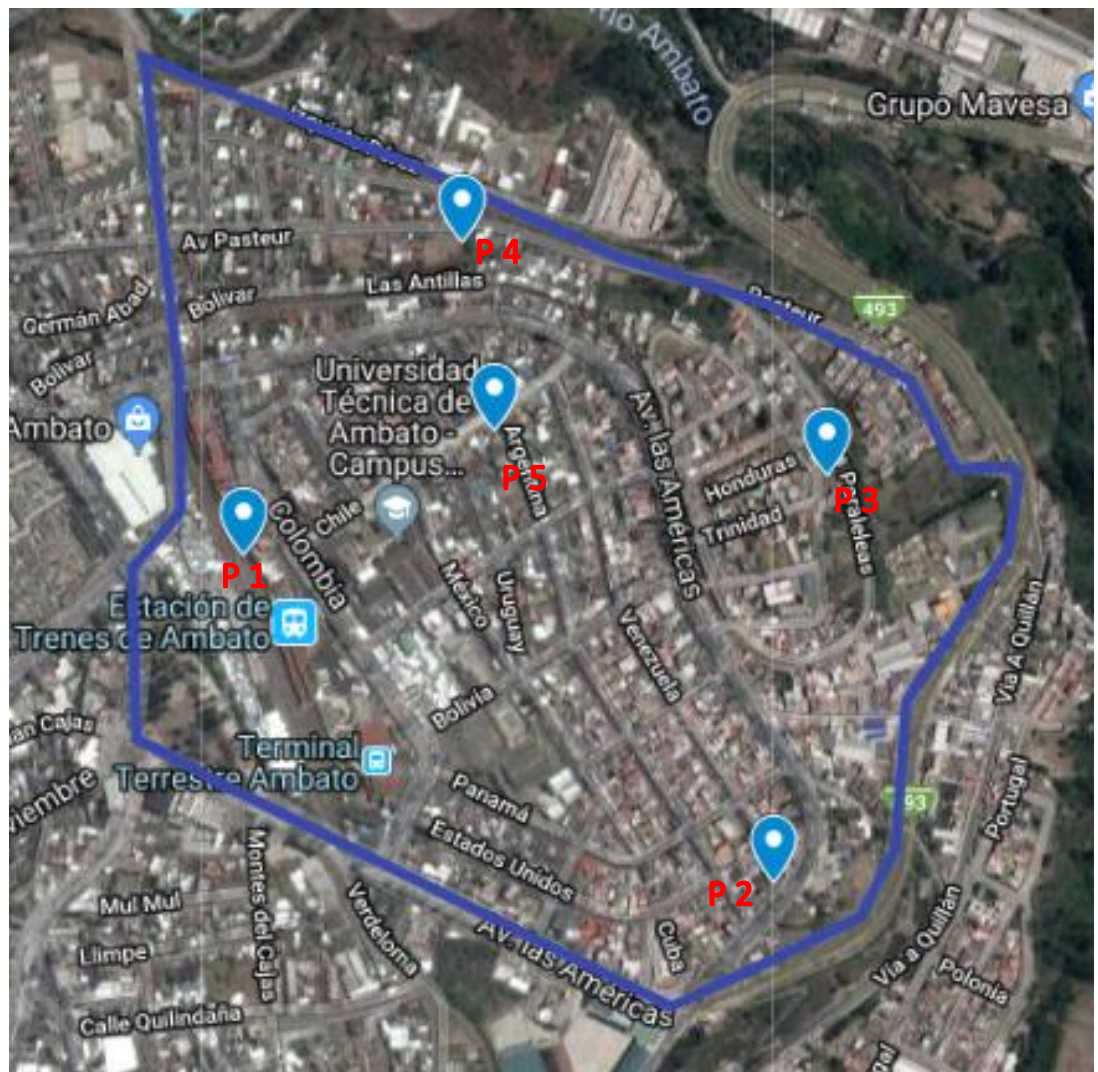
Tabla 6. Clasificación de los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

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

Fuente: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

El área de estudio está delimitada por la Avenida Las Américas, Avenida Indoamérica, calle Pasteur, calle Izquierda Pérez, calle Dr. Julio Enrique Paredes, Avenida Cevallos y calle González Suárez. En dicho sector se seleccionaron cinco puntos para realizar el ensayo de campo denominado Ensayo de Penetración Estándar (SPT), con el que se obtuvo muestras de suelo para luego proceder al ensayo de granulometría que se lo realizó en los Laboratorios de Mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Figura 17. Área de estudio y ubicación de los puntos en los que se realizó el ensayo de campo SPT



Elaborado por: David Jijón

Coordenadas de los puntos en los cuales se realizó el Ensayo de Penetración Estándar (SPT).

Tabla 7. Coordenadas U.T.M. de las perforaciones realizadas en el sector Ingahurco

PERFORACIÓN	ESTE	NORTE
Pozo 1	765117.53	9863426.74
Pozo 2	765664.15	9863122.11
Pozo 3	765735.70	9863461.11
Pozo 4	765330.60	9863797.71
Pozo 5	765367.39	9863606.83

Elaborado por: David Jijón.

Valores obtenidos mediante el ensayo de granulometría, con lo cual determinaremos el tipo de suelo mediante la tabla de la SUCS.

Tabla 8. Se muestra los datos del Análisis Granulométrico del Pozo 1

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA
1.00 m			
#4	20.90	8.79	91.21
#10	6.60	2.78	97.22
#40	13.40	5.63	94.37
#100	89.60	37.68	62.32
#200	70.80	29.77	70.23
Retenido hasta #200	180.40	75.86	24.14
FUENTE	36.50	15.35	
TOTAL	237.80	100.00	
1.50 m			
#4	6.50	7.23	92.77
#10	2.30	2.56	97.44
#40	6.20	6.90	93.10
#100	31.70	35.26	64.74

#200	26.20	29.14	70.86
Retenido hasta #200	66.40	73.86	26.14
FUENTE	17.00	18.91	
TOTAL	89.90	100.00	
2.00 m			
#4	45.40	27.14	72.86
#10	6.00	3.59	96.41
#40	16.20	9.68	90.32
#100	45.30	27.08	72.92
#200	32.00	19.13	80.87
Retenido hasta #200	99.50	59.47	40.53
FUENTE	22.40	13.39	
TOTAL	167.30	100.00	
2.50 m			
#4	6.50	3.81	96.19
#10	3.70	2.17	97.83
#40	20.20	11.84	88.16
#100	51.20	30.01	69.99
#200	44.60	26.14	73.86
Retenido hasta #200	119.70	70.16	29.84
FUENTE	44.40	26.03	
TOTAL	170.60	100.00	
3.00 m			
#4	50.30	18.47	81.53
#10	15.10	5.55	94.45
#40	30.40	11.16	88.84
#100	72.80	26.74	73.26
#200	57.70	21.19	78.81
Retenido hasta #200	176.00	64.63	35.37
FUENTE	46.00	16.89	
TOTAL	272.30	100.00	
3.50 m			
#4	25.20	10.30	89.70
#10	7.10	2.90	97.10
#40	27.60	11.28	88.72
#100	69.00	28.20	71.80
#200	59.80	24.44	75.56
Retenido hasta #200	163.50	66.82	33.18
FUENTE	56.00	22.89	

TOTAL	244.70	100.00	
4.00 m			
#4	37.20	14.79	85.21
#10	6.80	2.70	97.30
#40	42.80	17.01	82.99
#100	74.80	29.73	70.27
#200	44.00	17.49	82.51
Retenido hasta #200	168.40	66.93	33.07
FUENTE	46.00	18.28	
TOTAL	251.60	100.00	
4.20 m			
#4	32.80	15.85	84.15
#10	5.00	2.42	97.58
#40	27.20	13.15	86.85
#100	60.70	29.34	70.66
#200	42.70	20.64	79.36
Retenido hasta #200	135.60	65.54	34.46
FUENTE	38.50	18.61	
TOTAL	206.90	100.00	

Elaborado por: David Jijón.

De acuerdo al ensayo granulométrico realizado y con los resultados obtenidos los comparamos con la tabla 7 la cual es la clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS), determinamos que para cada muestra calculada más del 50% del material se retiene en el tamiz N°200 lo cual significa que es un suelo grueso y a su vez mas del 50% de la porción gruesa pasa por el tamiz N°4, por lo que el tipo de suelo resultante es arena.

Tabla 9. Se muestra los datos del Análisis Granulométrico del Pozo 2

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA
1.00 m			
#4	24.80	11.40	88.60
#10	15.90	7.31	92.69

#40	30.40	13.98	86.02
#100	39.20	18.02	81.98
#200	39.20	18.02	81.98
Retenido hasta #200	124.70	57.33	42.67
FUENTE	68.00	31.26	
TOTAL	217.50	100.00	
1.50 m			
#4	28.90	8.13	91.87
#10	18.20	5.12	94.88
#40	44.80	12.60	87.40
#100	71.80	20.20	79.80
#200	65.50	18.42	81.58
Retenido hasta #200	200.30	56.34	43.66
FUENTE	126.30	35.53	
TOTAL	355.50	100.00	
2.00 m			
#4	50.20	19.74	80.26
#10	19.00	7.47	92.53
#40	29.20	11.48	88.52
#100	41.20	16.20	83.80
#200	44.10	17.34	82.66
Retenido hasta #200	133.50	52.50	47.50
FUENTE	70.60	27.76	
TOTAL	254.30	100.00	

Elaborado por: David Jijón.

En la tabla 9 determinamos que para cada muestra calculada más del 50% del material se retiene en el tamiz N°200 lo cual significa que es un suelo grueso y a su vez mas del 50% de la porción gruesa pasa por el tamiz N°4, por lo que el tipo de suelo resultante es arena.

Tabla 10. Se muestra los datos del Análisis Granulométrico del Pozo 3

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA
1.00 m			
#4	47.00	34.53	65.47
#10	26.50	19.47	80.53
#40	27.90	20.50	79.50
#100	13.30	9.77	90.23
#200	7.80	5.73	94.27
Retenido hasta #200	75.50	55.47	44.53
FUENTE	13.60	9.99	
TOTAL	136.10	100.00	
1.50 m			
#4	34.90	18.89	81.11
#10	33.00	17.86	82.14
#40	45.20	24.46	75.54
#100	27.90	15.10	84.90
#200	16.00	8.66	91.34
Retenido hasta #200	122.10	66.07	33.93
FUENTE	27.80	15.04	
TOTAL	184.80	100.00	
2.00 m			
#4	4.80	13.91	86.09
#10	4.00	11.59	88.41
#40	8.60	24.93	75.07
#100	7.10	20.58	79.42
#200	4.10	11.88	88.12
Retenido hasta #200	23.80	68.99	31.01
FUENTE	5.90	17.10	
TOTAL	34.50	100.00	
2.50 m			
#4	133.70	26.02	73.98
#10	77.10	15.01	84.99
#40	106.70	20.77	79.23
#100	71.00	13.82	86.18
#200	45.80	8.91	91.09
Retenido hasta #200	300.60	58.51	41.49
FUENTE	79.50	15.47	

TOTAL	513.80	100.00	
3.00 m			
#4	60.90	17.89	82.11
#10	48.70	14.31	85.69
#40	74.00	21.74	78.26
#100	54.90	16.13	83.87
#200	37.80	11.10	88.90
Retenido hasta #200	215.40	63.28	36.72
FUENTE	64.10	18.83	
TOTAL	340.40	100.00	
3.50 m			
#4	47.90	12.92	87.08
#10	43.80	11.81	88.19
#40	76.70	20.69	79.31
#100	65.00	17.53	82.47
#200	51.00	13.75	86.25
Retenido hasta #200	236.50	63.78	36.22
FUENTE	86.40	23.30	
TOTAL	370.80	100.00	

Elaborado por: David Jijón.

En la tabla 10 determinamos que para cada muestra calculada más del 50% del material se retiene en el tamiz N°200 lo cual significa que es un suelo grueso y a su vez mas del 50% de la porción gruesa pasa por el tamiz N°4, por lo que el tipo de suelo resultante es arena.

Tabla 11. Se muestra los datos del Análisis Granulométrico del Pozo 4

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA
1.00 m			
#4	2.40	2.59	97.41
#10	5.70	6.16	93.84
#40	26.00	28.11	71.89
#100	22.10	23.89	76.11
#200	12.20	13.19	86.81

Retenido hasta #200	66.00	71.35	28.65
FUENTE	24.10	26.05	
TOTAL	92.50	100.00	
1.20 m			
#4	5.00	5.05	94.95
#10	3.90	3.94	96.06
#40	10.80	10.90	89.10
#100	14.20	14.33	85.67
#200	30.00	30.27	69.73
Retenido hasta #200	58.90	59.43	40.57
FUENTE	35.20	35.52	
TOTAL	99.10	100.00	

Elaborado por: David Jijón.

En la tabla 11 determinamos que para cada muestra calculada más del 50% del material se retiene en el tamiz N°200 lo cual significa que es un suelo grueso y a su vez mas del 50% de la porción gruesa pasa por el tamiz N°4, por lo que el tipo de suelo resultante es arena.

Tabla 12. Se muestra los datos del Análisis Granulométrico del Pozo 5

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA
1.00 m			
#4	2.40	2.05	97.95
#10	2.50	2.13	97.87
#40	10.90	9.30	90.70
#100	29.70	25.34	74.66
#200	36.80	31.40	68.60
Retenido hasta #200	79.90	68.17	31.83
FUENTE	34.90	29.78	
TOTAL	117.20	100.00	
1.50 m			
#4	5.30	5.45	94.55
#10	1.60	1.65	98.35
#40	8.80	9.05	90.95

#100	21.90	22.53	77.47
#200	26.50	27.26	72.74
Retenido hasta #200	58.80	60.49	39.51
FUENTE	33.10	34.05	
TOTAL	97.20	100.00	
2.00 m			
#4	0.00	0.00	100.00
#10	1.10	0.89	99.11
#40	13.00	10.52	89.48
#100	28.60	23.14	76.86
#200	32.60	26.38	73.62
Retenido hasta #200	75.30	60.92	39.08
FUENTE	48.30	39.08	
TOTAL	123.60	100.00	
2.50 m			
#4	1.90	1.38	98.62
#10	2.40	1.74	98.26
#40	35.80	25.98	74.02
#100	38.10	27.65	72.35
#200	23.50	17.05	82.95
Retenido hasta #200	99.80	72.42	27.58
FUENTE	36.10	26.20	
TOTAL	137.80	100.00	
3.00 m			
#4	6.60	2.79	97.21
#10	8.80	3.72	96.28
#40	49.40	20.86	79.14
#100	65.70	27.74	72.26
#200	41.90	17.69	82.31
Retenido hasta #200	165.80	70.02	29.98
FUENTE	64.40	27.20	
TOTAL	236.80	100.00	

Elaborado por: David Jijón.

En la tabla 12 determinamos que para cada muestra calculada más del 50% del material se retiene en el tamiz N°200 lo cual significa que es un suelo grueso y a su vez mas del

50% de la porción gruesa pasa por el tamiz N°4, por lo que el tipo de suelo resultante es arena.

4.1.3.1. Ensayo de Penetración Estándar (SPT).

El Ensayo de Penetración Estándar SPT seguirá los pasos basados en la norma INEN 689, la cual nos da el procedimiento del ensayo.

- Luego de apoyar el muestreador en el fondo del pozo perforado, se procede a hincarlo mediante golpes del martinete lanzado en caída libre desde una altura de 75 ± 5 cm sobre la cabeza de golpe. [28]
- Para el izaje del martinete debe usarse cabo de manila o similar y, en caso de ser accionado mecánicamente, el cabo no debe enrollarse más de dos vueltas en el malacate. [28]
- Debe cuidarse de que la barra rígida de acero que sirve de guía en la caída del martinete esté completamente vertical, con lo cual se asegura que la energía de los golpes no resulte disminuida por efecto de la fricción del martinete sobre dicha barra. [28]
- El muestreador debe penetrar en primer lugar 15 cm, lo cual se considera como un proceso necesario de preparación y ajuste para el ensayo, por lo que, el número de golpes necesarios para este primer tramo de hincado tiene únicamente un valor relativo de orientación. [28]
- Se inicia entonces el ensayo contando el número de golpes (N) necesarios para hacer penetrar el muestreador 30 cm (nota 3), lo cual determina la resistencia a la penetración de dicho suelo. [28]
- Si al hincar este tramo se sobrepasan los 50 golpes, sin que hubiera penetrado la totalidad de la medida indicada, se debe anotar el número de golpes efectuados y la fracción o longitud de penetración del muestreador. [28]
- Antes de extraer el muestreador a la superficie debe girarse por lo menos dos revoluciones, a fin de cortar la muestra por el fondo, luego de lo cual, se extrae el

muestreador a la superficie, se lo abre y se determina la longitud de la muestra recuperada. [28]

- La muestra se describirá según lo establecido en la Norma INEN 693, luego de lo cual se la debe acondicionar y cerrar herméticamente en un envase apropiado para su envío al laboratorio. [28]
- Para la identificación de las muestras, los recipientes que las contengan deben etiquetarse adecuadamente. [28]

A continuación, se muestran las tablas con los valores obtenidos en el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), los cuales se procede a sumar los valores de los 30 cm finales de cada tramo para obtener el valor de N_{spt} .

Tabla 13. Numero de golpes obtenidos mediante SPT y clasificación de los suelos según S.U.C.S. en cada tramo del pozo 1

PROFUNDIDAD (m)	COTA (cm)	N_{spt} (PARCIAL)	N_{spt} (TOTAL)	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.
0.55	0.55	Limpieza	21	SM (ARENA)
0.70	0.15	10		
0.85	0.15	10		
1.00	0.15	11		
1.05	0.05	Limpieza	31	SM (ARENA)
1.20	0.15	13		
1.35	0.15	15		
1.50	0.15	16		
1.55	0.05	Limpieza	34	SM (ARENA)
1.70	0.15	15		
1.85	0.15	18		
2.00	0.15	16		
2.05	0.05	Limpieza	41	SM (ARENA)
2.20	0.15	20		
2.35	0.15	19		
2.50	0.15	22		
2.55	0.05	Limpieza	52	SM (ARENA)
2.70	0.15	25		
2.85	0.15	28		

3.00	0.15	24		
3.05	0.05	Limpieza		
3.20	0.15	28	62	SM (ARENA)
3.35	0.15	29		
3.50	0.15	33		
3.55	0.05	Limpieza		
3.70	0.15	32	66	SM (ARENA)
3.85	0.15	35		
4.00	0.15	31		
4.05	0.05	Limpieza	50	SM (ARENA)
4.20	0.15	50		

Elaborado por: David Jijón.

Tabla 14. Numero de golpes obtenidos mediante SPT y clasificación de los suelos según S.U.C.S. en cada tramo del pozo 2

PROFUNDIDAD (m)	COTA (cm)	Nspt (PARCIAL)	Nspt (TOTAL)	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.
0.55	0.55	Limpieza		
0.70	0.15	11	21	SM (ARENA)
0.85	0.15	10		
1.00	0.15	11		
1.05	0.05	Limpieza		
1.20	0.15	25	58	SM (ARENA)
1.35	0.15	28		
1.50	0.15	30		
1.55	0.05	Limpieza		
1.70	0.15	35	80	SM (ARENA)
1.85	0.15	36		
2.00	0.15	44		

Elaborado por: David Jijón.

Tabla 15. Numero de golpes obtenidos mediante SPT y clasificación de los suelos según S.U.C.S. en cada tramo del pozo 3

PROFUNDIDAD (m)	COTA (cm)	Nspt (PARCIAL)	Nspt (TOTAL)	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.
0.55	0.55	Limpieza	5	SM (ARENA)
0.70	0.15	2		
0.85	0.15	3		
1.00	0.15	2		
1.05	0.05	Limpieza	21	SM (ARENA)
1.20	0.15	11		
1.35	0.15	10		
1.50	0.15	11		
1.55	0.05	Limpieza	32	SM (ARENA)
1.70	0.15	16		
1.85	0.15	17		
2.00	0.15	15		
2.05	0.05	Limpieza	48	SM (ARENA)
2.20	0.15	22		
2.35	0.15	25		
2.50	0.15	23		
2.55	0.05	Limpieza	57	SM (ARENA)
2.70	0.15	28		
2.85	0.15	25		
3.00	0.15	32		
3.05	0.05	Limpieza	80	SM (ARENA)
3.20	0.15	30		
3.35	0.15	39		
3.50	0.15	41		

Elaborado por: David Jijón.

Tabla 16. Numero de golpes obtenidos mediante SPT y clasificación de los suelos según S.U.C.S. en cada tramo del pozo 4

PROFUNDIDAD (m)	COTA (cm)	Nspt (PARCIAL)	Nspt (TOTAL)	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.
0.55	0.55	Limpieza		SM (ARENA)
0.70	0.15	32	68	
0.85	0.15	33		
1.00	0.15	35		
1.05	0.05	Limpieza	50	SM (ARENA)
1.20	0.15	50		

Elaborado por: David Jijón.

Tabla 17. Numero de golpes obtenidos mediante SPT y clasificación de los suelos según S.U.C.S. en cada tramo del pozo 5

PROFUNDIDA D (m)	COTA (cm)	Nspt (PARCIAL)	Nspt (TOTAL)	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.
0.55	0.55		33	SM (ARENA)
0.70	0.15	15		
0.85	0.15	15		
1.00	0.15	18		
1.05	0.05		47	SM (ARENA)
1.20	0.15	21		
1.35	0.15	22		
1.50	0.15	25		
1.55	0.05		54	SM (ARENA)
1.70	0.15	25		
1.85	0.15	28		
2.00	0.15	26		
2.05	0.05		59	SM (ARENA)
2.20	0.15	28		
2.35	0.15	30		
2.50	0.15	29		
2.55	0.05		80	SM (ARENA)
2.70	0.15	31		
2.85	0.15	36		
3.00	0.15	44		

Elaborado por: David Jijón.

Con los datos de las tablas anteriores procedemos a calcular el valor de la Velocidad media de la onda de cortante V_{s30} , utilizaremos los valores de N_{spt} total para cada tramo de cada pozo.

4.1.4. Velocidad media de la onda de cortante V_{s30} .

Los parámetros que se utilizan para definir el tipo de perfil de suelo con base en los 30m superiores del mismo son: [3]

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

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 nos proporciona una tabla con los tipos de perfiles que se muestra a continuación. [3]

Tabla 18. Tipos de perfiles que nos muestra la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s

Tipo de perfil	Descripción	Definición
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ KPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
	F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Fuente: NEC-2015.

4.1.4.1. Determinación de la Velocidad media de la onda de cortante Vs30.

Uno de los parámetros más importantes considerados en la actualidad a nivel mundial para la clasificación de los suelos es el llamado Vs30, que corresponde al promedio de las velocidades de ondas cortantes de las capas de suelo ubicadas desde la superficie hasta 30 metros debajo de ella. Sin embargo, las técnicas geofísicas requeridas para conocer este parámetro son sumamente costosas, además de que tienen cierto nivel de complejidad técnica y logística para su aplicación. [29]

El hecho de definir el promedio de velocidades a los 30 metros de profundidad como un criterio para la clasificación de suelos, obedece a que el suelo dentro de esta profundidad es el que afecta en mayor medida el comportamiento de las estructuras que se edifiquen sobre él. [29]

Con frecuencia a falta de estas pruebas geofísicas se recurre a ecuaciones empíricas para determinar el Vs partiendo de los datos de SPT. Sin embargo, es conocida la susceptibilidad de los resultados de la prueba de penetración estándar dependiendo de los equipos y metodologías con los que se realizó. [30]

Para el presente estudio se procedió a utilizar la fórmula empírica establecida por Sykora & Stokoe (1983) ya que se trata de un suelo arenoso y se muestra a continuación:

$$V_s = 100.5 * N_{spt}^{0.29}$$

Donde:

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

Vs= velocidad media de la onda de cortante.

Cálculo de la velocidad media de la onda de cortante (Vs) en todos los pozos realizados y tomando alturas distintas, para lo cual se toma como ejemplos los siguientes cálculos.

POZO 1, H = 2.00m

$$V_s = 100.5 * N_{spt}^{0.29}$$

$$V_s = 100.5 * 39^{0.29}$$

$$V_s = \mathbf{290.79 \text{ m/s}}$$

POZO 2, H = 2.00m

$$V_s = 100.5 * N_{spt}^{0.29}$$

$$V_s = 100.5 * 80^{0.29}$$

$$V_s = \mathbf{358.15 \text{ m/s}}$$

POZO 3, H = 3.00m

$$V_s = 100.5 * N_{spt}^{0.29}$$

$$V_s = 100.5 * 57^{0.29}$$

$$V_s = \mathbf{324.62 \text{ m/s}}$$

POZO 4, H = 1.20m

$$V_s = 100.5 * N_{spt}^{0.29}$$

$$V_s = 100.5 * 50^{0.29}$$

$$V_s = \mathbf{312.51 \text{ m/s}}$$

POZO 5, H = 1.50m

$$V_s = 100.5 * N_{spt}^{0.29}$$

$$V_s = 100.5 * 47^{0.29}$$

$$V_s = \mathbf{306.95 \text{ m/s}}$$

Fórmula con la que se calculó el V_s promedio, relacionando la altura y la velocidad media de onda de corte de cada estrato.

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

Para el ejemplo de cálculo del Vs promedio se tomó el pozo 2.

$$Vs \text{ promedio} = \frac{H}{\frac{h1}{Vs1} + \frac{h2}{Vs2} + \frac{h3}{Vs3} + \frac{hn}{Vsn}}$$

$$Vs \text{ promedio} = \frac{1}{\frac{0.50}{326.26} + \frac{0.50}{358.15}}$$

$$Vs \text{ promedio} = 341.46 \text{ m/s}$$

Tabla 19. Valores de la Velocidad media de la onda de corte (Vs30) calculados junto con su respectivo tipo de perfil del Pozo 1

POZO N°1				
PROFUNDIDAD (m)	Nspt (TOTAL)	Vs30 (m/s)	Tipo de Perfil	Vs30 promedio (m/S)
0.55 0.70 0.85 1.00	21	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
1.05 1.20 1.35 1.50	31	272.06	D	304.10 Perfil: D
1.55 1.70 1.85 2.00	34	279.44	D	
2.05 2.20 2.35 2.50	41	295.03	D	
2.55 2.70 2.85 3.00	52	316.09	D	
3.05	62	332.63	D	

3.20			
3.35			
3.50			
3.55	66	338.71	D
3.70			
3.85			
4.00			
4.05	50	312.51	D
4.20			

Elaborado por: David Jijón.

Tabla 20. Valores de la Velocidad media de la onda de corte (Vs30) calculados junto con su respectivo tipo de perfil del Pozo 2

POZO N°2				
PROFUNDIDAD (m)	Nspt (TOTAL)	Vs30 (m/s)	Tipo de Perfil	Vs30 promedio (m/S)
0.55	21	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
0.70				
0.85				
1.00				
1.05	58	326.26	D	341.46 Perfil: D
1.20				
1.35				
1.50				
1.55	80	358.15	D	
1.70				
1.85				
2.00				

Elaborado por: David Jijón.

Tabla 21. Valores de la Velocidad media de la onda de corte (Vs30) calculados junto con su respectivo tipo de perfil del Pozo 3

POZO N°3				
PROFUNDIDAD (m)	Nspt (TOTAL)	Vs30 (m/s)	Tipo de Perfil	Vs30 promedio (m/S)
0.55 0.70 0.85 1.00	5	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
1.05 1.20 1.35 1.50	21	243.00	D	296.42 Perfil: D
1.55 1.70 1.85 2.00	32	274.57	D	
2.05 2.20 2.35 2.50	48	308.83	D	
2.55 2.70 2.85 3.00	57	324.62	D	
3.05 3.20 3.35 3.50	80	358.15	D	

Elaborado por: David Jijón.

Tabla 22. Valores de la Velocidad media de la onda de corte (Vs30) calculados junto con su respectivo tipo de perfil del Pozo 4

POZO N°4				
PROFUNDIDAD (m)	Nspt (TOTAL)	Vs30 (m/s)	Tipo de Perfil	Vs30 promedio (m/S)
0.55 0.70 0.85 1.00	68	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
1.05 1.20	50	312.51	D	312.51 Perfil: D

Elaborado por: David Jijón.

Tabla 23. Valores de la Velocidad media de la onda de corte (Vs30) calculados junto con su respectivo tipo de perfil del Pozo 5

POZO N°5				
PROFUNDIDAD (m)	Nspt (TOTAL)	Vs30 (m/s)	Tipo de Perfil	Vs30 promedio (m/S)
0.55 0.70 0.85 1.00	33	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
1.05 1.20 1.35 1.50	47	306.95	D	327.09 Perfil: D
1.55 1.70 1.85 2.00	54	319.57	D	
2.05 2.20 2.35	59	327.88	D	

2.50			
2.55			
2.70	80	358.15	D
2.85			
3.00			

Elaborado por: David Jijón.

Tabla 24. Valores de las velocidades media de la onda de corte (V_{s30}) de cada pozo, el tipo de perfil y la velocidad promedio de la onda de corte (V_{s30} promedio) de todos los pozos.

TABLA DE RESUMEN			
POZO	V_{s30} (m/s)	Tipo de Perfil	V_{s30} Promedio (m/s)
Pozo 1	304.10	D	316.32
Pozo 2	341.46	D	
Pozo 3	296.42	D	
Pozo 4	312.51	D	
Pozo 5	327.09	D	

Elaborado por: David Jijón.

La tabla 18 que nos propone la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 mostrada anteriormente establece la clasificación de los suelos según el número de golpes y la velocidad media de la onda de corte.

Comparando las tablas de cada uno de los pozos obtenemos que según el número de golpes tenemos un tipo de perfil en cada uno de los pozos que es el tipo D, esto debido a la variación de estratigrafía en el suelo. Ahora con la comparación de la velocidad media de la onda de corte el resultado que obtenemos un valor de $V_{s30} = 316.32 \text{ m/s}$, y este valor se encuentra en el rango de $360 \text{ m/s} > V_s > 180 \text{ m/s}$, lo cual nos verifica que tenemos un **tipo de perfil D** y esto lo demuestra la tabla de resumen 24.

4.1.5. Ecuaciones de atenuación para sismos corticales.

Las fallas corticales tienen tiempos de recurrencia más largos (miles de años) y producen terremotos de magnitudes moderadas. Sin embargo, su peligrosidad puede ser más significativa por tener hipocentros más superficiales, es decir que se producen a profundidades menores a 30 km. [31]

Para el presente estudio se utilizaron las siguientes ecuaciones:

4.1.5.1. Modelo Boore y Atkinson (2008).

Las ecuaciones mostradas para este modelo son para movimientos de suelo de componente horizontal promedio en función de la magnitud del terremoto, la distancia de la fuente al sitio, la velocidad de onda de corte promedio local y el tipo de falla, que a su vez son para la aceleración pico de la tierra (PGA), la velocidad máxima del terreno (PGV) y el 5% de pseudo-absoluta aceleración de los espectros (PSA) en los períodos entre 0,01 y 10 s. [32]

Las variables predictoras primarias son la magnitud de momento M , la distancia horizontal más cercana a la proyección de superficie del plano de fallo R_{JB} y la velocidad de onda de cizallamiento promediada desde la superficie hasta 30 m V_{s30} . [32]

Esta ecuación es aplicable para:

- $M = (5 - 8) M_w$
- $R_{JB} < 200$ km
- $V_{s30} = 180-1300$ m/s

La ecuación para predecir el movimiento de suelo es la siguiente:

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

Donde:

F_M = Escala de magnitud

F_D = Función de distancia

F_S = Amplificación de sitio

M = Magnitud de momento

R_{JB} = Distancia desde el sitio de liberación de energía hasta el área de estudio

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

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

$$F_D(R_{JB}, M) = [c1 + c2(M - M_{ref})] \ln\left(\frac{R}{R_{ref}}\right) + c3(R - R_{ref})$$

Donde:

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

$c1$, $c2$, $c3$, M_{ref} , R_{ref} y h son los coeficientes de escala de distancia. (Ver Anexo B-2)

Para M_{ref} , se escogió un valor de 4,5, ya que se trata de la magnitud aproximada de gran parte de los datos utilizados para determinar los coeficientes fijos de $c3$. Para R_{ref} , usamos el valor de 1km. Esto es conveniente porque las curvas que describen la dependencia de la distancia giran alrededor de $R = R_{ref}$. [32]

La escala de magnitud viene dada por:

a) $M \leq M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_1(M - M_h) + e_6(M - M_h)^2$$

b) $M > M_h$

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

Donde:

- **U, SS, NS y RS** son variables ficticias que se usan para indicar el tipo de falla no especificada, transcurrente, normal e inversa, respectivamente, y se encuentran establecidos según los valores de la Tabla 26. [32]
- **M_h** para la forma de escala de magnitud, este coeficiente se debe establecer durante el análisis. (Ver Anexo B-3) [32]

Tabla 25. Valores de variables ficticias para diferentes tipos de fallas.

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

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

Categorías:

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

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

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

La ecuación de amplificación de sitio viene dada por:

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

Donde:

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

El termino lineal está dado por:

$$F_{LIN} = b_{LIN} * \ln\left(\frac{V_{s30}}{V_{ref}}\right)$$

Donde:

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

El termino no lineal está dado por:

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

$$F_{NL} = b_{nl} \ln\left(\frac{pga_{low}}{0.1}\right)$$

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

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

c) $a_2 < pga_{4nl}$

$$F_{NL} = b_{nl} \ln\left(\frac{pga_{4nl}}{0.1}\right)$$

Donde:

$a_1 = 0,03 \text{ g}$ y $a_2 = 0,09 \text{ g}$ se asignan niveles de umbral para la amplificación lineal y no lineal, respectivamente, $pga_{low} = 0,06 \text{ g}$ es una variable asignada a transición entre comportamientos lineales y no lineales, y pga_{4nl} es el PGA previsto en g para $V_{ref} = 760 \text{ m/s}$, dado por la ecuación principal con $F_s = 0$ y $\varepsilon = 0$.

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

1. Evitar que la amplificación no lineal aumente indefinidamente a medida que **pga4nl** disminuye.
2. Suavizar la transición del comportamiento lineal al comportamiento no lineal.

Los coeficientes c y d vienen dados por:

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

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

Donde:

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

$$\Delta y = \mathbf{b}_{nl} \ln\left(\frac{a_2}{\mathbf{pga_low}}\right)$$

La pendiente no lineal b_{nl} es una función de ambos períodos y el V_{s30} está dada por:

a) $V_{s30} \leq V_1$

$$\mathbf{b}_{nl} = \mathbf{b}_1$$

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

$$\mathbf{b}_{nl} = (\mathbf{b}_1 - \mathbf{b}_2) \ln(V_{s30}/V_2) / \ln(V_1/V_2) + \mathbf{b}_2$$

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

$$\mathbf{b}_{nl} = \mathbf{b}_2 \ln(V_{s30}/V_{ref}) / \ln(V_2/V_{ref})$$

d) $V_{ref} < V_{s30}$

$$b_{nl} = 0.0$$

Donde:

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

Tabla 26. Valores utilizados en el Modelo Boore y Atkinson (2008).

Fallas	Long. (km)	Mw	Rjb (km)	Vs30 prom.	DATOS	
Huachi	12.04	6.32	3.64	316.32	a1	0.03
Ambato	16.30	6.48	2.80		a2	0.09
Totoras	17.65	6.52	3.26		pga_low	0.06
Samanga	32.95	6.85	5.60		V1 (m/s)	180
Tipo de Falla: Inversa					V2 (m/s)	300
U	0.00				Vref (m/s)	760
SS	0.00				Mref	4.5
NS	0.00				Mh	6.75
RS	1.00				Rref (km)	1

Elaborado por: David Jijón

4.1.5.2. Modelo Akkar y Bommer (2010).

Akkar y Bommer (2007a) presentaron un nuevo GMPE, basado en la misma base de datos que Ambraseys y otros. (2005). La principal motivación fue ampliar el rango de períodos de respuesta cubiertos por las ecuaciones. Así como algunos enfoques emergentes para el diseño sísmico basado en desplazamientos, así como el diseño de estructuras de base aislada, requieren ordenadas espectrales en periodos más largos, así como a valores de amortiguación diferentes al omnipresente 5% del crítico. Por esta razón, las ecuaciones de Akkar y Bommer (2007a) se derivaron para predecir los desplazamientos espectrales (SD); para completar, también se obtuvo una ecuación para la aceleración máxima del terreno (PGA). [33]

Se derivaron ecuaciones para la predicción de la aceleración pseudoespectral del 5%, en unidades de cm/s^2 . [33]

Esta ecuación de GMPE´s es aplicable para:

- $M = (5 - 7.6) M_w$
- Distancia ≤ 100 km

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

Donde:

b_i = Coeficientes. (Ver Anexo C-1)

M = Magnitud de momento

R_{JB} = Distancia desde el sitio de liberación de energía hasta el área de estudio

F_N = Falla normal

F_R = Falla inversa

S_A = Suelo rígido

S_S = Suelo suave

S_S y S_A toman el valor de 1 para sitios de suelos blandos y rígidos ($V < 360$ m/s); de lo contrario para los sitios de roca ($V_{S30} > 750$ m/s) es cero; de manera similar, F_N y F_R toman el valor de la unidad para terremotos de fallas normales e inversas respectivamente, de lo contrario, es cero. Al igual que en el modelo original, se utilizó el método de máxima probabilidad de una etapa de Joyner y Boore (1993) para calcular los coeficientes. [33]

Categorías:

- Suelo blando: $SS=1$; $SA=0$; $V_{S30} < 360$ m/s
- Suelo rígido: $SS=0$; $SA=1$; $V_{S30} < 360$ m/s
- Roca: $SS=0$; $SA=0$; $V_{S30} > 750$ m/s

Categorías mecanismos de falla:

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

- Falla transcurrente: FN=0; FR=0

La variabilidad se descompone en un inter-evento (σ_2) y un componente intra-evento (σ_1), la desviación estándar total, σ , viene dada por la raíz cuadrada de la suma de sus cuadrados: [33]

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

Tabla 27. Valores utilizados en el Modelo Akkar y Bommer (2010).

Fallas	Long. (km)	Mw	Rjb (km)	Vs30 prom.
Huachi	12.04	6.32	3.64	316.32
Ambato	16.30	6.48	2.80	
Totoras	17.65	6.52	3.26	
Samanga	32.95	6.85	5.60	
Tipo de Falla: Inversa		Vs30 < 360 m/s: Suelo Blando		
FN	0.00	Ss		1.00
FR	1.00	SA		0.00

Elaborado por: David Jijón

4.1.5.3. Modelo Kanno (2006).

Después del terremoto de 1995 en Hyogo-ken Nanbu, Kobe, el gobierno japonés, en un esfuerzo por evitar futuros desastres sísmicos, instaló redes que consistían en un gran número de estaciones de observación de movimiento fuerte. Además, los mapas nacionales de riesgo sísmico se publicaron en un sitio web en la Sede Central para la Promoción de la Investigación de Terremotos (1995). Estos mapas indican solo la intensidad sísmica local para Japón, como conversión empírica de la velocidad máxima predicha por Si y Midorikawa (1999) en suelos consolidados. Para diversas aplicaciones, se requieren otros índices de movimiento fuerte, como la aceleración espectral de respuesta. Algunas relaciones de atenuación empírica para los espectros de respuesta

como, por ejemplo, Kobayasashi y Midorikawa, 1982; Annaka et al., 1997 existen para Japón, pero se derivaron de un conjunto limitado de registros. En este estudio, se establece una base de datos de fuertes registros de movimiento terrestre japonés entre 1963 y 2003 para identificar una nueva relación de atenuación estándar para la aceleración de respuesta y la aceleración máxima de terreno (PGA) y la velocidad (PGV). [34]

Esta ecuación es aplicable para un evento con profundidad focal máxima de 180 km.

- **Eventos Superficiales**

Si $D \leq 30$ Km

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

- **Eventos Profundos**

Si $D > 30$ Km

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

Para el presente estudio se utilizará la ecuación número uno ya que la profundidad focal es menor a 30 km

Donde:

- D = Profundidad focal
- a1, b1, c1, d1 = Coeficientes de regresión para eventos superficiales. (Ver Anexo D-1)
- pre es el PGA predicha en cm/s^2
- $e_1 = 0.5$

En el caso de terremotos poco profundos se utilizará para X un valor de:

- 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 ($X > 75\text{km}$)

Tabla 28. Valores utilizados en el Modelo Kanno (2006).

Fallas	Long. (km)	Mw	Rjb (km)	Vs30 prom.
Huachi	12.04	6.32	3.64	316.32
Ambato	16.30	6.48	2.80	
Totoras	17.65	6.52	3.26	
Samanga	32.95	6.85	5.60	

Tipo de Evento: Superficial

Elaborado por: David Jijón

4.1.6. Ecuaciones de atenuación para subducción.

Las ecuaciones de atenuación de subducción presentan dos tipos: los sismos superficiales y sismos profundos. Las zonas de subducción de sismos superficiales tienen un ángulo de empuje menor para eventos que ocurren en la superficie entre las placas de subducción y anulación. Las zonas de subducción para sismos profundos ocurrieron entre las placas oceánicas de subducción y son, en su mayoría, eventos de gran ángulo y falla normal, que responden a la tensión invertida en la placada de subducción. [35]

La profundidad focal para estos modelos de subducción será de 100 km, debido a que en territorios cercanos como Chile y Perú ha sido la profundidad focal máxima registrada. [35]

4.1.6.1. Modelo Youngs (1997).

Las ecuaciones de atenuación para aceleraciones máximas en el suelo y la respuesta espectral de aceleración para la subducción de zonas de superficies de contacto; también para terremotos que generan momentos de magnitud 5 o mayores, entre distancias de 10 a 500 km. [35]

La diferencia entre los eventos sísmicos superficiales y profundos entre placas, fue realizada en base a los mecanismos de falla, cuando son dados, o en base a la profundidad focal. Con eventos sísmicos cuya profundidad es mayor a 50 km, se consideran como eventos entre placas. Tichelaar y Ruff (1993) indican que los sismos superficiales alrededor del mundo ocurren en profundidades menores que los 50 km. [35]

Esta ecuación es aplicable para:

- $M \geq 5 M_w$
- Profundidad focal entre 10 y 229 km

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

Donde:

- y = Aceleración espectral en g
- R = Distancia más cercana a la ruptura
- C_i = Coeficientes. (Ver Anexo E-1)
- M = Magnitud de momento
- H = Profundidad focal (km)
- Z_t = Tipo de origen

Categorías:

- **Suelo profundo** $Z_{ds} = 1$; $Z_r = 0$; $Z_{ss} = 0$; profundidad hasta lecho rocoso es mayor de 20m.
- **Suelo poco profundo** $Z_{ds} = 0$; $Z_r = 0$; $Z_{ss} = 1$; profundidad hasta la roca es madre es menor de 20m.
- Interplaca $Z_t = 0$
- Intraplaca $Z_t = 1$

Tabla 29. Valores utilizados en el Modelo Youngs (1997).

Fallas	Subducción
Long. (km)	1536.49
M_w	8.89
R_{jb} (km)	296.00
H (km)	100.00
Tipo Tectónico	Intraplaca
Z_t	1.00

Elaborado por: David Jijón

4.1.6.2. Modelo Zhao (2006).

De manera determinista, los ingenieros usan modelos de atenuación para estimar las fuerzas y / o desplazamientos inducidos en las estructuras de ingeniería. Japón se encuentra en un entorno de límite de placa activa y, por lo tanto, tiene un entorno geológico y tectónico complicado. Debido a que las trayectorias de propagación de la onda sísmica desde la fuente del terremoto hasta la superficie del suelo varían de un tipo de terremoto a otro, se espera que los movimientos del suelo generados por diferentes tipos de terremotos sean diferentes incluso si los eventos tienen magnitudes idénticas y distancias fuente. [36]

La ecuación para la predicción del movimiento de suelo es la siguiente:

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

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

Donde:

- y = PGA (en centímetros por segundo) o 5% de espectro de respuesta de aceleración amortiguada para un período espectral T
- M_w = Magnitud del momento

- x = Distancia fuente en kilómetros
- h = Profundidad focal en kilómetros
- r = Factor de modificación de distancia simple.

Profundidades focales (h)

- Evento Cortical: $h = 0 - 25$ km
 - Eventos Interplaca: $h = 10 - 50$ km
 - Eventos Intraplaca: $h = 15 - 162$ km
 - Si $h > 125$ km usar: $h = 0 - 125$ km
- ✓ El parámetro de falla inversa FR se aplica solo a eventos corticales con un mecanismo de fallas inversas y 0 para todos los demás eventos. [36]
 - ✓ El parámetro de tipo tectónico SI se aplica a eventos de interfaz y 0 para los demás eventos. [36]
 - ✓ SS se aplica solo a los eventos de subducción y 0 para los demás eventos. [36]
 - ✓ SSL es un término de modificación de trayectoria independiente de magnitud para los eventos de Intraplaca. [36]
 - ✓ Los coeficientes a , b , c , d y e , el término de clase de sitio C_k , el término de falla inversa FR y los términos de tipo de fuente S_i , S_s y SSL se determinan mediante análisis de regresión para cada período. (Ver Anexo F-1). [36]
 - ✓ Cuando $h > h_c$ el término de la profundidad ($h - h_c$) toma efecto con δh que es una variable ficticia, por lo tanto, $\delta h = 0$ cuando $h < h_c$ y $\delta h = 1$ cuando $h \geq h_c$. [36]

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

- Roca Dura denominada clase A, donde $V_{s30} > 1100$ m/s. Usar datos de CH
- Roca con clase de sitio A + B, donde $V_{s30} > 600$ m/s. Usar datos de C1
- Suelo Duro con clase de sitio C, donde $300 < V_{s30} \leq 600$ m/s. Usar datos de C2
- Suelo Medio de clase D, donde $200 < V_{s30} \leq 300$ m/s. Usar datos de C3
- Suelo Suave de clase E + F, donde $V_{s30} \leq 200$ m/s. Usar datos de C3

Tabla 30. Valores utilizados en el Modelo Zhao (2006).

Fallas	Subducción
Long. (km)	1536.49
Mw	8.89
X (km)	296.00
h (km)	50.00
hc (km)	0.00
δh	1.00
Tipo Tectónico	Intraplaca
S1	0.00
SS	Usar datos de tabla establecida por Zhao
SSL	
Tipo de Falla	Inversa
Vs30 (m/s)	316.32
FR	1.00
Ck	Usar datos de tabla establecida por Zhao

Elaborado por: David Jijón

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.2.1. Magnitud de las Fallas.

Mediante la ecuación establecida por Wells y Coppersmith que se muestra a continuación se obtiene la magnitud de momento Mw:

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

Donde:

a, b = Coeficientes establecidos por Wells y Coppersmith (Tabla 1)

SRL = Longitud de rotura superficial en km. (Tabla 6)

Se procede a realizar los cálculos con los coeficientes obtenidos en la tabla 1 que son los siguientes:

- **a = 5**

- $b = 1.22$

La longitud de rotura superficial (SRL) se la obtiene de la tabla 6 y los valores son los siguientes:

- **Falla Huachi** = 12.04 km
- **Falla Ambato** = 16.30 km
- **Falla Totoras** = 17.65 km
- **Falla Samanga** = 32.95 km
- **Falla de Subducción** = 1536.49 km

Tabla 31. Magnitud de momento calculados con los valores escogidos en la tabla de Wells y Coppersmith y la longitud de rotura superficial.

CÓDIGO	NOMBRE	MAGNITUD DE MOMENTO (M)
EC-344a	HUACHI	6.32
EC-344b	AMBATO	6.48
EC-345	TOTORAS	6.52
EC-54	SAMANGA	6.85
EC-223	SUBDUCCIÓN	8.89

Elaborado por: David Jijón.

4.2.2. Cálculo de Espectros.

Un espectro de respuesta es un valor utilizado en los cálculos de ingeniería sísmica, que mide la reacción de una estructura ante la vibración del suelo que la soporta. Se denomina de respuesta ya que lo que mide es cómo responde la estructura a las acciones que se le inducen desde el exterior. [37]

El espectro depende fundamentalmente de dos factores:

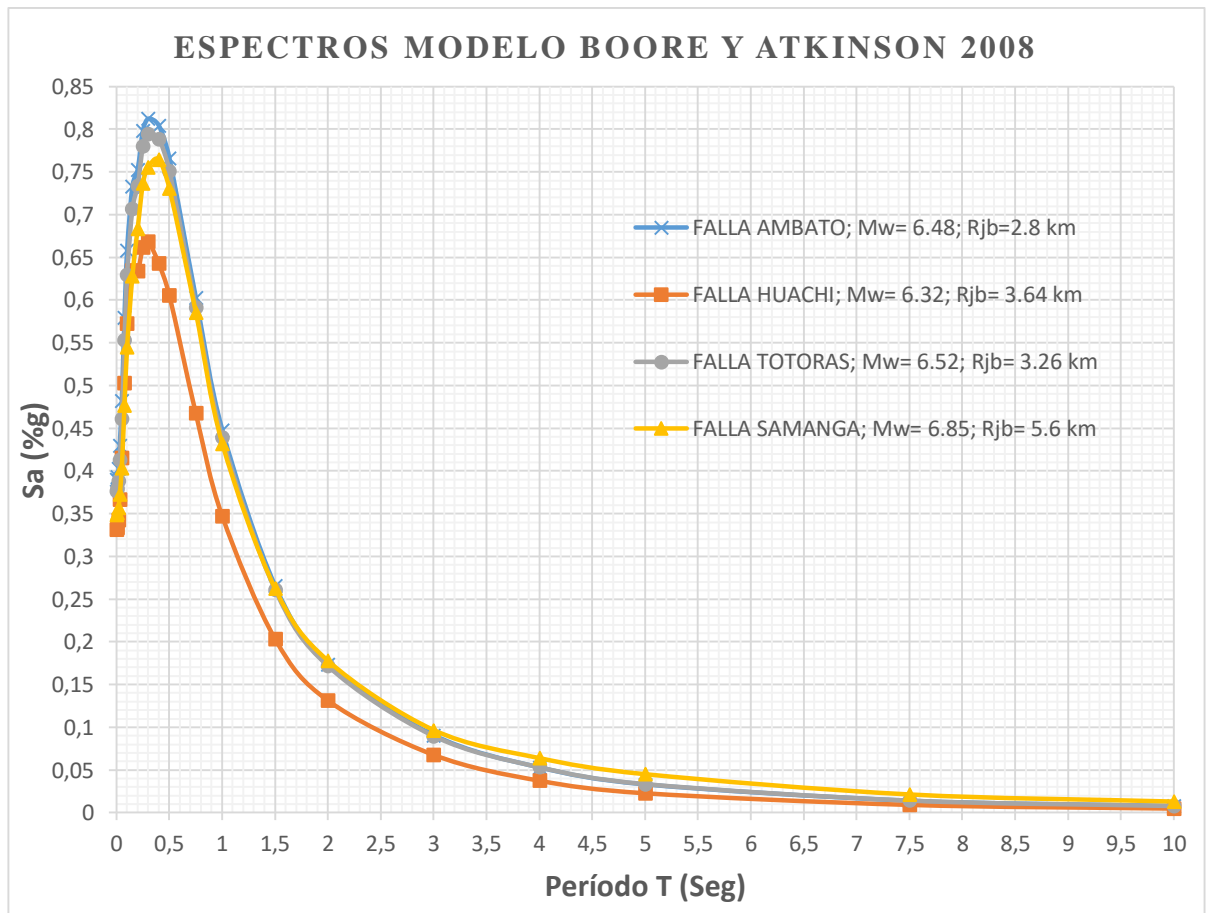
- La aceleración de la vibración a la que se somete la estructura
- El periodo de oscilación de la estructura. [37]

Para la presente investigación se comparará el espectro obtenido mediante las ecuaciones de atenuación en las que intervienen las fallas escogidas y el espectro general que nos proporciona la NEC-15.

4.2.2.1. Espectros calculados con el modelo Boore y Atkinson 2008.

En la siguiente figura se muestra los espectros obtenidos por el modelo de Boore y Atkinson 2008 para cada una de las fallas corticales (Falla Ambato, Huachi, Totoras y Samanga), utilizando la velocidad media onda de corte V_{s30} promedio que se calculó anteriormente ($V_{s30} = 316.32$ m/s).

Figura 18. Espectros de aceleración obtenidos con el Modelo Boore y Atkinson 2008, utilizando cada una de las Fallas Corticales



Elaborado por: David Jijón.

En la figura 18 se observa que la falla que presenta mayor aceleración es la Falla Ambato, que en un período de 0.30 seg. posee una aceleración de 0.81g, en segundo lugar, la Falla Totoras con un período de 0.30 seg. y una aceleración de 0.79g, en tercer lugar, la Falla Samanga con un período de 0.40 seg. y una aceleración de 0.76g y por ultimo tenemos a la Falla Huachi con un período de 0.30 seg. y una aceleración de 0.67g.

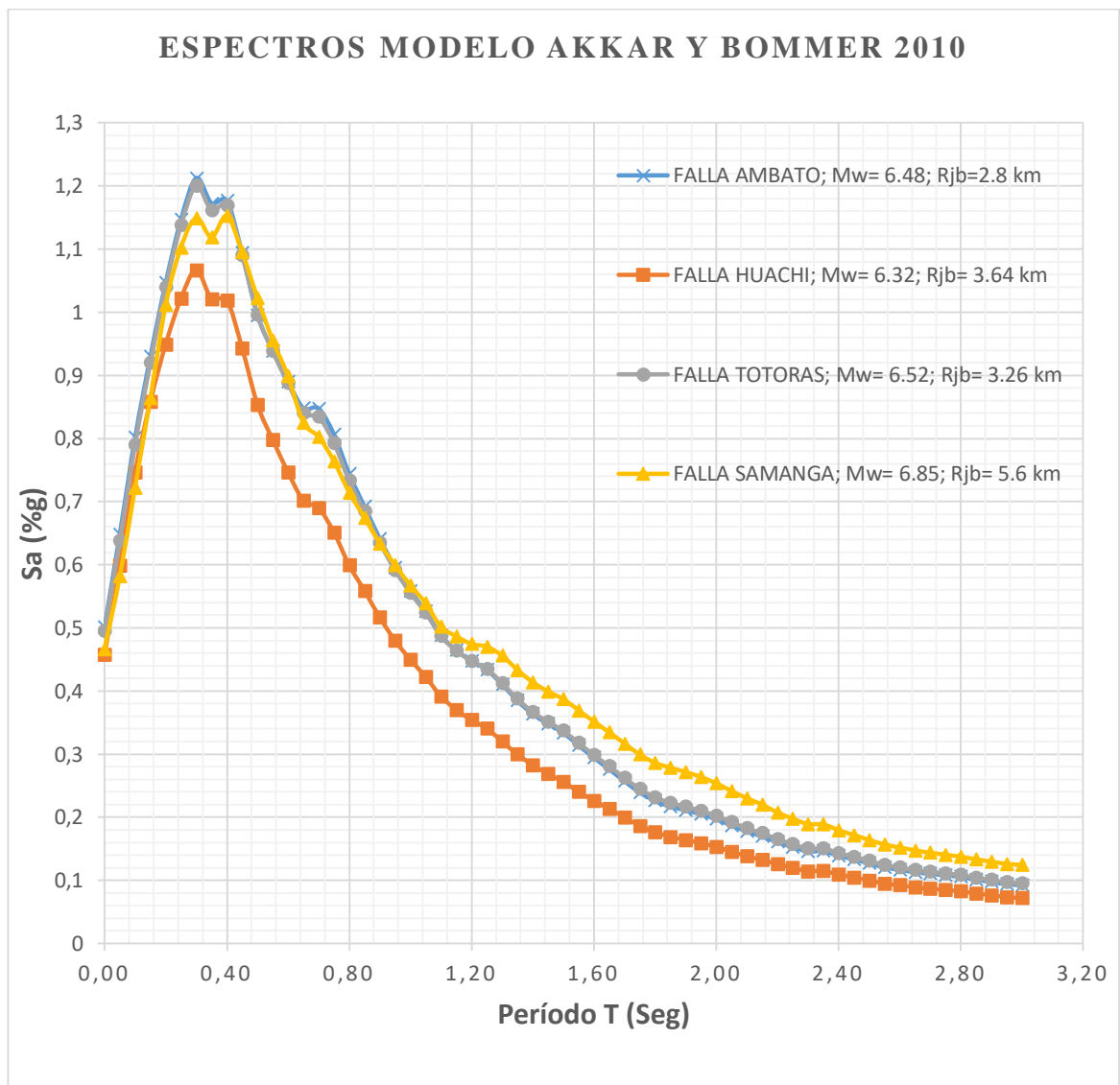
De acuerdo con la tabla y los valores antes mencionados observamos que la falla que predomina en el Modelo Boore y Atkinson es la **Falla Ambato**.

La Falla Ambato posee una aceleración superior respecto a la Falla Huachi en 17.65%, a la Falla Totoras en 2.15% y a la Falla Samanga en 5.85%.

4.2.2.2. Espectros calculados con el modelo Akkar y Bommer 2010.

En la figura 17 se muestra los espectros obtenidos por el modelo de Akkar y Bommer 2010 para cada una de las fallas corticales (Falla Ambato, Huachi, Totoras y Samanga), utilizando la velocidad media onda de corte V_{s30} promedio que se calculó anteriormente ($V_{s30} = 316.32$ m/s).

Figura 19. Espectros de aceleración obtenidos con el Modelo Akkar y Boomer 2010, utilizando cada una de las Fallas Corticales



Elaborado por: David Jijón.

En la figura 19 se observa que la falla que presenta mayor aceleración es la Falla Ambato, que en un período de 0.30 seg. posee una aceleración de 1.21g, en segundo lugar, la Falla Totoras con un período de 0.30 seg. y una aceleración de 1.20g, en tercer lugar, la Falla Samanga con un período de 0.40 seg. y una aceleración de 1.15g y por último tenemos a la Falla Huachi con un período de 0.30 seg. y una aceleración de 1.07g.

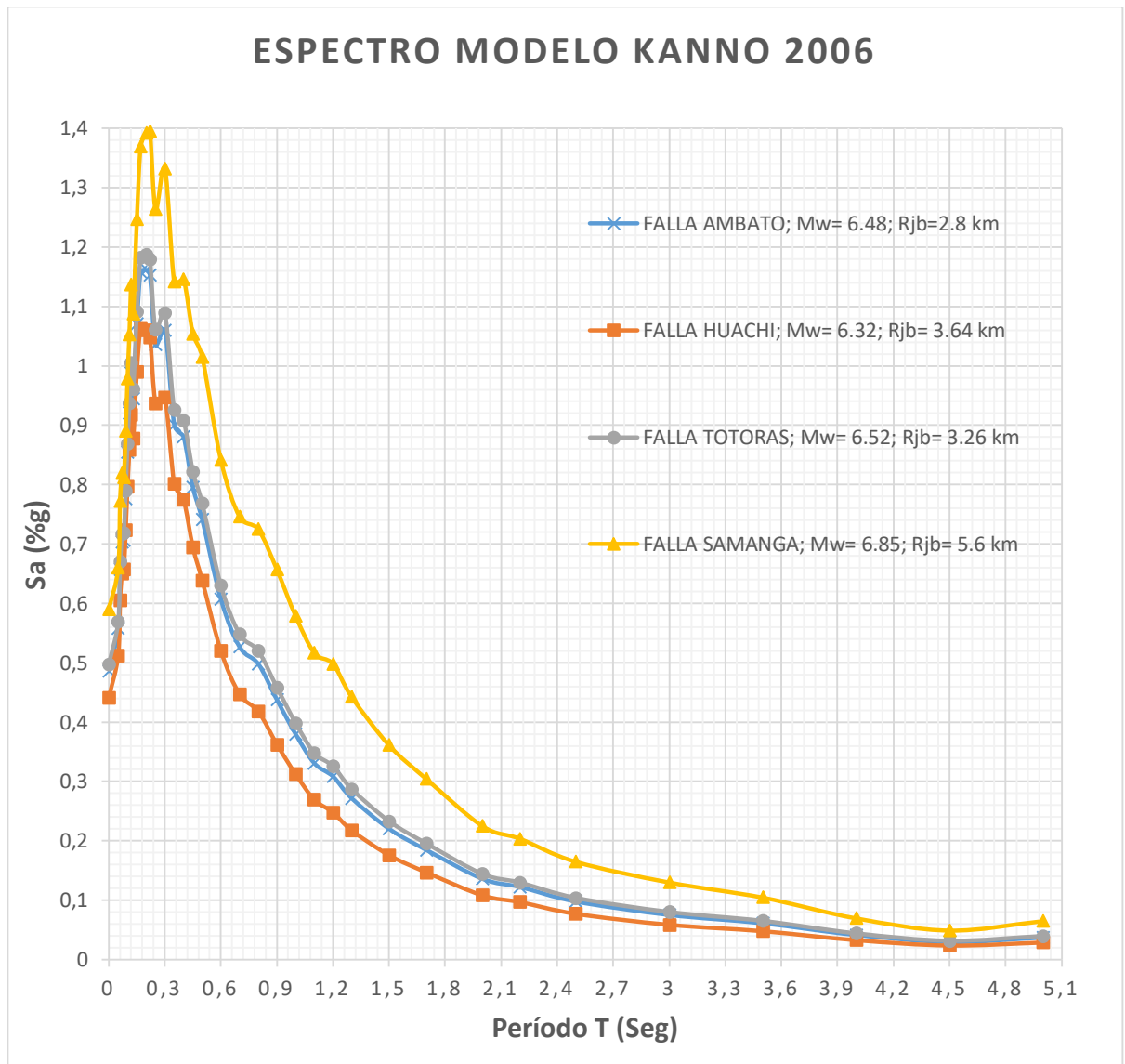
De acuerdo con la tabla y los valores antes mencionados observamos que la falla que predomina en el Modelo Akkar y Bommer es la **Falla Ambato**.

La Falla Ambato posee una aceleración superior respecto a la Falla Huachi en 12.04%, a la Falla Totoras en 1.01% y a la Falla Samanga en 4.96%.

4.2.2.3. Espectros calculados con el modelo Kanno 2006.

En la figura 18 se muestra los espectros obtenidos por el modelo de Kanno 2006 para cada una de las fallas corticales (Falla Ambato, Huachi, Totoras y Samanga), utilizando la velocidad media onda de corte Vs30 promedio que se calculó anteriormente ($V_{s30} = 316.32$ m/s).

Figura 20. Espectros de aceleracion obtenidos con el Modelo Kanno 2006, utilizando cada una de las Fallas Corticales.



Elaborado por: David Jijón.

En la figura 20 se observa que la falla que presenta mayor aceleración es la Falla Samanga, que en un período de 0.22 seg. posee una aceleración de 1.40g, en segundo lugar, la Falla Totoras con un período de 0.20 seg. y una aceleración de 1.19g, en tercer lugar, la Falla Ambato con un período de 0.20 seg. y una aceleración de 1.16g y por ultimo tenemos a la Falla Huachi con un período de 0.17 seg. y una aceleración de 1.06g.

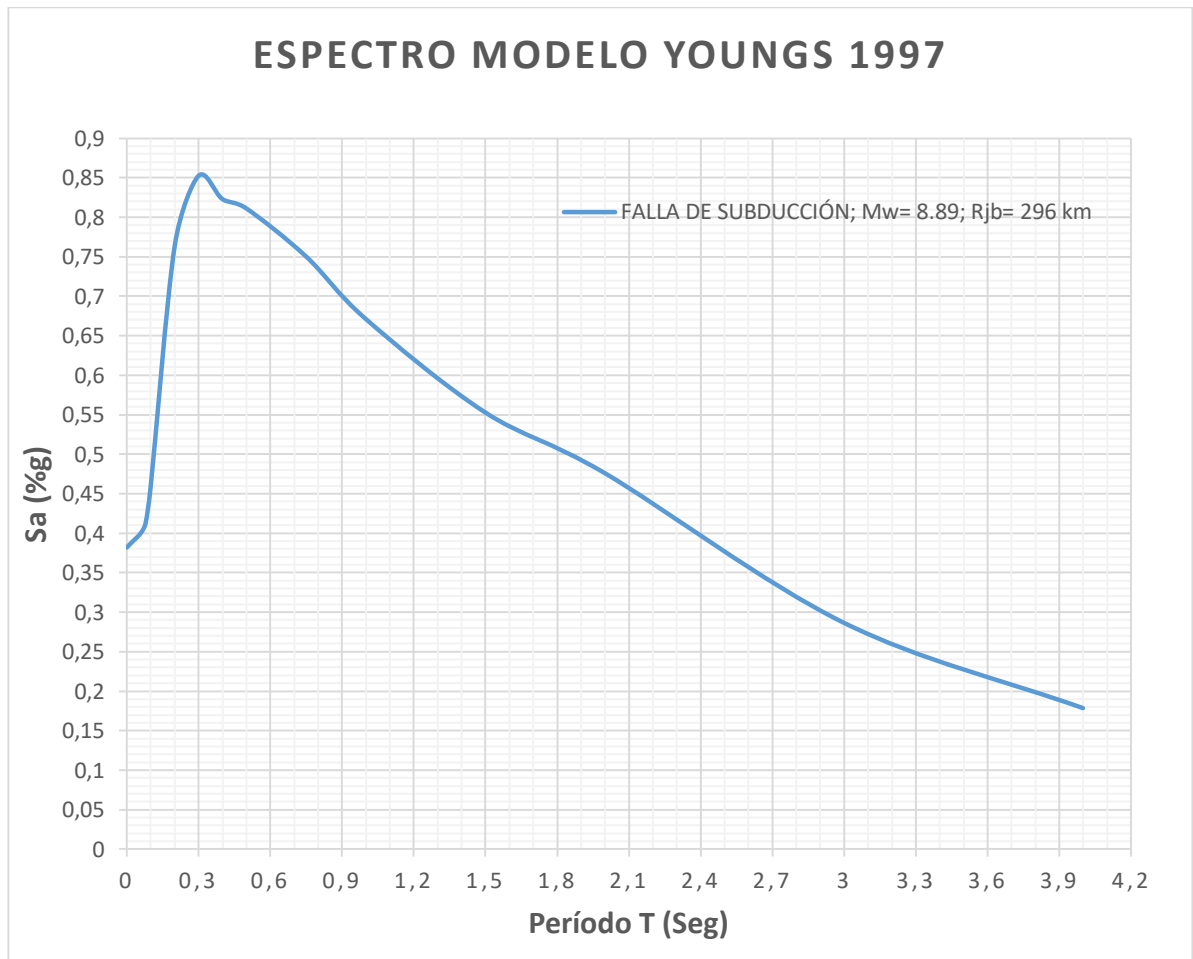
De acuerdo con la tabla y los valores antes mencionados observamos que la falla que predomina en el Modelo Kanno es la **Falla Samanga**.

La Falla Samanga posee una aceleración superior respecto a la Falla Ambato en 16.75%, a la Falla Huachi en 23.78% y a la Falla Totoras en 14.94%.

4.2.2.4. Espectros calculados con el modelo Youngs 1997.

En la figura 19 se muestra el espectro obtenido por el modelo de Youngs 1997 para la Falla de Subducción.

Figura 21. Espectros de aceleración obtenidos con el Modelo Youngs 1997, utilizando la Falla de Subducción



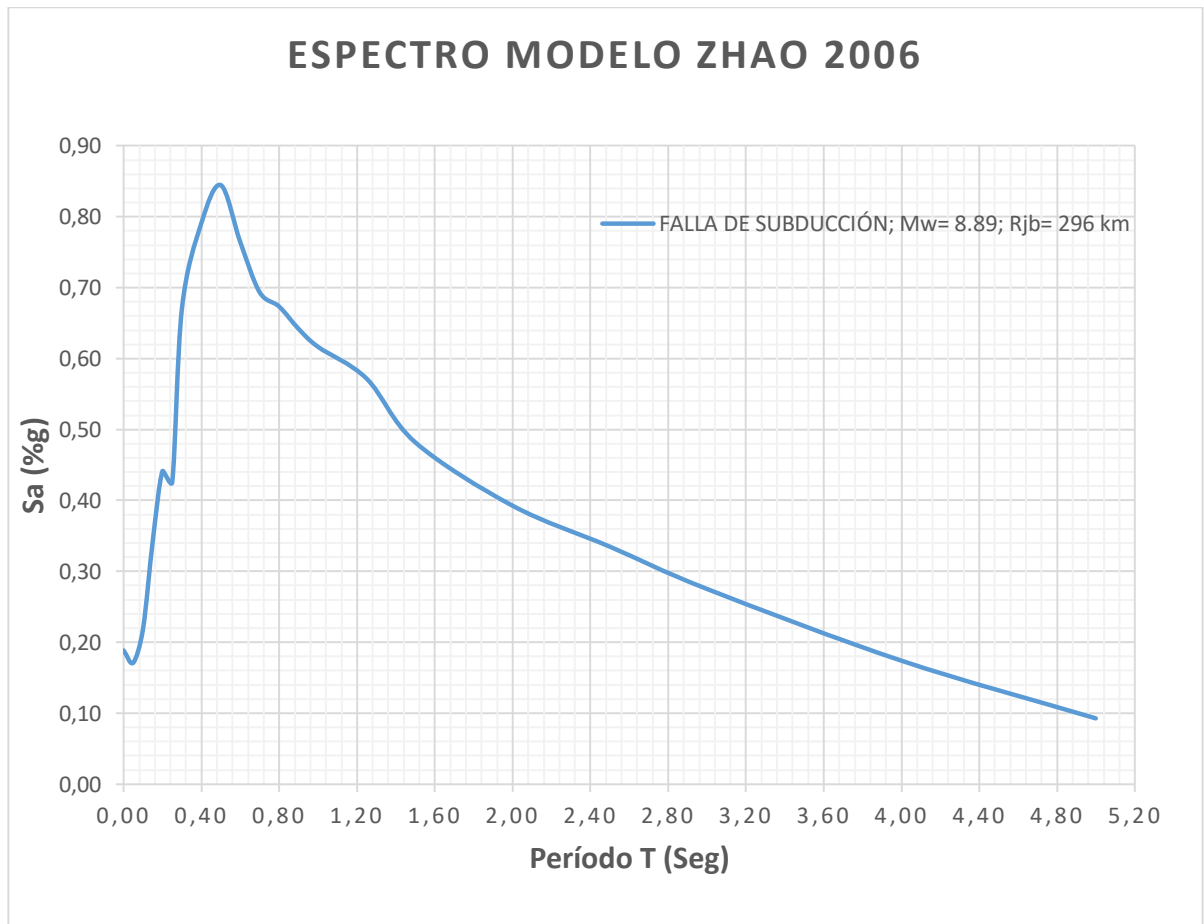
Elaborado por: David Jijón.

En la figura 21 se observa el espectro que nos da la **Falla de Subducción** en donde se observa como los valores de aceleración va creciendo hasta llegar al valor máximo de aceleración de **0.85g** en un período de **0.30 seg.** y luego los valores decrecen hasta llegar al período de 4 seg.

4.2.2.4. Espectros calculados con el modelo Zhao 2006.

En la figura 19 se muestra el espectro obtenido por el modelo de Zhao 2006 para la Falla de Subducción.

Figura 22. Espectros de aceleración obtenidos con el Modelo Zhao 2006, utilizando la Falla de Subducción.



Elaborado por: David Jijón.

En la figura 22 se observa el espectro que nos da la **Falla de Subducción** en donde se observa como los valores de aceleración llegan a un primer valor de 0.44g y un período de 0.20 seg., para luego decrecer un poco y por último seguir en ascenso hasta llegar al valor máximo de aceleración de **0.84g** en un período de **0.50 seg.** y luego los valores decrecen hasta llegar al período de 5 seg.

En la siguiente tabla se muestra un resumen con las aceleraciones máximas, período y su variación de aceleración porcentual para cada uno de los modelos y fallas.

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

MODELO BOORE Y ATKINSON				
Fallas	Aceleración max. (Sa)	Período (T)	Variación % de Aceleración	
Ambato	0.81	0.30	Modelos	%
Huachi	0.67	0.30	Ambato-Huachi	17.65
Totoras	0.79	0.30	Ambato-Totoras	2.15
Samanga	0.76	0.40	Ambato-Samanga	5.85
MODELO AKKAR Y BOMMER				
Fallas	Aceleración max. (Sa)	Período (T)	Variación % de Aceleración	
Ambato	1.21	0.30	Modelos	%
Huachi	1.07	0.30	Ambato-Huachi	12.04
Totoras	1.20	0.30	Ambato-Totoras	1.01
Samanga	1.15	0.40	Ambato-Samanga	4.96
MODELO KANNO				
Fallas	Aceleración max. (Sa)	Período (T)	Variación % de Aceleración	
Samanga	1.40	0.22	Modelos	%
Ambato	1.16	0.20	Samanga-Ambato	16.75
Huachi	1.06	0.17	Samanga-Huachi	23.78
Totoras	1.19	0.20	Samanga-Totoras	14.94
MODELO YOUNGS				
Fallas	Aceleración max. (Sa)		Período (T)	
Subducción	0.85		0.3	
MODELO ZHAO				
Fallas	Aceleración max. (Sa)		Período (T)	
Subducción	0.84		0.5	

Elaborado por: David Jijón.

De la tabla anterior se obtuvo resultados en porcentaje de los periodos en los que se encuentran las aceleraciones máximas los cuales son los siguientes:

- **7.14%** ocurre en periodos de **0.17 seg, 0.22seg y 0.50 seg.**
- **14.29%** ocurre en periodos de **0.20 seg y 0.40 seg.**
- **50%** ocurre en periodos **de 0.30 seg.**

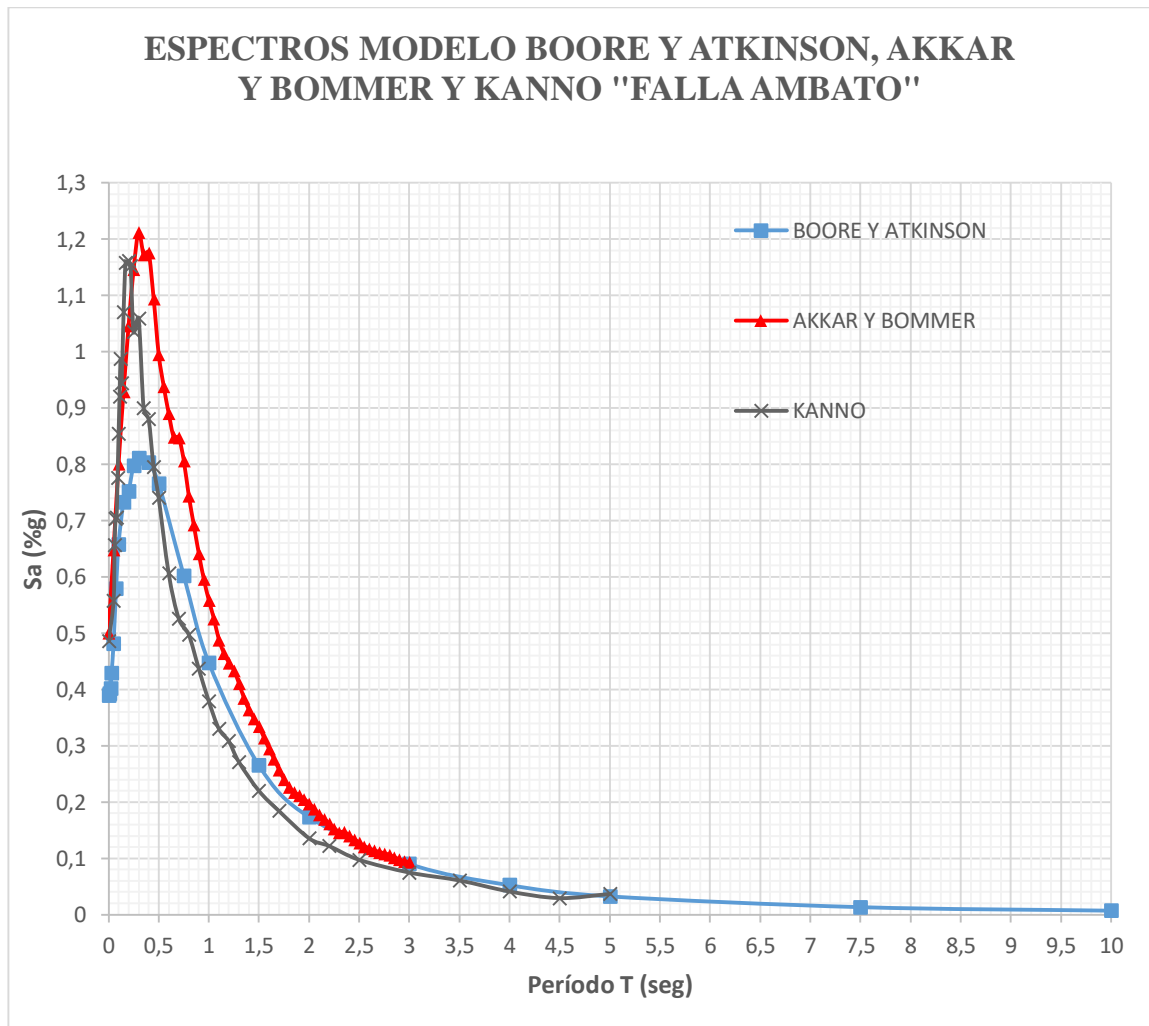
De acuerdo con los resultados anteriores de los periodos junto con su porcentaje se observa que el mayor porcentaje se encuentra en 0.30 seg. lo cual nos indica que estructuras que se encuentran en este rango de periodo son las más afectadas por los picos de aceleración máxima.

En la tabla 32 podemos observar que la falla que predominante es la falla Ambato en los modelos Boore y Atkinson y modelo Akkar y Bommer, pero en el modelo Kanno la falla que predomina es la de Samanga esto de acuerdo con la variación de aceleración obtenida.

4.2.3. Espectros con los modelos para una falla.

En las siguientes figuras se proceden a graficar los espectros de aceleración de cada uno de los modelos establecidos y para cada una de las fallas antes mencionadas.

Figura 23. Espectros de aceleración obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y Kanno para la Falla Ambato.



Elaborado por: David Jijón.

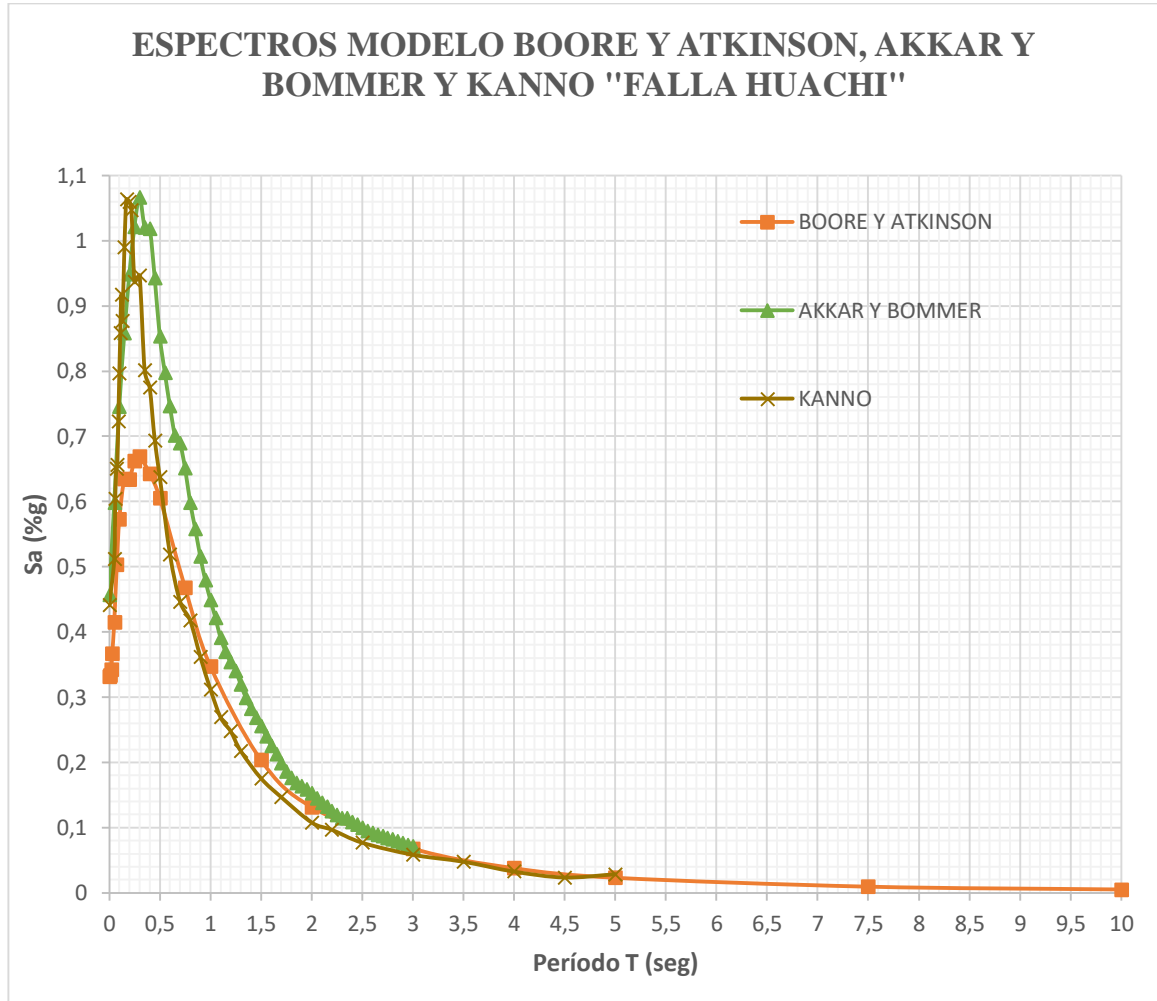
En la figura 23 se observa que el modelo Boore y Atkinson posee una aceleración máxima de 0,81g en un período de 0,30 seg., el modelo Akkar y Bommer una aceleración de 1,21g

en un período de 0.30 seg. y el modelo Kanno una aceleración de 1.16g en un período de 0.20 seg.

Con los valores antes mencionados se puede observar que el modelo que predomina es el de **Akkar y Boomer** con una aceleración de **1.21g** y con un período de **0.30 seg.** para luego ir decreciendo hasta llegar a los 3 seg.

El modelo Akkar y Bommer posee una aceleración superior respecto al modelo Kanno en 4.13% y al modelo Boore y Atkinson en 33.06%.

Figura 24. Espectros de aceleración obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y Kanno para la Falla Huachi.



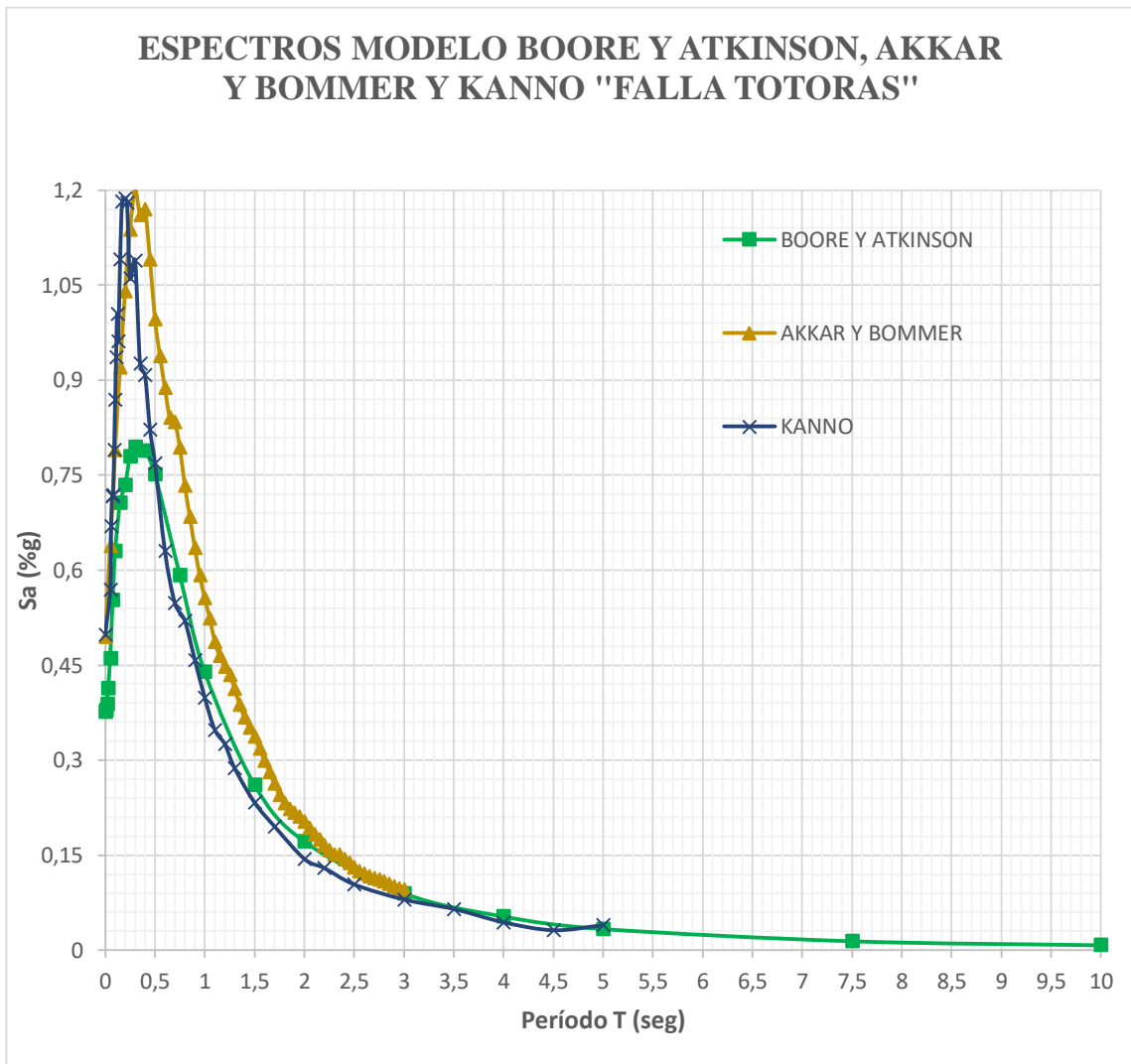
Elaborado por: David Jijón.

En la figura 24 se observa que el modelo Boore y Atkinson posee una aceleración máxima de 0,67g en un período de 0,30 seg., el modelo Akkar y Bommer una aceleración de 1,07g en un período de 0,30 seg. y el modelo Kanno una aceleración de 1,06g en un período de 0,17 seg.

Con los valores antes mencionados se puede observar que el modelo que predomina es el de **Akkar y Bommer** con una aceleración de **1,07g** y con un período de **0,30 seg.** para luego ir decreciendo hasta llegar a las 3 seg.

El modelo Akkar y Bommer posee una aceleración superior respecto al modelo Kanno en 0.93% y al modelo Boore y Atkinson en 37.38%.

Figura 25. Espectros de aceleración obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y Kanno para la Falla Totoras.



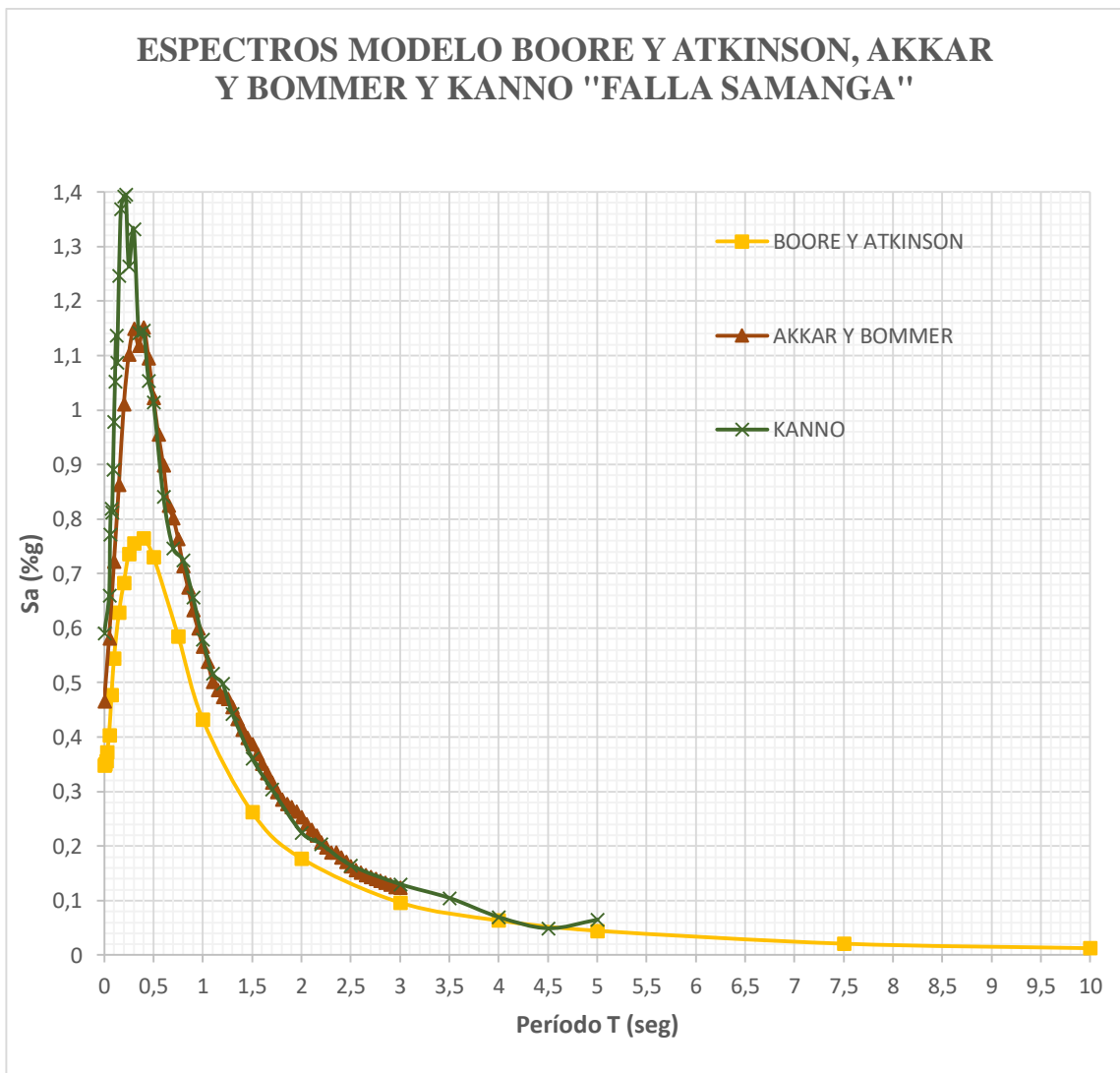
Elaborado por: David Jijón.

En la figura 25 se observa que el modelo Boore y Atkinson posee una aceleración máxima de 0.79g en un período de 0.30 seg., el modelo Akkar y Bommer una aceleración de 1.20g en un período de 0.30 seg. y el modelo Kanno una aceleración de 1.19g en un período de 0.20 seg.

Con los valores antes mencionados se puede observar que el modelo que predomina es el de **Akkar y Bommer** con una aceleración de **1.20g** y con un período de **0.30 seg.** para luego ir decreciendo hasta llegar a las 3 seg.

El modelo Akkar y Bommer posee una aceleración superior respecto al modelo Kanno en 0.83% y al modelo Boore y Atkinson en 34.17%.

Figura 26. Espectros de aceleración obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y Kanno para la Falla Samanga.



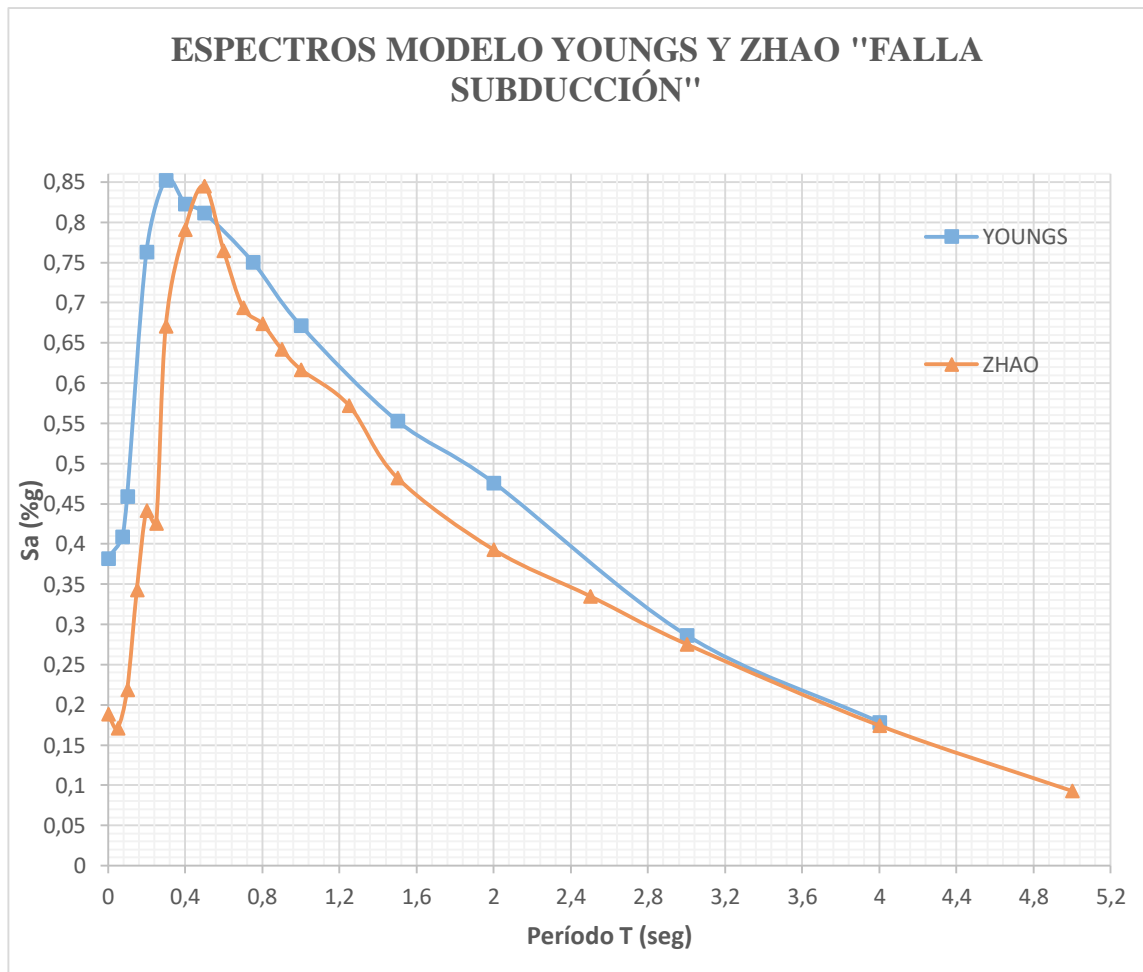
Elaborado por: David Jijón.

En la figura 26 se observa que el modelo Boore y Atkinson posee una aceleración máxima de 0.76g en un período de 0.40 seg., el modelo Akkar y Bommer una aceleración de 1.15g en un período de 0.40 seg. y el modelo Kanno una aceleración de 1.40g en un período de 0.22 seg.

Con los valores antes mencionados se puede observar que el modelo que predomina es el de **Kanno** con una aceleración de **1.40g** y con un período de **0.22 seg.** para luego ir decreciendo hasta llegar a las 5 seg.

El modelo Kanno posee una aceleración superior respecto al modelo Boore y Atkinson en 44.71% y al modelo Akkar y Bommer en 17.86%.

Figura 27. Espectros de aceleracion obtenidos con los modelos Youngs y Zhao para la Falla de Subducción.



Elaborado por: David Jijón.

En la figura 27 se observa que el modelo de Youngs posee una aceleración máxima de 0.85g en un período de 0.30 seg. y el modelo de Zhao una aceleración de 0.84g en un período de 0.50 seg.

Con los valores antes mencionados se puede observar que el modelo que predomina es el de **Youngs** con una aceleración de **0.85g** y con un período de **0.30 seg.** para luego ir decreciendo hasta llegar a las 4 seg.

El modelo Youngs posee una aceleración superior respecto al modelo Zhao en 1.18%.

En la siguiente tabla se muestra un resumen con las aceleraciones máximas, período y su variación de aceleración porcentual para cada uno de los modelos y fallas.

Tabla 33. Valores de aceleraciones máximas y su variación porcentual.

FALLA AMBATO				
Modelo	Aceleración max. (Sa)	Período (T)	Variación % de Aceleración	
Akkar y Bommer	1.21	0.30	Modelo	%
Kanno	1.16	0.20	Akkar y Bommer-Kanno	4.13
Boore y Atkinson	0.81	0.30	Akkar y Bommer-Boore y Atkinson	33.06
FALLA HUACHI				
Modelo	Aceleración max. (Sa)	Período (T)	Variación % de Aceleración	
Akkar y Bommer	1.07	0.30	Modelo	%
Kanno	1.06	0.17	Akkar y Bommer-Kanno	0.93
Boore y Atkinson	0.67	0.30	Akkar y Bommer-Boore y Atkinson	37.38
FALLA TOTORAS				
Modelo	Aceleración max. (Sa)	Período (T)	Variación % de Aceleración	
Akkar y Bommer	1.20	0.30	Modelo	%
Kanno	1.19	0.20	Akkar y Bommer-Kanno	0.83
Boore y Atkinson	0.79	0.30	Akkar y Bommer-Boore y Atkinson	34.17
FALLA SAMANGA				
Modelo	Aceleración max. (Sa)	Período (T)	Variación % de Aceleración	
Kanno	1.40	0.22	Modelo	%
Boore y Atkinson	0.76	0.40	Kanno-Boore y Atkinson	45.71

Akkar y Bommer	1.15	0.40	Kanno-Akkar y Bommer	17.86
FALLA DE SUBDUCCIÓN				
Modelo	Aceleración max. (Sa)	Período (T)	Variación % de Aceleración	
Youngs	0.85	0.30	Modelo	%
Zhao	0.84	0.50	Youngs-Zhao	1.18

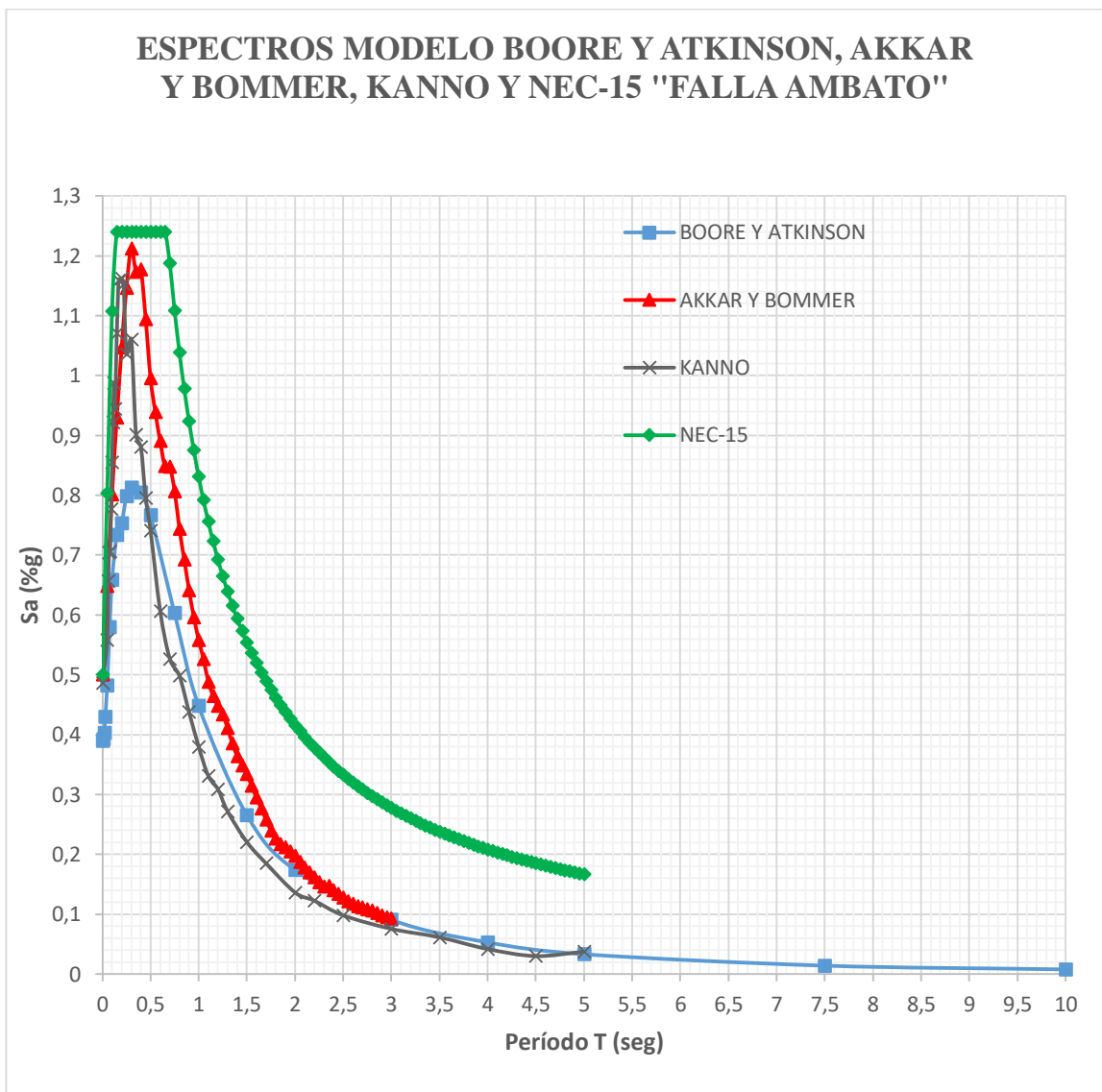
Elaborado por: David Jijón.

De la tabla anterior se obtuvo resultados en porcentaje de la variación de la aceleración con lo cual se observa que en las fallas Ambato, Huachi y totoras el modelo que predomina es Akkar y Boomer, ya que debido a sus aceleraciones máximas son superiores a los otros modelos, pero en la falla Samanga el modelo predominante es el de Kanno ya que su aceleración máxima es superior en comparación a los otros dos modelos.

4.2.4. Espectros con la NEC-15.

En las siguientes figuras se proceden a graficar los espectros de aceleración de cada uno de los modelos establecidos con cada una de las fallas antes mencionadas y comparados con el espectro que nos da la NEC-15.

Figura 28. Espectros de aceleración obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, Kanno y NEC-15 para la Falla Ambato.

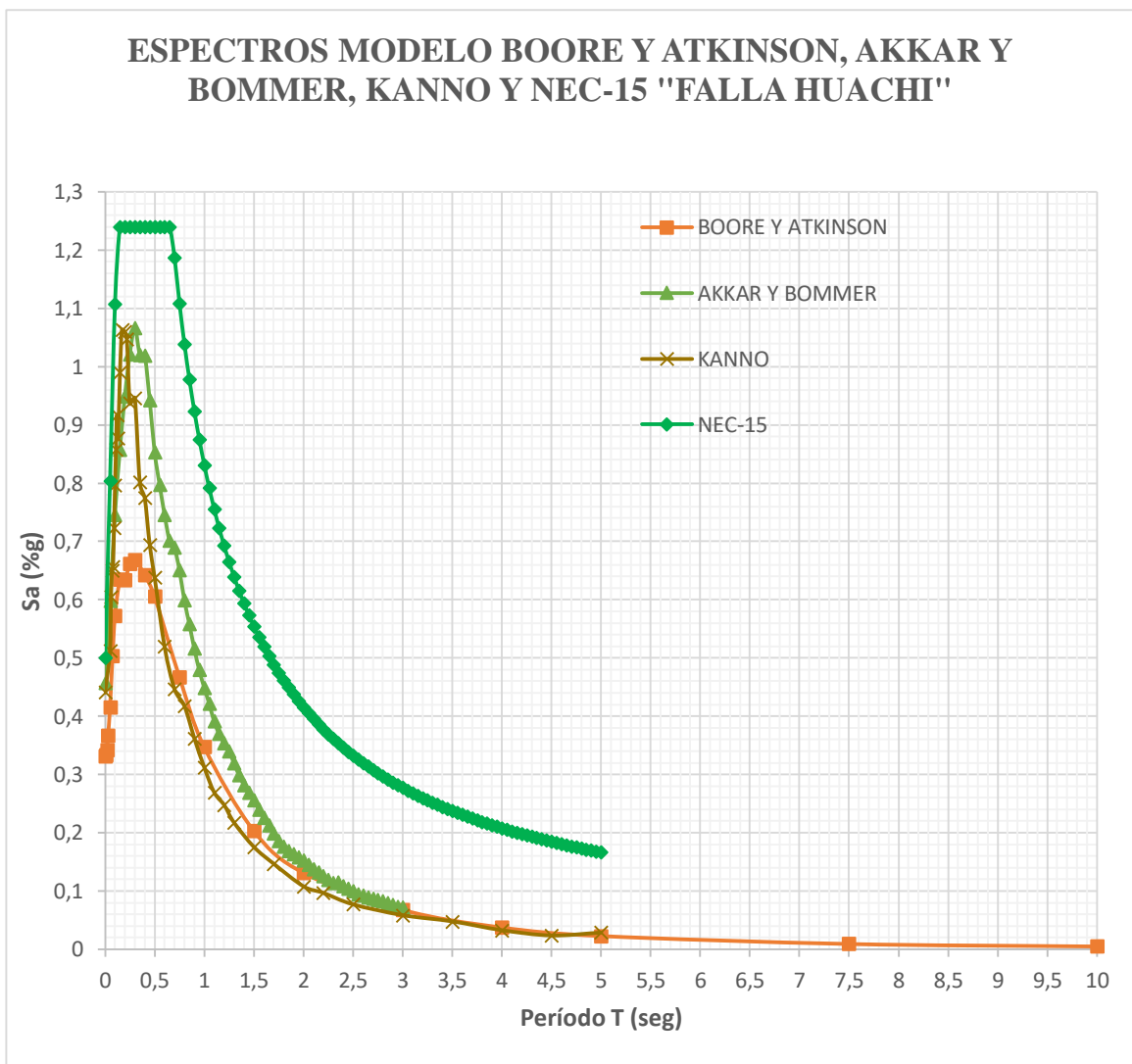


Elaborado por: David Jijón.

En la figura 28 se observa que en la Falla Ambato los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y Kanno se encuentran totalmente dentro del espectro de la NEC-15.

La aceleración máxima del espectro de la NEC-15 es 1.24g y supera a los modelos Boore y Atkinson (0.81g) en 34.68%, Akkar y Bommer (1.21g) en 2.42% y Kanno (1.16g) en 6.45%.

Figura 29. Espectros de aceleracion obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, Kanno y NEC-15 para la Falla Huachi.

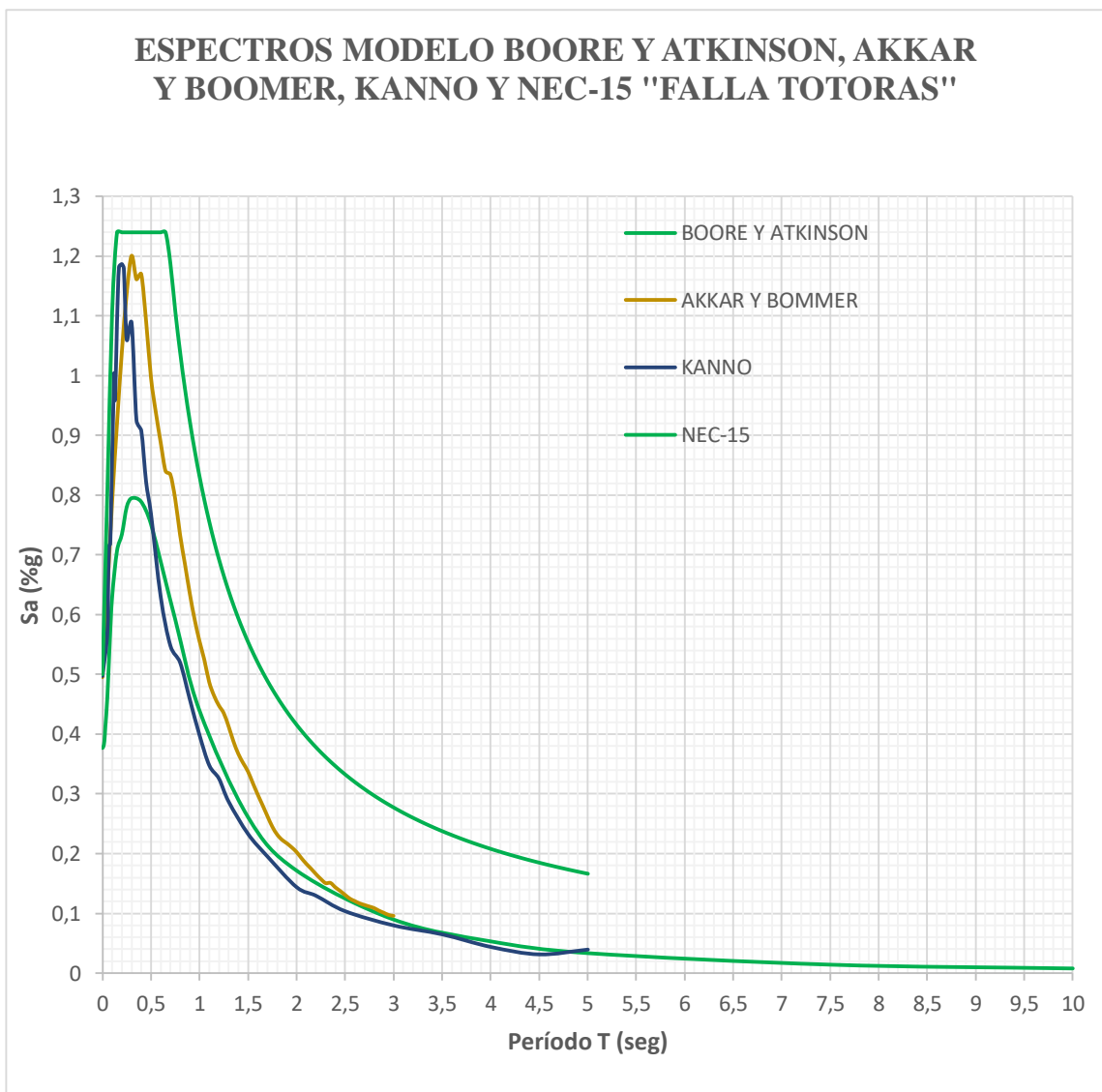


Elaborado por: David Jijón.

En la figura 29 se observa que en la Falla Huachi los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y Kanno se encuentran totalmente dentro del espectro de la NEC-15.

La aceleración máxima del espectro de la NEC-15 es 1.24g y supera a los modelos Boore y Atkinson (0.67g) en 45.97%, Akkar y Bommer (1.07g) en 13.71% y Kanno (1.06g) en 14.52%.

Figura 30. Espectros de aceleración obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, Kanno y NEC-15 para la Falla Totoras.

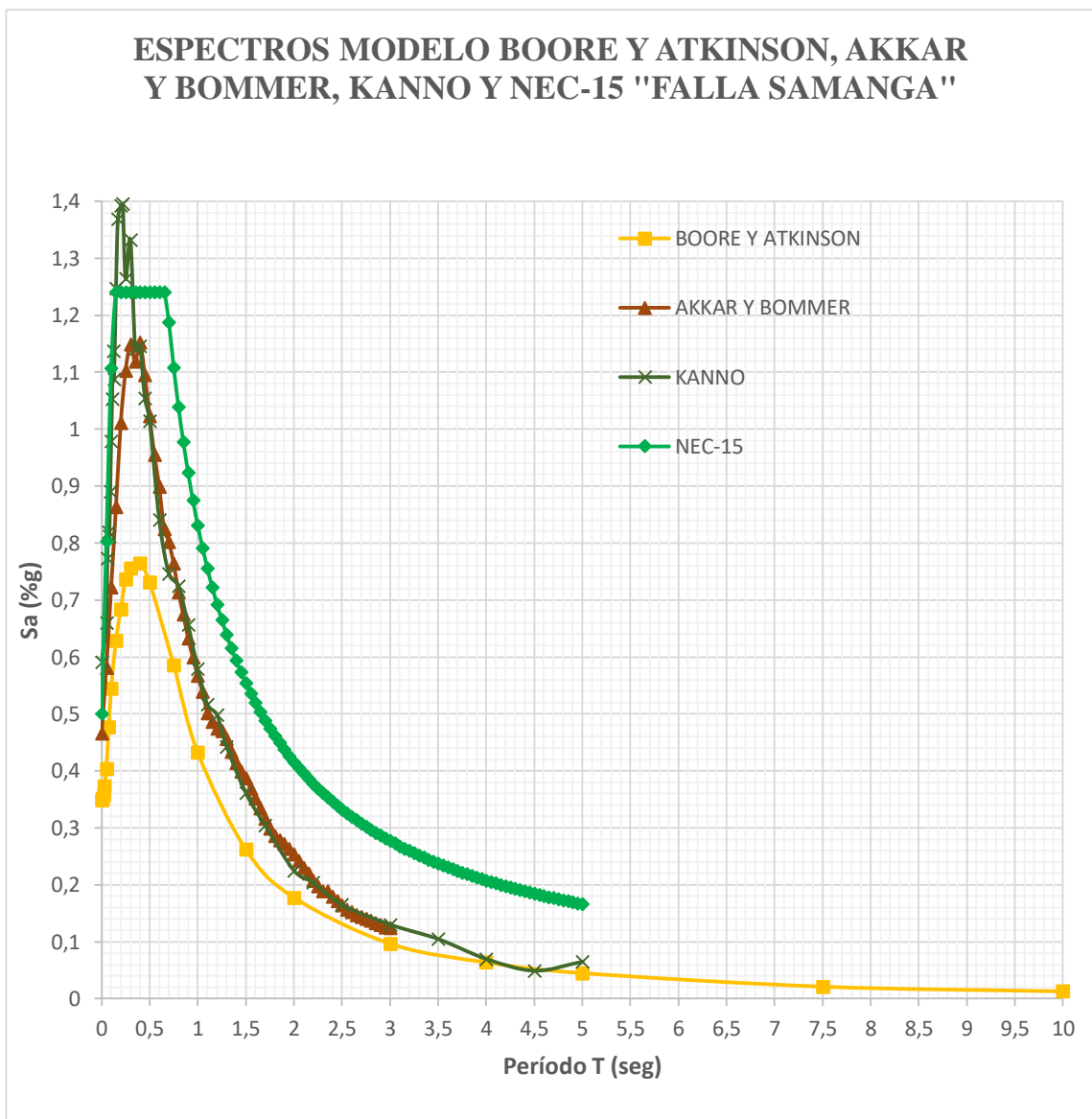


Elaborado por: David Jijón.

En la figura 30 se observa que en la Falla Totoras los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y Kanno se encuentran totalmente dentro del espectro de la NEC-15.

La aceleración máxima del espectro de la NEC-15 es 1.24g y supera a los modelos Boore y Atkinson (0.79g) en 36.29%, Akkar y Bommer (1.20g) en 3.23% y Kanno (1.19g) en 4.03%.

Figura 31. Espectros de aceleracion obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, Kanno y NEC-15 para la Falla Samanga.

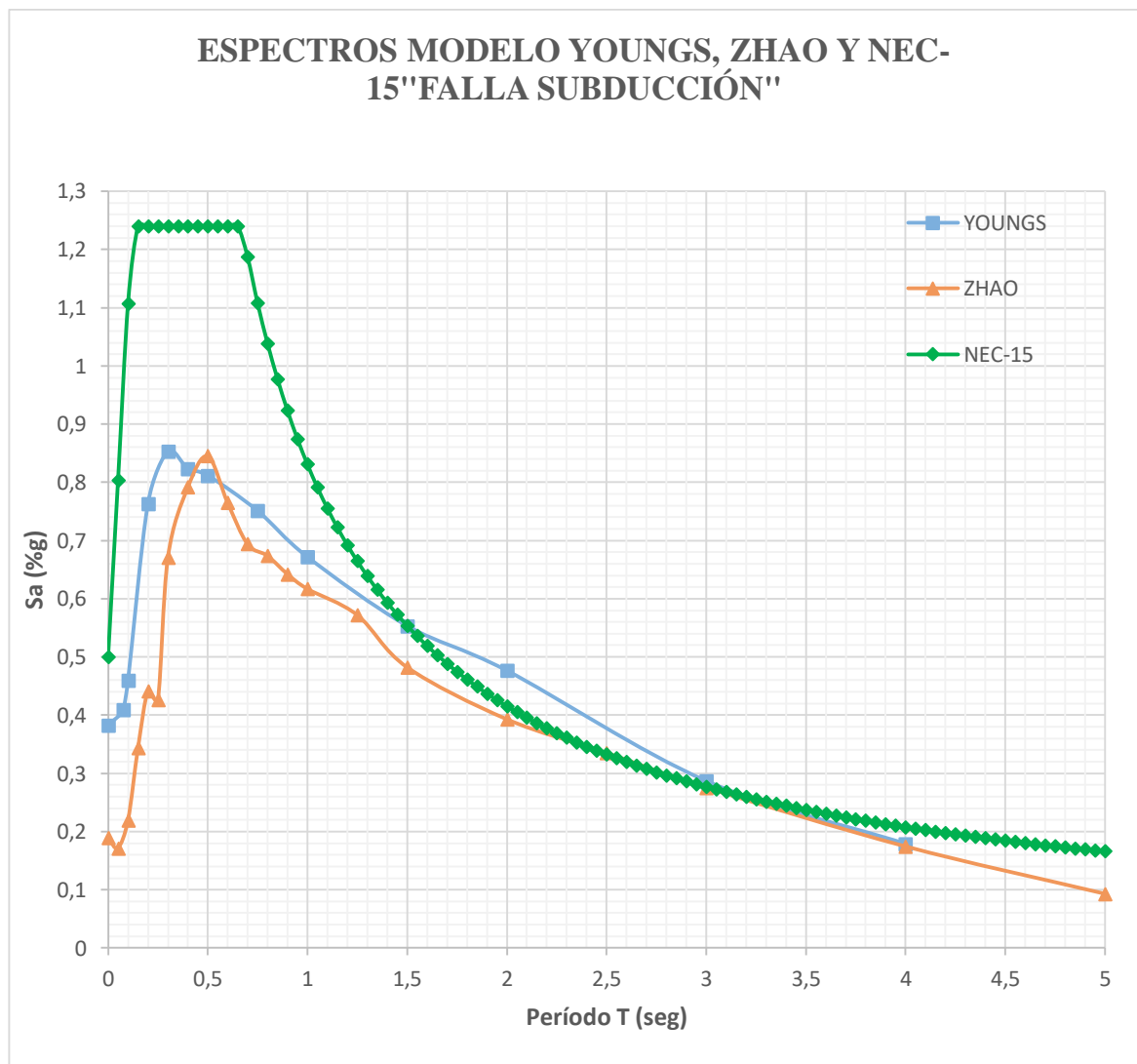


Elaborado por: David Jijón.

En la figura 31 se observa que en la Falla Samanga los modelos Boore y Atkinson y Akkar y Bommer se encuentran totalmente dentro del espectro de la NEC-15, mientras que el modelo de Kanno supera en los valores máximos de la meseta al de la Nec-15.

La aceleración máxima del espectro de la NEC-15 es 1.24g y supera a los modelos Boore y Atkinson (0.76g) en 38.71% y Akkar y Bommer (1.15g) en 7.26% mientras que el modelo Kanno (1.40g) supera al espectro NEC-15 en 11.43%.

Figura 32. Espectros de aceleración obtenidos con los modelos Youngs, Zhao y NEC-15 para la Falla de Subducción.



Elaborado por: David Jijón.

En la figura 32 se observa que en la Falla de Subducción el modelo de Zhao se encuentra totalmente dentro del espectro de la NEC-15, mientras que el modelo de Youngs en la curva de descenso se encuentra en un periodo superior al de la NEC-15.

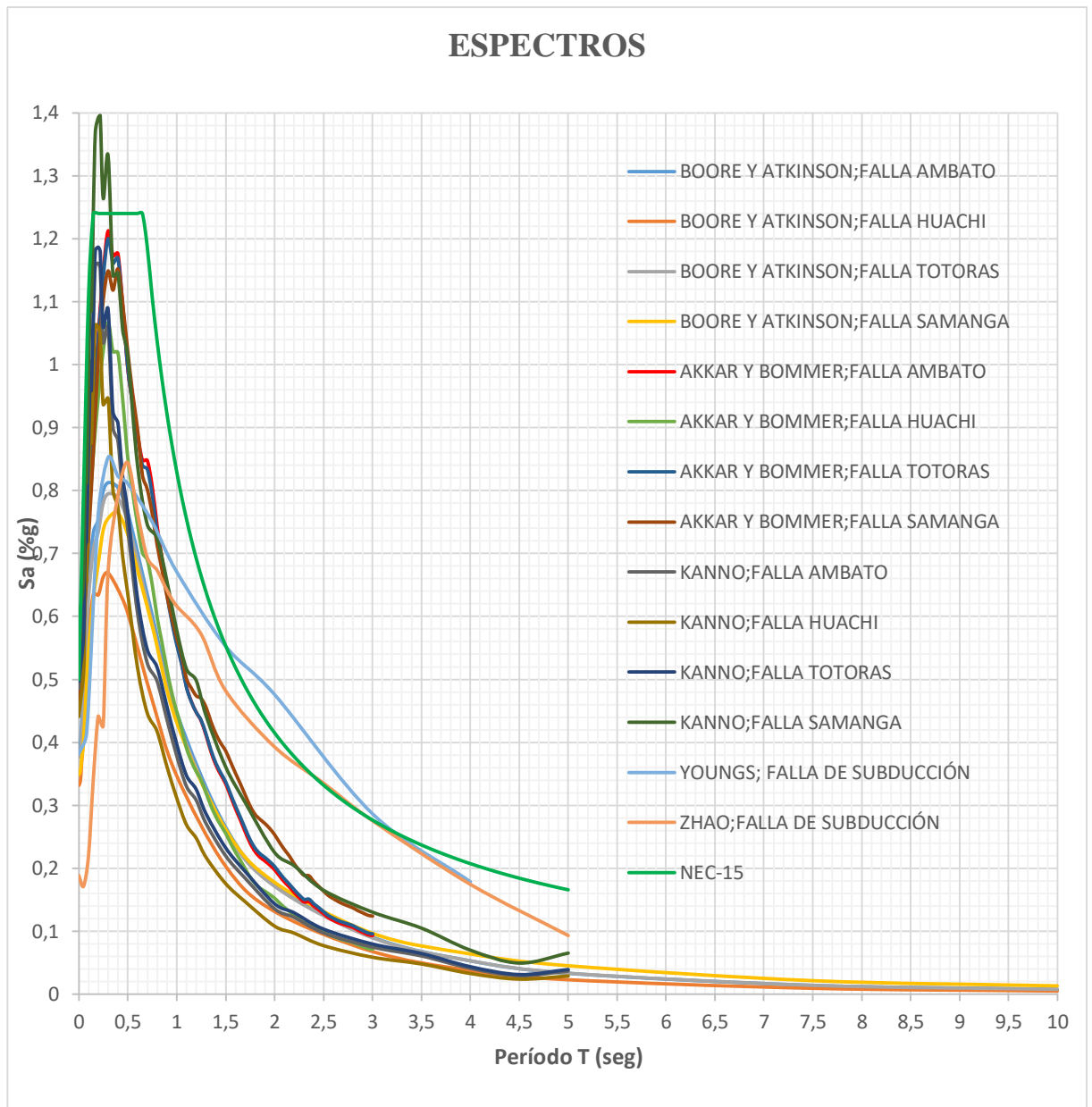
La aceleración máxima del espectro de la NEC-15 es 1.24g y supera a los modelos Youngs (0.85g) en 31.45% y Zhao (0.84g) en 32.26%.

En la curva de descenso el modelo Youngs con una aceleración máxima de 0.48g en un período de 2 seg y este supera al valor de la NEC-15 que es 0.41g en el mismo período que es un 14.58% de diferencia.

4.2.5. Espectros con la NEC-15.

En la siguiente figura se proceden a graficar todos los espectros de aceleración establecidos (Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, Kanno, Youngs y Zhao) con cada una de las fallas antes mencionadas (Falla Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y Subducción) y comparados con el espectro que nos da la NEC-15.

Figura 33. Espectros de aceleración obtenidos con los modelos Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, Kanno, Youngs, Zhao y NEC-15 para las Fallas Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y de Subducción.



Elaborado por: David Jijón.

En la figura 33 se puede observar que el espectro de la NEC-15 supera a casi todos los modelos en todas las fallas excepto al modelo de Kanno en la falla Samanga en períodos cortos, mientras que en períodos largos es superado por el modelo de Youngs.

4.2.6. Espectro determinístico comparado con la NEC-15.

Para obtener el espectro determinístico se toman los valores máximos de aceleración de los modelos graficados por cada falla y después compararlos con el espectro que nos da la NEC-15.

A continuación, se muestra una tabla con los valores del espectro determinístico y su gráfica.

Tabla 34. Valores de aceleraciones y períodos para el espectro determinístico.

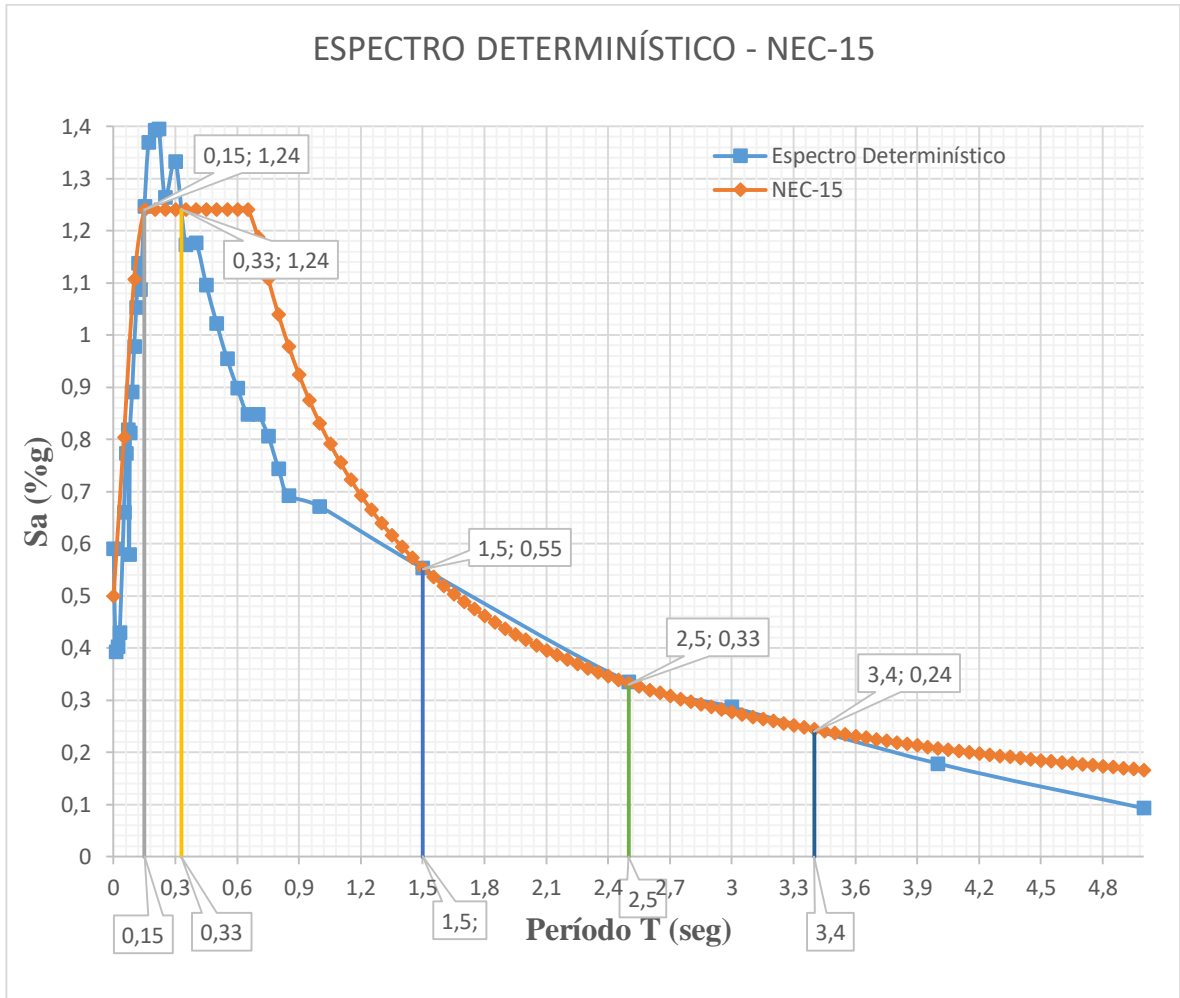
ESPECTRO DETERMINÍSTICO	
T (seg)	Sa (g)
0	0.590402
0.01	0.3924985
0.02	0.402404
0.03	0.429568
0.05	0.6597559
0.06	0.7724558
0.07	0.8189195
0.075	0.5795549
0.08	0.8122159
0.09	0.8906069
0.1	0.9783611
0.11	1.0528906
0.12	1.1368839
0.13	1.0872167
0.15	1.2468455
0.17	1.3692522
0.2	1.3921791
0.22	1.3951872
0.25	1.2640997
0.3	1.3319908
0.35	1.1724738
0.4	1.1765579
0.45	1.09517

0.5	1.0225228
0.55	0.955144
0.6	0.8985924
0.65	0.8482705
0.7	0.8476685
0.75	0.8067578
0.8	0.744108
0.85	0.6922411
0.9	0.6566855
0.95	0.5993226
1	0.6713563
1.05	0.5388427
1.1	0.5165799
1.15	0.4864627
1.2	0.4981277
1.25	0.5719942
1.3	0.4558203
1.35	0.4332177
1.4	0.4137346
1.45	0.3989925
1.5	0.5529662
1.55	0.3691422
1.6	0.3513493
1.65	0.3344016
1.7	0.3165897
1.75	0.2991383
1.8	0.2859557
1.85	0.2781443
1.9	0.2714461
1.95	0.2634235
2	0.4761042
2.05	0.2412499
2.1	0.2299526
2.15	0.219767
2.2	0.207385
2.25	0.1975537
2.3	0.1890696
2.35	0.1884586
2.4	0.1792743

2.45	0.1716425
2.5	0.3351391
2.55	0.1566993
2.6	0.1519069
2.65	0.1473643
2.7	0.1436334
2.75	0.1404065
2.8	0.1373092
2.85	0.1329584
2.9	0.1294848
2.95	0.1258035
3	0.286604
3.5	0.1046488
4	0.1785457
4.5	0.0490753
5	0.0928772

Elaborado por: David Jijón.

Figura 34. Espectros Determinístico comparado con el Espectro NEC-15.



Elaborado por: David Jijón.

En la figura 34 se puede observar que el espectro determinístico llega a una aceleración máxima de **1.40g** en un período de **0.22seg.**, para luego decrecer y nuevamente ascender hasta llegar a otro pico alto con una aceleración de **1.33g** en un período de **0.30 seg.** luego de esto van decreciendo hasta llegar a unos tramos de período que van desde 1.5 seg. hasta 2.5 seg. y 2.8 seg. hasta 3.30 seg. en los que se nota que el espectro determinístico supera al espectro NEC-15.

El espectro determinístico supera al espectro de la NEC-15 durante un período de **0.15 seg** a **0.30 seg** en donde la aceleración máxima del modelo es de **1.40g** que representa una variación de **11.43%** con respecto a la NEC-15.

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

En este punto se procede a modelar tres estructuras tipo del sitio de estudio en el programa ETABS 2016 v16, con la finalidad de analizar el comportamiento estructural y compararlo con lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15.

4.2.7.1. Reducción de los espectros elásticos.

Para la modelación de las estructuras se ingresan los espectros reducidos, tanto el espectro NEC-15 como el Determinista los cuales se los realiza con la siguiente expresión:

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

Donde:

C = Coeficiente de reducción.

I = Factor de Importancia.

Sa = Espectro de respuesta elástico de aceleraciones.

R = Factor de reducción de resistencia sísmica.

ϕ_P = Coeficiente de configuración en planta.

ϕ_E = Coeficiente de configuración en elevación.

Tabla 35. Valores de coeficientes para la reducción de espectros elásticos.

ESTRUCTURAS	ϕ_p	ϕ_e	I	R
Estructura 2 pisos	0.9	0.9	1	8
Estructura 3 pisos	0.9	0.9	1	8
Estructura 4 pisos	1	0.9	1	8

Elaborado por: David Jijón.

4.2.7.2. Características estructurales de las edificaciones.

En la siguiente tabla se muestra las dimensiones de los elementos estructurales de las edificaciones del sitio.

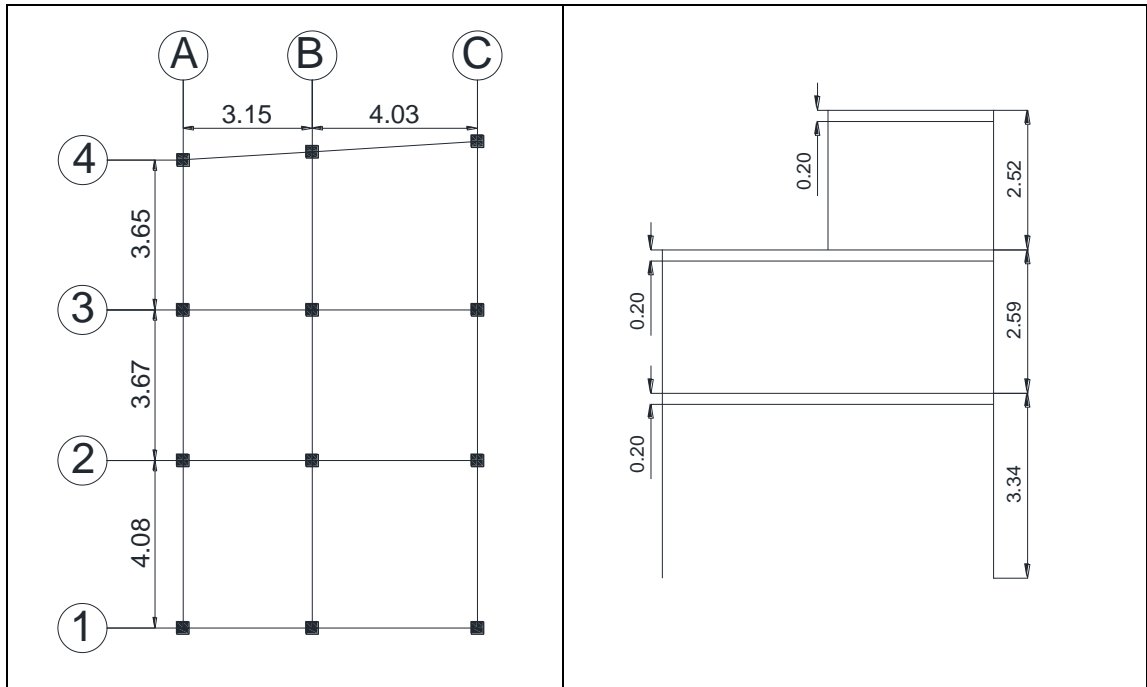
Tabla 36. Dimensiones de elementos estructurales de las edificaciones.

ESTRUCTURAS	COLUMNAS (cm)	VIGAS (cm)	LOSA (cm)	ALTURA (m)
Estructura 2 pisos	30*30	25*30	20	7,70
Estructura 3 pisos	40*60	30*30	20	7.85
Estructura 4 pisos	55*55	55*55	20	11.20

Elaborado por: David Jijón.

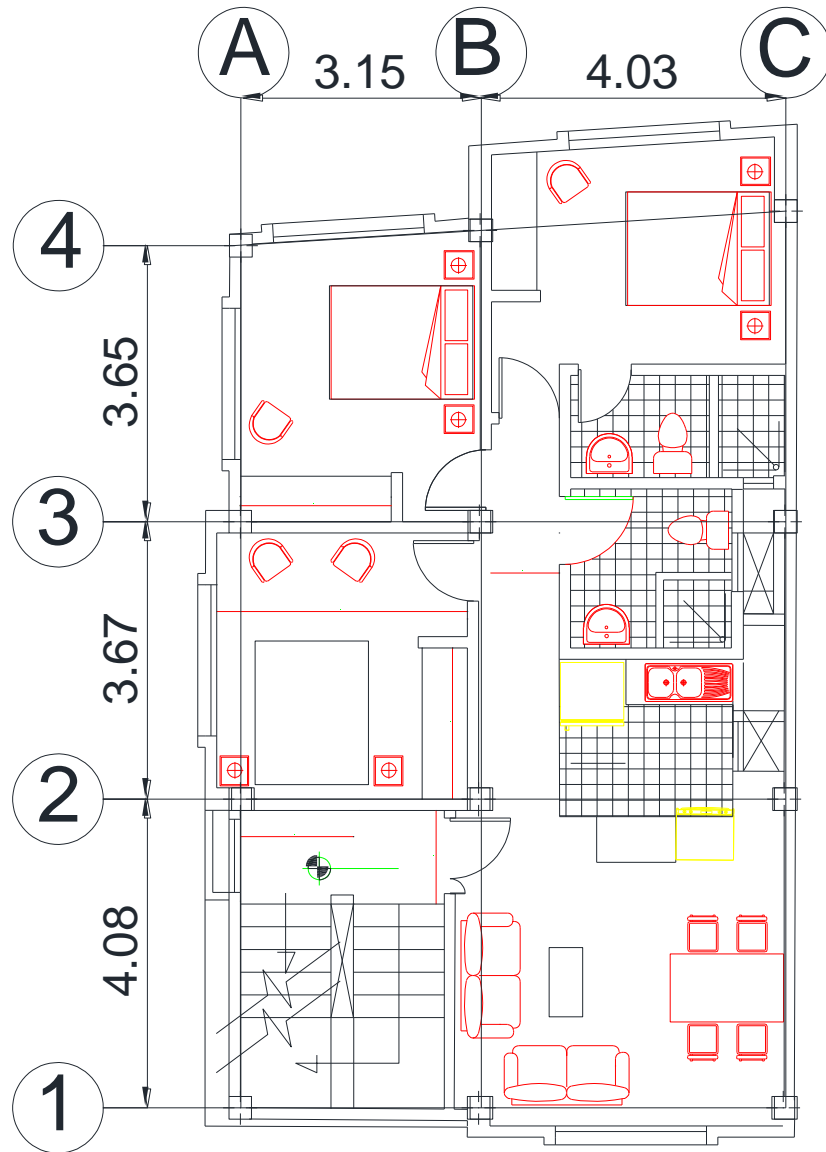
Vista en planta de las edificaciones del sitio de estudio.

Figura 35. Vista en planta y elevación de la estructura de 2 pisos (m).



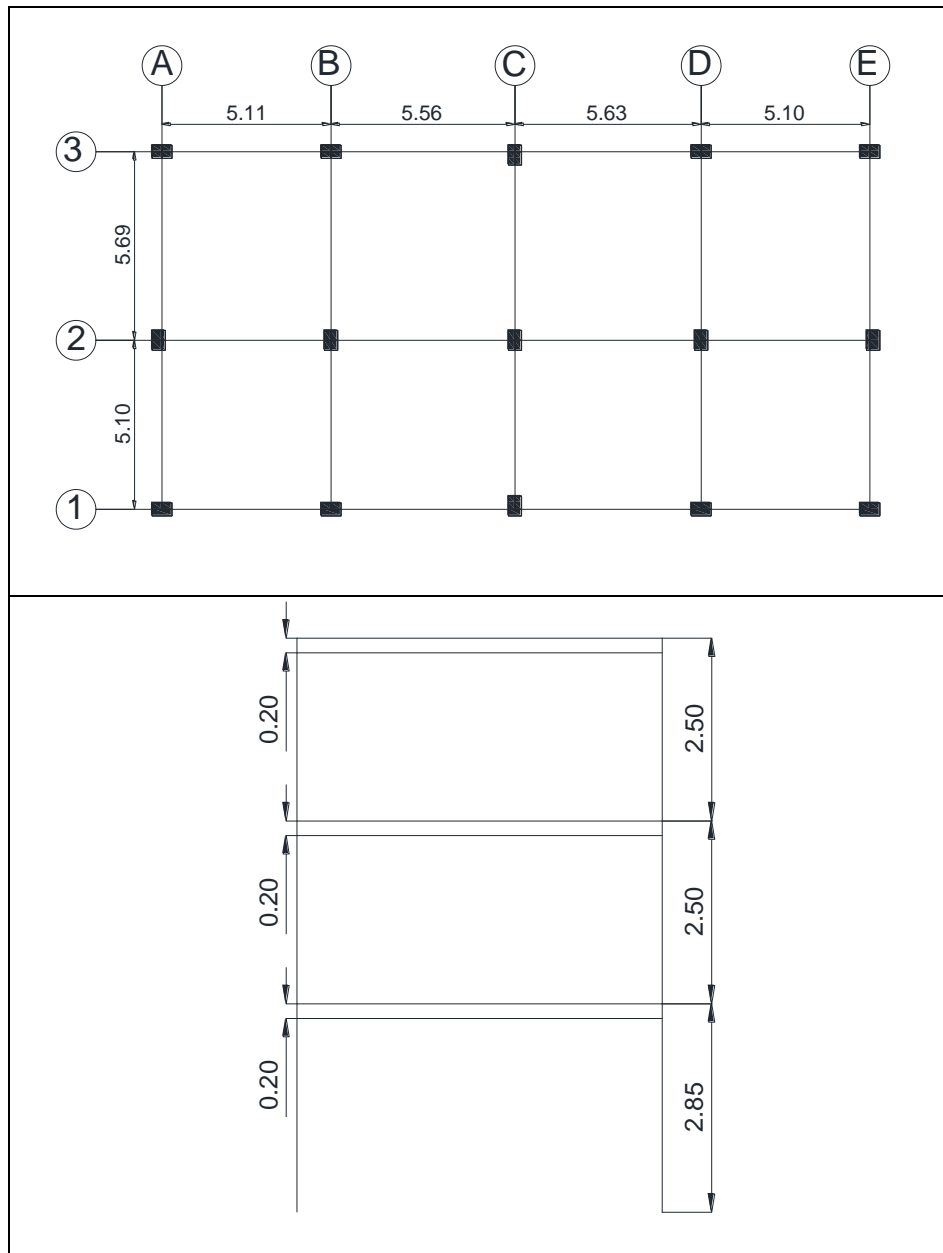
Elaborado por: David Jijón.

Figura 36. Plano arquitectonica de la estructura de 2 pisos (m).



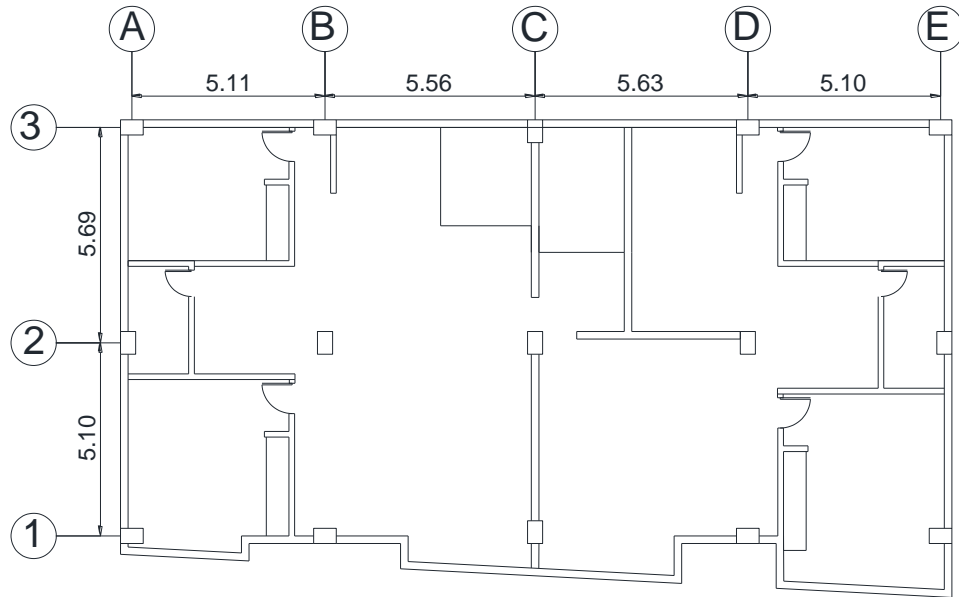
Elaborado por: David Jijón.

Figura 37. Vista en planta y elevación de la estructura de 3 pisos (m)



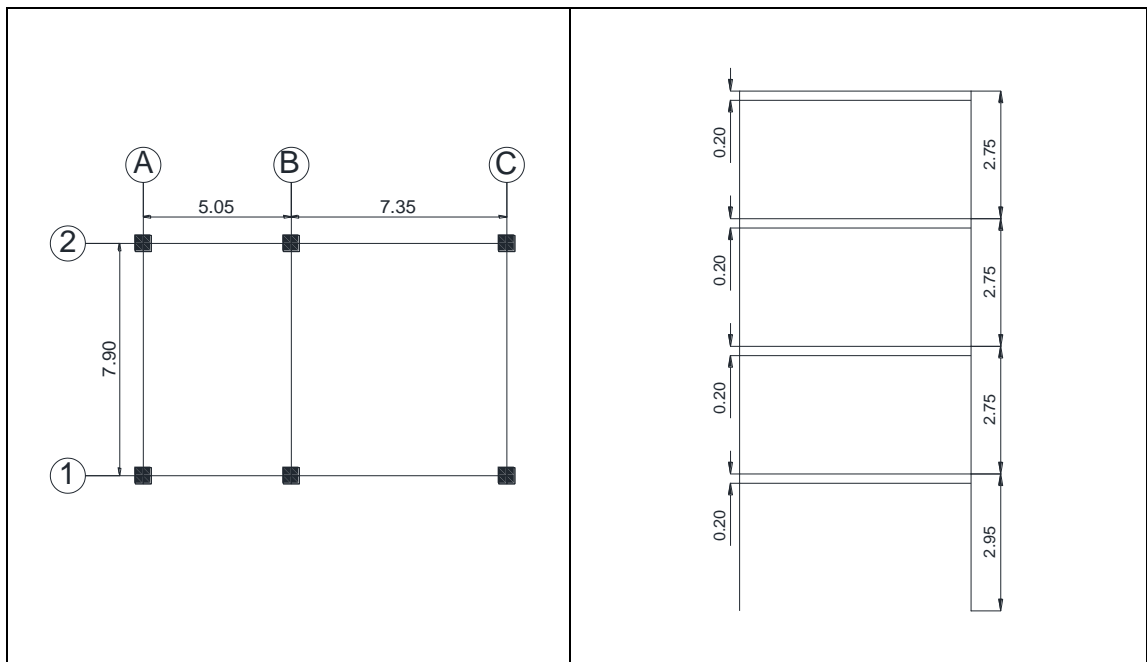
Elaborado por: David Jijón.

Figura 38. Plano arquitectonica de la estructura de 3 pisos (m).



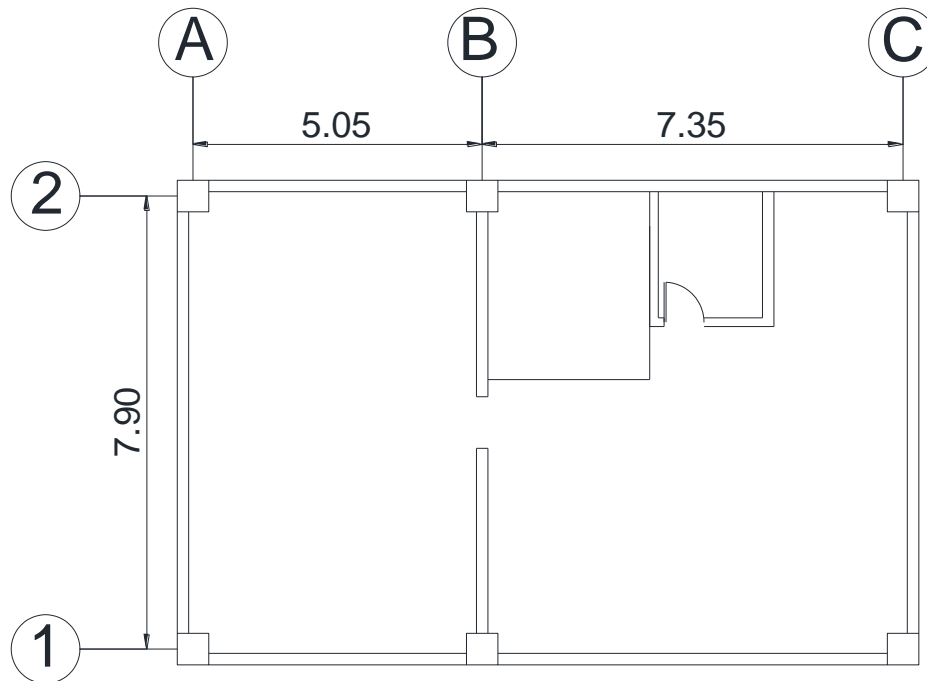
Elaborado por: David Jijón.

Figura 39. Vista en planta y elevación de la estructura de 4 pisos (m).



Elaborado por: David Jijón.

Figura 40. Plano arquitectonica de la estructura de 4 pisos (m).



Elaborado por: David Jijón.

4.2.7.3. Cálculo de los Períodos de Vibración

4.2.7.3.1. Período Fundamental de Vibración

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 establece la siguiente expresión (Método 1) para determinar el valor del período fundamental T:

$$T = C_t * h n^\alpha$$

Donde:

C_t = Coeficiente que depende del tipo de edificio.

h_n = Altura máxima de la edificación de n pisos medida desde la base de la estructura, en metros

T = Periodo de vibración.

Los valores de **Ct** y α se obtienen de la siguiente tabla.

Tabla 37. Valores de **Ct** y α para el cálculo de periodo **T**.

Pórticos especiales de hormigón armado		
Tipo de estructura	Ct	α
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9

Fuente: Peligro Sísmico. NEC_SE_DS2015.

Cálculos de **T** para las edificaciones de 2,3 y 4 pisos respectivamente.

Edificio de 2 pisos.

$$\mathbf{T = Ct * hm^\alpha}$$

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

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

Edificio de 3 pisos.

$$\mathbf{T = Ct * hm^\alpha}$$

$$\mathbf{T = 0.055 * 7.855^{0.9}}$$

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

Edificio de 4 pisos.

$$\mathbf{T = Ct * hm^\alpha}$$

$$\mathbf{T = 0.055 * 11.20^{0.9}}$$

$$\mathbf{T = 0.48 \text{ seg}}$$

4.2.7.3.2. Períodos límites de Vibración.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 establece las siguientes expresiones para los límites de vibración:

- $T_0 = 0.1F_s \frac{F_d}{F_a}$

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

Donde:

Fa, Fd, Fs = Coeficiente de amplificación del suelo.

T₀, T_c = Periodos límite de vibración en el espectro elástico de aceleraciones que representa al sismo de diseño.

De la NEC-15 se obtuvieron los coeficientes de amplificación del suelo Fa, Fd, Fs que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 38. Valores de Z y Coeficientes de amplificación para el suelo tipo D.

DATOS	
Z (g)	0.4
Fa	1.25
Fd	1.28
Fs	1.19

Fuente: Peligro Sísmico. NEC_SE_DS2015.

Cálculo de T₀ y T_c.

- $T_0 = 0.1F_s \frac{F_d}{F_a}$

$$T_0 = 0.1 * 1.19 * \frac{1.28}{1.25}$$

$$T_0 = 0.12 \text{ seg.}$$

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

$$T_c = 0.55 * 1.19 * \frac{1.28}{1.25}$$

$$T_c = 0.67 \text{ seg.}$$

4.2.7.4. Verificación del comportamiento estructural

Una vez modelado las estructuras e introducido el espectro determinista y el espectro NEC-15 procedemos a realizar la comparación de los cálculos obtenidos.

4.2.7.4.1. Períodos de Vibración

Se realiza el segundo método de cálculo que nos proporciona la NEC-15 la cual nos dice que el valor T2 de este método no tiene que ser mayor al 30% al valor de T1 calculado anteriormente.

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

Donde:

T1= Periodo fundamental de vibración calculado con el método 1.

T2= Periodo fundamental de vibración calculado con el método 2 (Etabs 2016).

En la siguiente tabla se muestra los valores de los periodos de vibración y sus rangos.

Tabla 39. Valores del periodo de vibración T1, T2 y 1.3 T1 (seg)

ESTRUCTURAS TIPO	T1 (CALCULADO)	T2 (ETABS)	1.3*T1	OBSERVACIÓN
2 PISOS	0.35	0.36	0.46	Se encuentra en el rango establecido.
3 PISOS	0.35	0.54	0.46	No se encuentra en el rango establecido.
4 PISOS	0.48	0.46	0.62	No se encuentra en el rango establecido.

Elaborado por: David Jijón.

4.2.7.4.2. Modos de Vibración de la estructura

Para evaluar la torsión en plantase analiza las formas modales y el porcentaje de participación modal de la masa para los dos primeros modos de vibración. En ambos casos la torsión no debe superar el 30% del porcentaje de participación predominante. [40]

Tabla 40. Participación modal de la masa estructura de 2 pisos

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0,363	0,683	0,0907	0,07
Modal	2	0,356	0,091	0,7775	0,0056
Modal	3	0,313	0,0951	0,0016	0,7911

Fuente: Etabs 2016 v16.

Tabla 41. Participación modal de la masa estructura de 3 pisos

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0,537	0	0,8088	0,0029
Modal	2	0,504	0,7605	0,0002	0,0559
Modal	3	0,455	0,0531	0,0027	0,7607

Fuente: Etabs 2016 v16.

Tabla 42. Participación modal de la masa estructura de 4 pisos

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0,458	1,514E-05	0,8304	0,0057
Modal	2	0,387	0,8281	0,0003	0,024
Modal	3	0,37	0,0242	0,0052	0,8202

Fuente: Etabs 2016 v16.

Tabla 43. Modos de vibración para cada una de las estructuras

ESPECTROS	ESTRUCTURA DE 2 PISOS				
NEC-15- DETERMINÍSTICO	MODOS	U_x, U_y	R_z	%	TIPO
	1	0,683	0,07	10,25	Traslacional
	2	0,7775	0,0056	0,72	Traslacional
	3	0,0951	0,7911	831,86	Rotacional
ESPECTROS	ESTRUCTURA DE 3 PISOS				
NEC-15- DETERMINÍSTICO	MODOS	U_x, U_y	R_z	%	TIPO
	1	0,8088	0,0029	0,36	Traslacional
	2	0,7605	0,0559	7,35	Traslacional
	3	0,0531	0,7607	1432,58	Rotacional
ESPECTROS	ESTRUCTURA DE 4 PISOS				
NEC-15- DETERMINÍSTICO	MODOS	U_x, U_y	R_z	%	TIPO
	1	0,8304	0,0057	0,69	Traslacional
	2	0,8281	0,024	2,90	Traslacional
	3	0,0242	0,8202	3389,26	Rotacional

Elaborado por: David Jijón.

De la tabla 43 se puede comprobar que si cumplen con los modos de vibración en todas las estructuras.

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

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 se deben considerar todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas. [3]

Tabla 44. Modos necesarios para alcanzar el 90% de la masa estructura de 2 pisos (%)

Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,683	0,0907
Modal	2	0,774	0,8681
Modal	3	0,8691	0,8698
Modal	4	0,8692	0,8766
Modal	5	0,8806	0,9573
Modal	6	0,9405	0,9679

Fuente: Etabs 2016 v16.

Tabla 45. Modos necesarios para alcanzar el 90% de la masa estructura de 3 pisos (%)

Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,537	0	0,8088
Modal	2	0,504	0,7605	0,809
Modal	3	0,455	0,8135	0,8117
Modal	4	0,14	0,8138	0,9632
Modal	5	0,133	0,9509	0,9637

Fuente: Etabs 2016 v16.

Tabla 46. Modos necesarios para alcanzar el 90% de la masa estructura de 4 pisos (%)

Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,458	1,514E-05	0,8304
Modal	2	0,387	0,8281	0,8307
Modal	3	0,37	0,8523	0,8359
Modal	4	0,136	0,8523	0,949
Modal	5	0,119	0,9557	0,9491

Fuente: Etabs 2016 v16.

Tabla 47. Modos necesarios para alcanzar el 90% de la masa para cada una de las estructuras. (% de masa)

ESPECTROS	ESTRUCTURA DE 2 PISOS		
NEC-15- DETERMINÍSTICO	MODO	Sum Ux	Sum Uy
	6	0,9405	0,9679
ESPECTROS	ESTRUCTURA DE 3 PISOS		
NEC-15- DETERMINÍSTICO	MODO	Sum Ux	Sum Uy
	5	0,9509	0,9637
ESPECTROS	ESTRUCTURA DE 4 PISOS		
NEC-15- DETERMINÍSTICO	MODO	Sum Ux	Sum Uy
	5	0,9557	0,9491

Elaborado por: David Jijón.

En la tabla 47 se puede observar que para la estructura de 2 pisos en el modo de vibración 6 se obtiene el 90% de la masa, mientras que para las estructuras de 3 y 4 pisos se lo obtuvo en el modo de vibración 5.

4.2.7.4.4. Derivas de Piso.

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

Las derivas obtenidas como consecuencia de la aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas por el método DBF sean estáticas o dinámicas, para cada dirección de aplicación de las fuerzas laterales, se calcularán, para cada piso, realizando un análisis elástico de la estructura sometida a las fuerzas laterales calculadas. [3]

$$\Delta_{inelástica} \leq 2\%$$

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

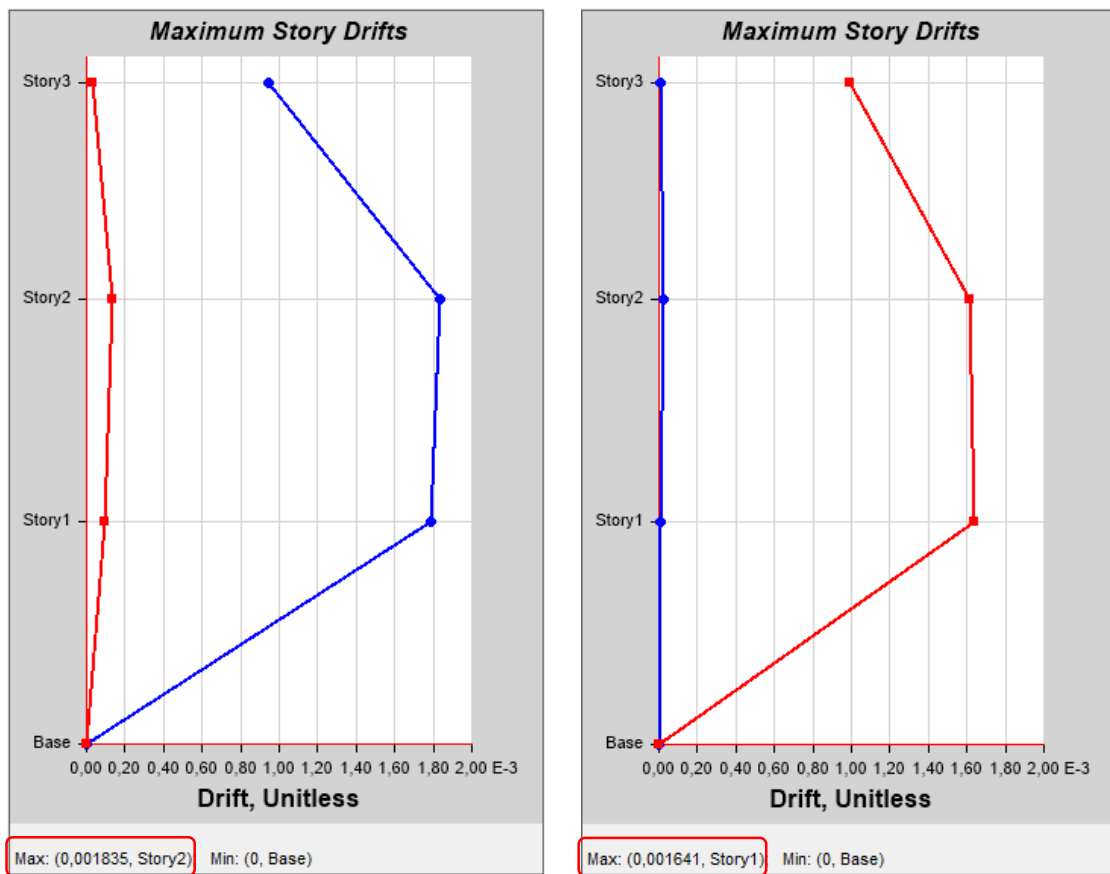
Dónde:

Δ_M = Deriva máxima inelástica

Δ_E = Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

R = Factor de reducción de resistencia.

Figura 41. Derivas elásticas del Espectro NEC 2015 en el sentido X e Y estructura de 2 pisos.



Fuente: Etabs 2016 v16.

Figura 42. Derivas elásticas del Espectro Determinista en el sentido X e Y estructura de 2 pisos.



Fuente: Etabs 2016 v16.

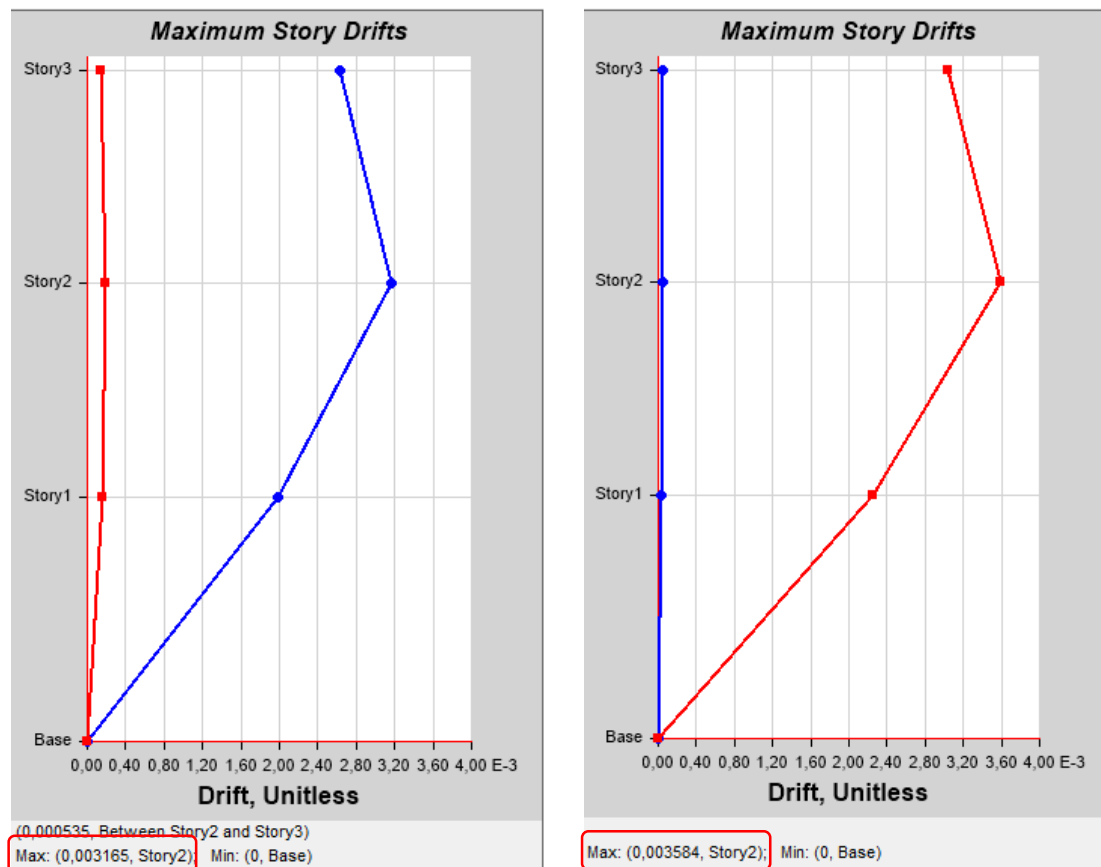
Tabla 48. Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas estructura de 2 pisos

NEC-2015				
PISO	Deriva Elástica ΔE		Deriva Inelástica ΔM	
	X	Y	X (%)	Y (%)
3	0,000946	0,00099	0,5676	0,594
2	0,001835	0,001615	1,101	0,969
1	0,001788	0,001641	1,0728	0,9846
0	0	0	0	0
ESPECTRO DETERMINISTA				

PISO	Deriva Elástica ΔE		Deriva Elástica ΔM	
	X	Y	X (%)	Y (%)
3	0,000895	0,000936	0,537	0,5616
2	0,001736	0,001528	1,0416	0,9168
1	0,001692	0,001552	1,0152	0,9312
0	0	0	0	0

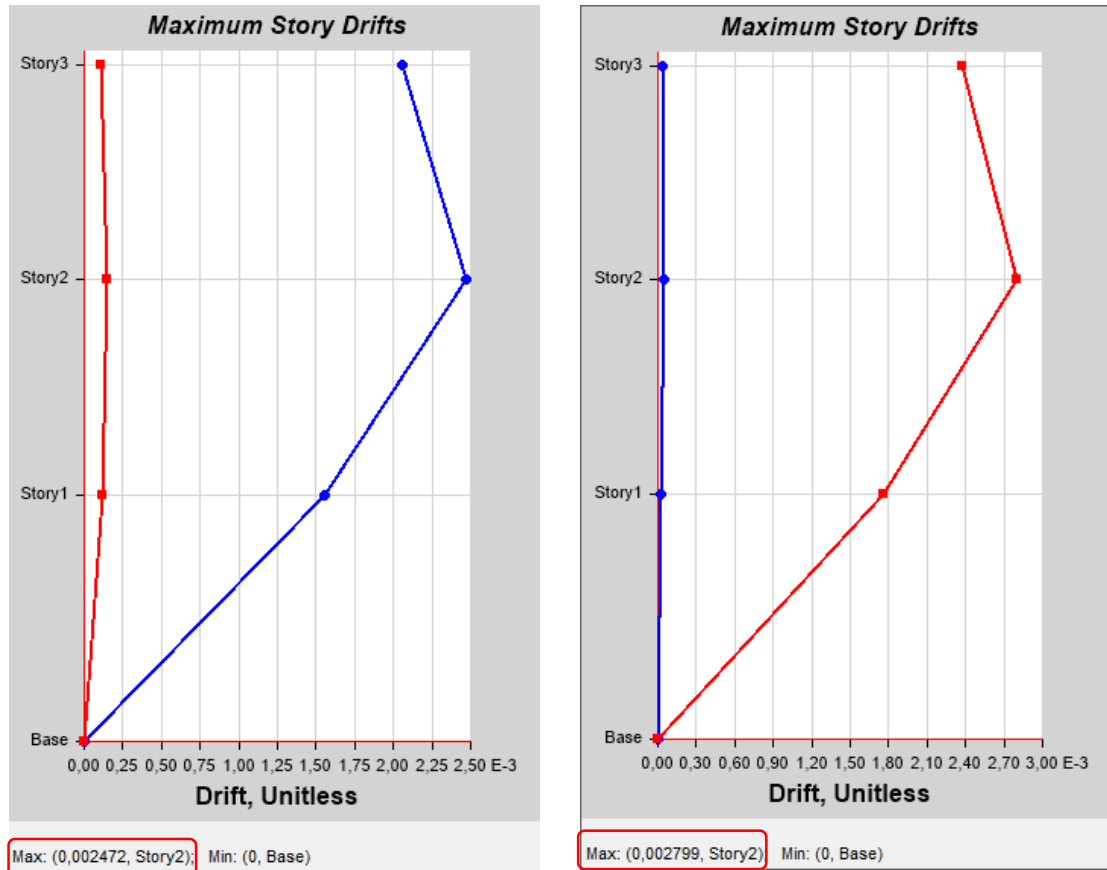
Elaborado por: David Jijón.

Figura 43. Derivas elasticas del Espectro NEC 2015 en el sentido X e Y estructura de 3 pisos.



Fuente: Etabs 2016 v16.

Figura 44. Derivas elásticas del Espectro Determinista en el sentido X e Y estructura de 3 pisos.



Fuente: Etabs 2016 v16.

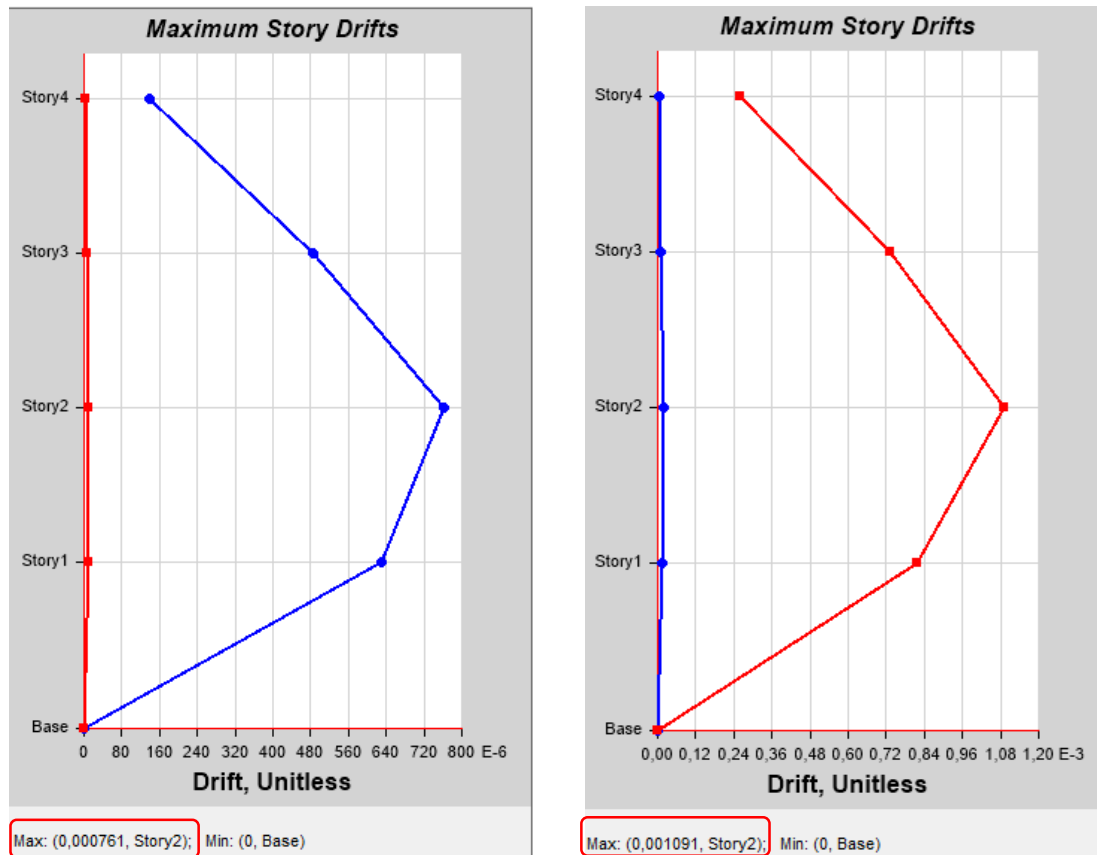
Tabla 49. Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas estructura de 3 pisos

NEC-2015				
PISO	Deriva Elástica ΔE		Deriva Inelástica ΔM	
	X	Y	X (%)	Y (%)
3	0,002632	0,003044	1,5792	1,8264
2	0,003165	0,003584	1,899	2,1504
1	0,00199	0,002247	1,194	1,3482
0	0	0	0	0

ESPECTRO DETERMINISTA				
PISO	Deriva Elástica ΔE		Deriva Inelástica ΔM	
	X	Y	X (%)	Y (%)
3	0,002056	0,002378	1,2336	1,4268
2	0,002472	0,002799	1,4832	1,6794
1	0,001554	0,001755	0,9324	1,053
0	0	0	0	0

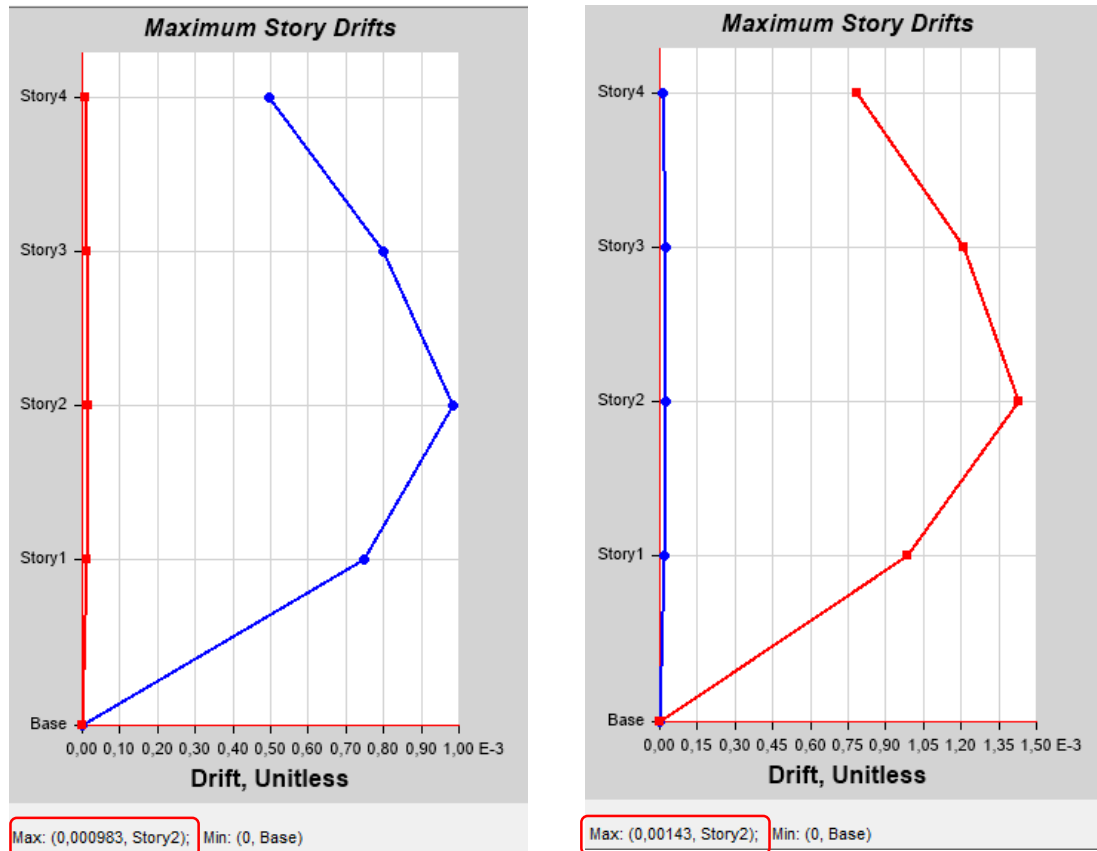
Elaborado por: David Jijón.

Figura 45. Derivas elasticas del Espectro NEC-2015 en el sentido X e Y estructura de 4 pisos.



Fuente: Etabs 2016 v16.

Figura 46. Derivas elásticas del Espectro Determinista en el sentido X e Y estructura de 4 pisos.



Fuente: Etabs 2016 v16.

Tabla 50. Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas estructura de 4 pisos

NEC-2015				
PISO	Deriva Elástica ΔE		Deriva Inelástica ΔM	
	X	Y	X (%)	Y (%)
4	0,000138	0,000261	0,0828	0,1566
3	0,000485	0,000733	0,291	0,4398
2	0,000761	0,001091	0,4566	0,6546
1	0,00063	0,000818	0,378	0,4908
0	0	0	0	0

ESPECTRO DETERMINISTA				
PISO	Deriva Elástica ΔE		Deriva Inelástica ΔM	
	X	Y	X (%)	Y (%)
4	0,000495	0,000785	0,297	0,471
3	0,000799	0,00121	0,4794	0,726
2	0,000983	0,00143	0,5898	0,858
1	0,000748	0,000985	0,4488	0,591
0	0	0	0	0

Fuente: Etabs 2016 v16.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las derivas elásticas estáticas máximas obtenidas del Etabs 2016.

Tabla 51. Tabla Resumen de las Derivas elásticas estáticas máximas.

ESTRUCTURA DE 2 PISOS				
ESPECTROS	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	ΔM (%)	ΔE	ΔM (%)
NEC-15	0,001835	1,101	0,001641	0,9846
DETERMINISTA	0,001736	1,0416	0,001552	0,9312
ESTRUCTURA DE 3 PISOS				
ESPECTROS	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	ΔM (%)	ΔE	ΔM (%)
NEC-15	0,003165	1,899	0,003584	2,1504
DETERMINISTA	0,002472	1,4832	0,002799	1,6794
ESTRUCTURA DE 4 PISOS				
ESPECTROS	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	ΔM (%)	ΔE	ΔM (%)
NEC-15	0,000761	0,4566	0,001091	0,6546
DETERMINISTA	0,000983	0,5898	0,00143	0,858

Elaborado por: David Jijón.

En la tabla 51 se muestra las derivas de piso inelásticas para todas las estructuras en el sentido X cumplen es decir se encuentran menores que el 2%, mientras que en el sentido

Y la estructura de 3 pisos se encuentra sobre este rango es decir mayor al 2% y las estructuras de 2 y 4 pisos si se encuentran en el rango del 2%.

4.2.7.4.5. Análisis dinámico

4.2.7.4.5.1. Validación del análisis dinámico

La Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 establece que el valor del cortante dinámico total en la base obtenida por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser:

- < 80% del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras regulares)
- < 85% del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras irregulares). [3]

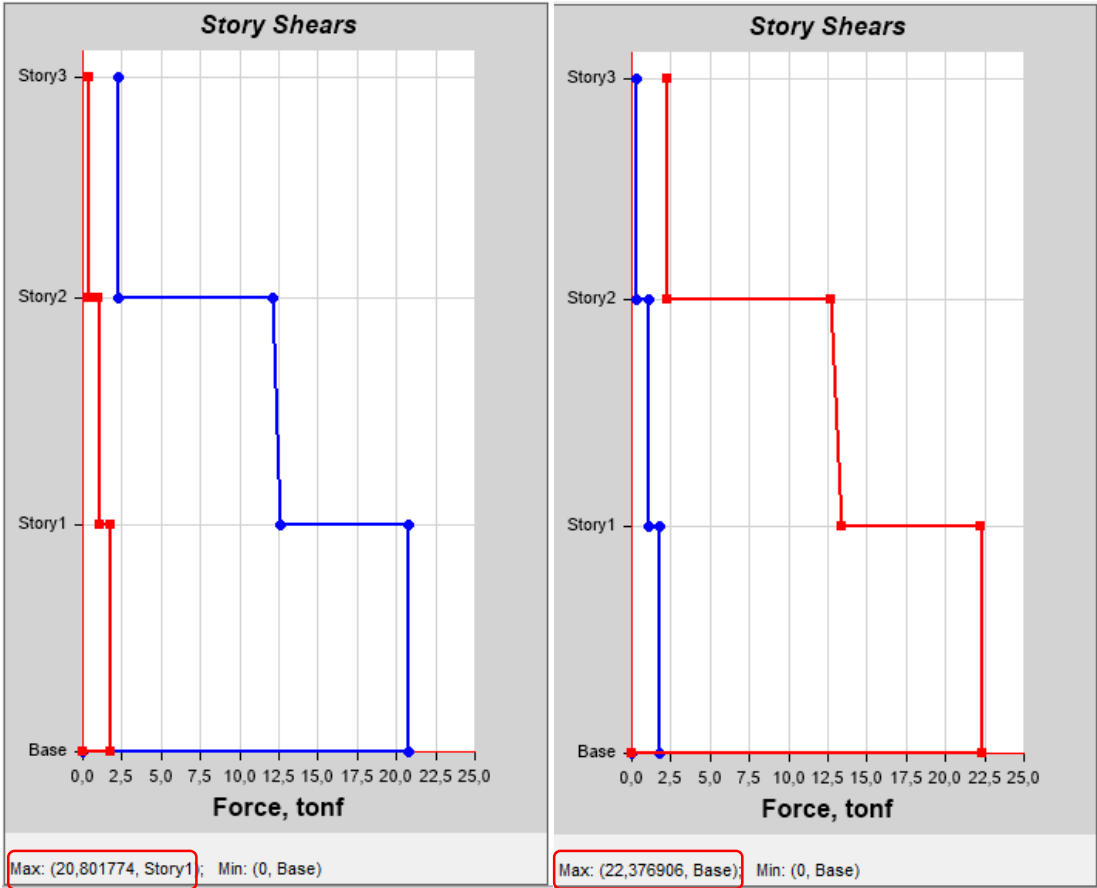
Tabla 52. Tabla del Coeficiente Basal del espectro NEC-15 y Determinista para todas las estructuras.

ESTRUCTURA	ACELERACIÓN (Sa) NEC-15	ACELERACIÓN (Sa) DETERM.	COEFICIENTE BASAL C	
			NEC-2015	DETERMINISTA
2 PISOS	1,24	1,1733	0,1914	0,1811
3PISOS	1,24	0,9686	0,1914	0,1495
4 PISOS	1,24	1,0806	0,1722	0,1501

Elaborado por: David Jijón.

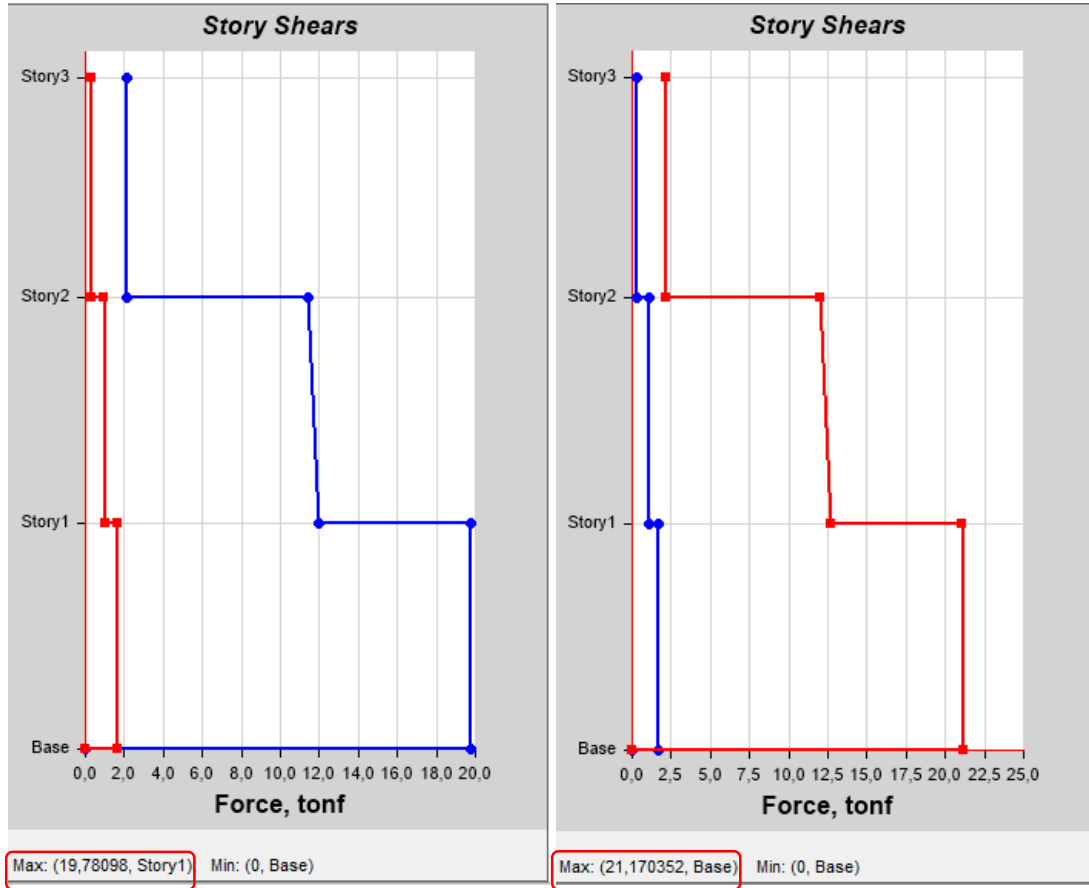
Figuras obtenidas del Etabs 2016.

Figura 47. Cortante dinámico para el Espectro NEC-2015 X e Y. Estructura de 2 pisos (ton)



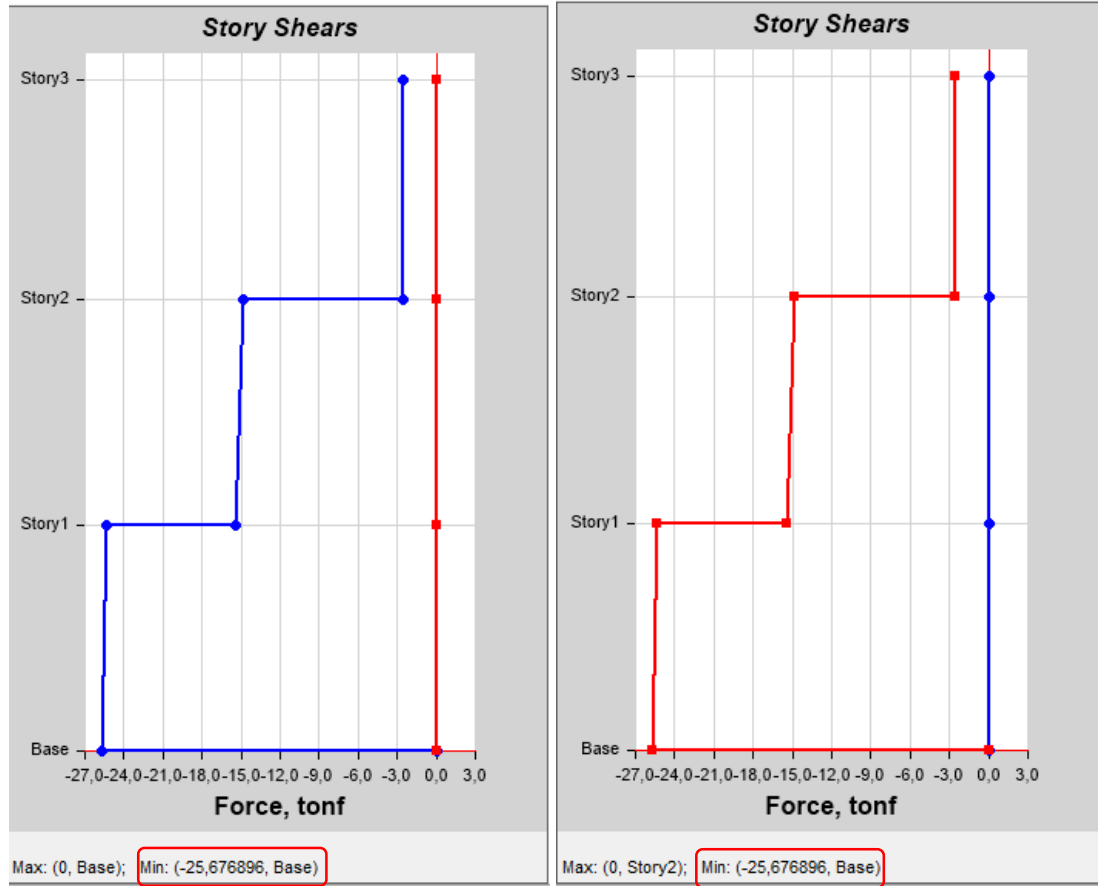
Fuente: Etabs 2016.V16

Figura 48. Cortante dinámico para el Espectro Determinista X e Y. Estructura de 2 pisos (ton)



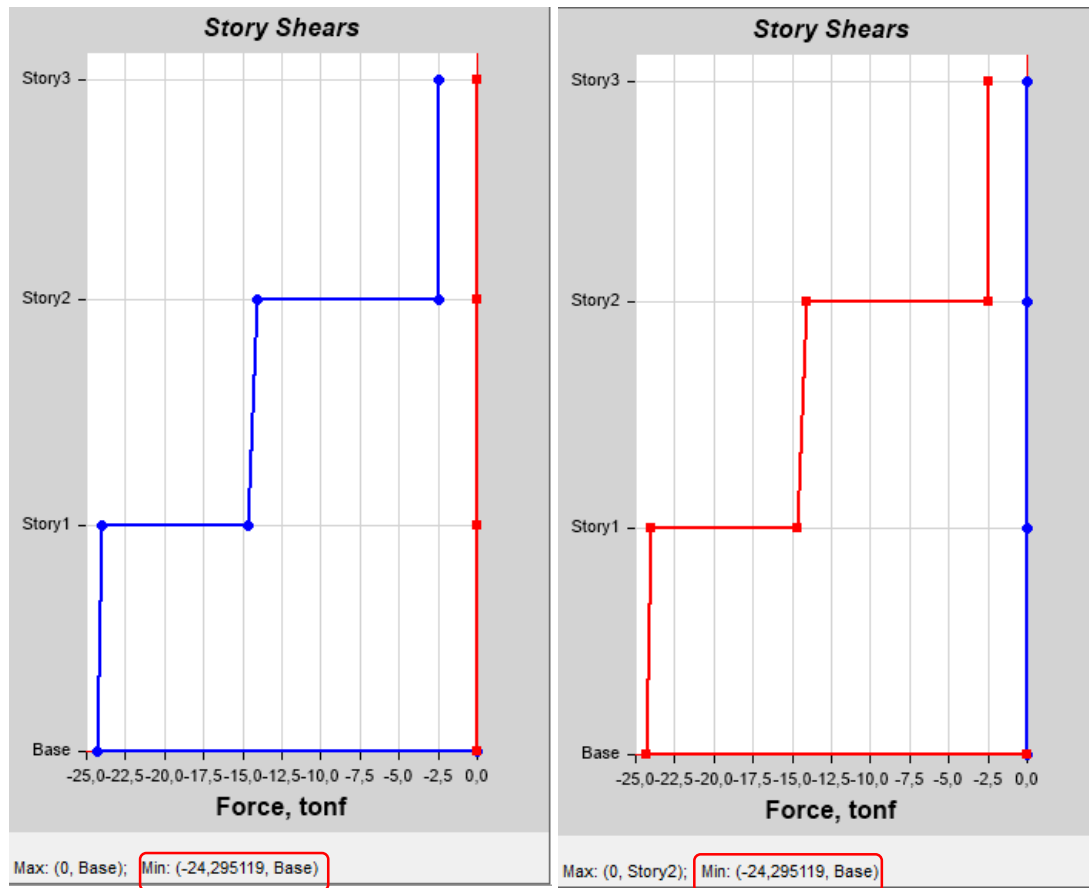
Fuente: Etabs 2016.V16

Figura 49. Cortante estático para el Espectro NEC-2015 X e Y. Estructura de 2 pisos (ton)



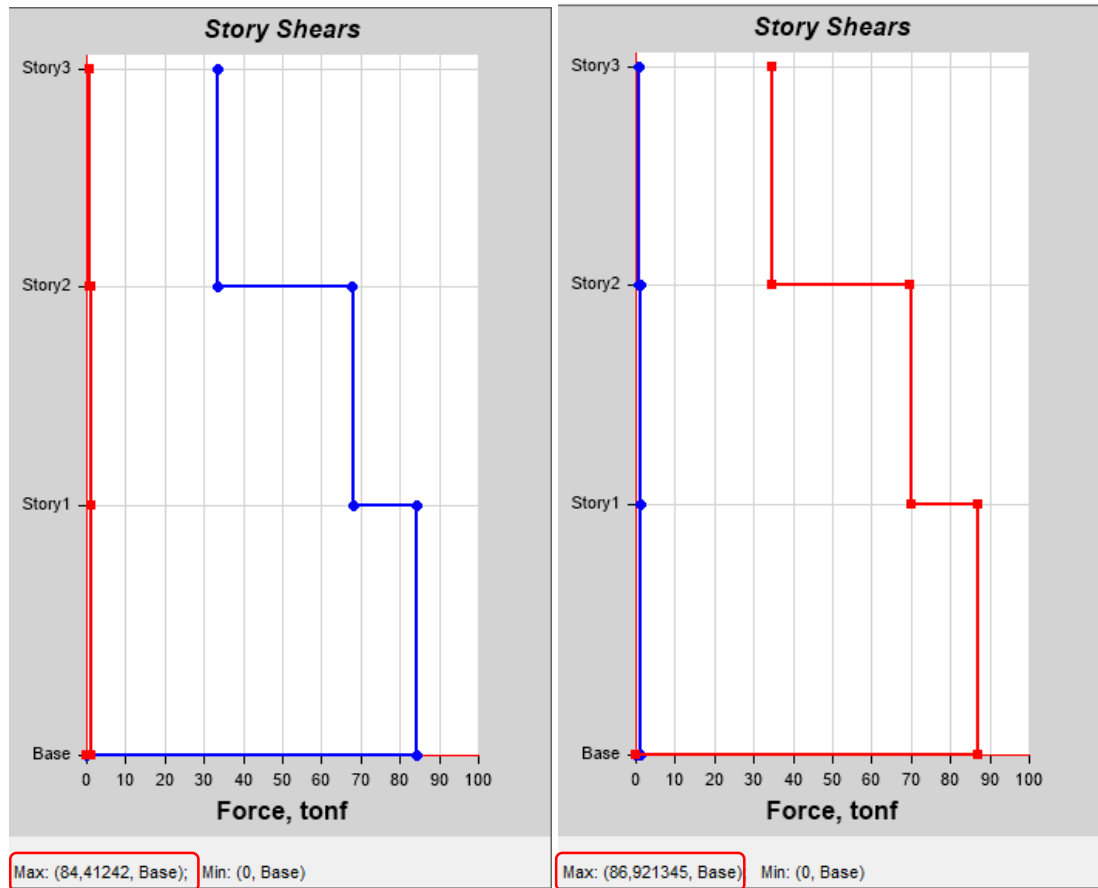
Fuente: Etabs 2016.V16

Figura 50. Cortante estático para el Espectro Determinista X e Y. Estructura de 2 pisos (ton)



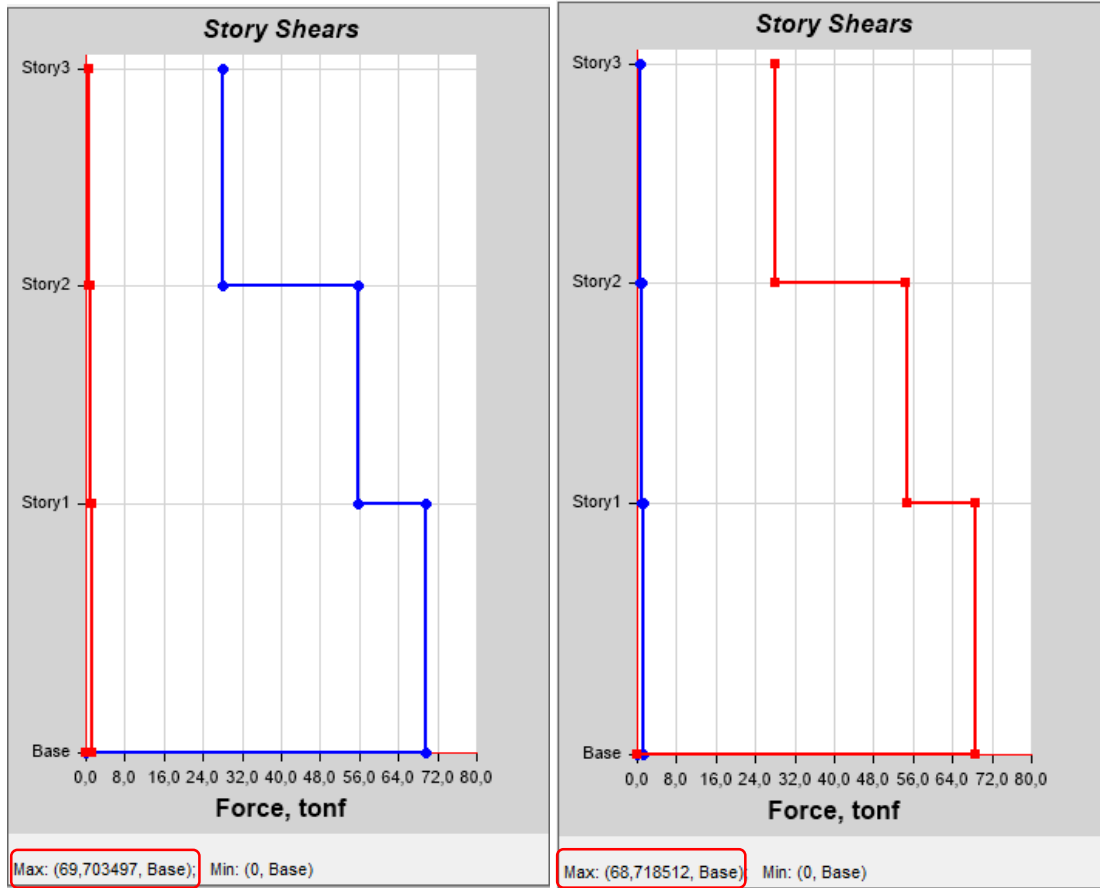
Fuente: Etabs 2016.V16

Figura 51. Cortante dinámico para el Espectro NEC-2015 X e Y. Estructura de 3 pisos (ton)



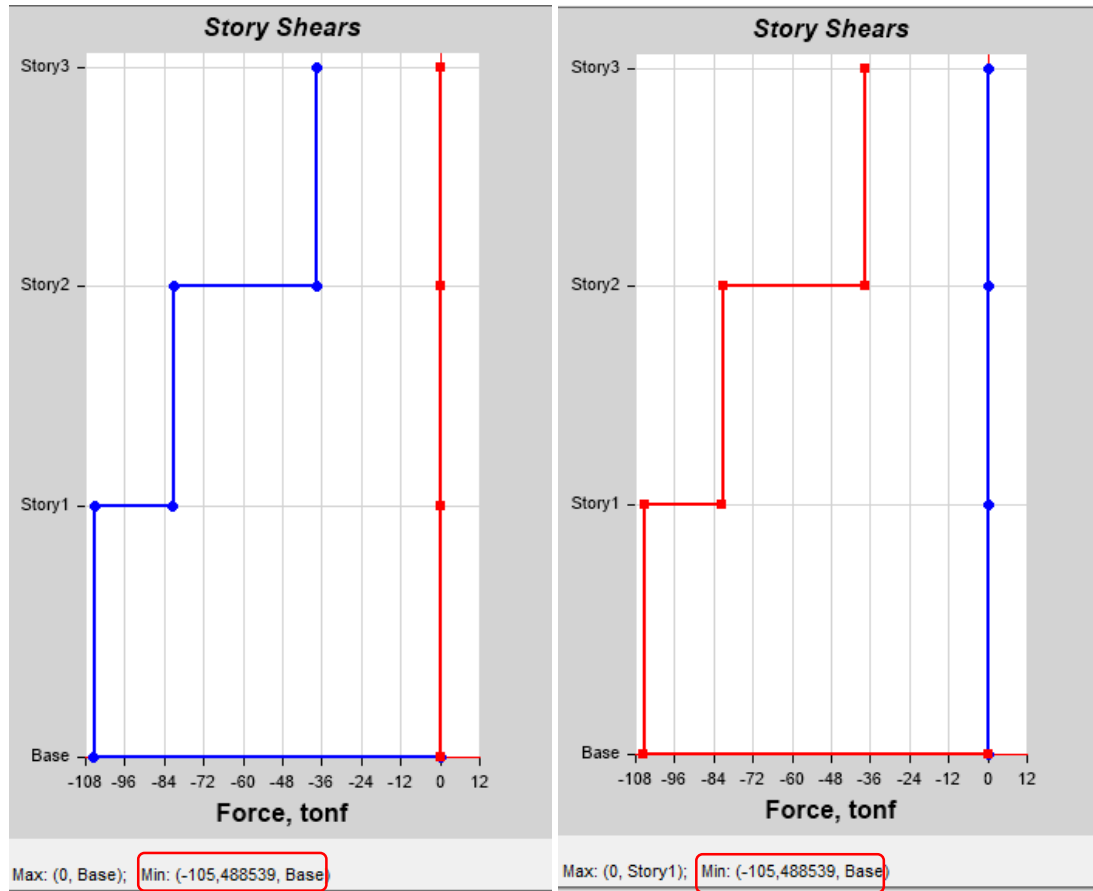
Fuente: Etabs 2016.V16

Figura 52. Cortante dinámico para el Espectro Determinista X e Y. Estructura de 3 pisos (ton)



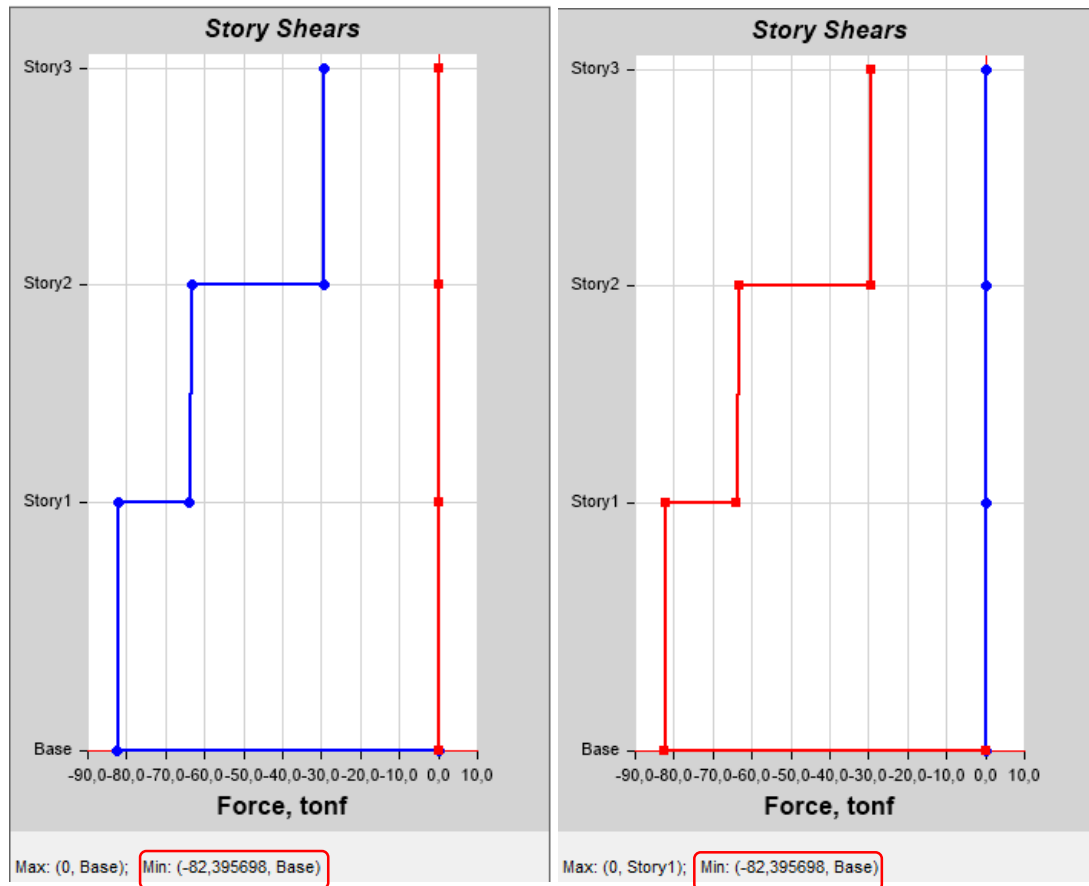
Fuente: Etabs 2016.V16

Figura 53. Cortante estático para el Espectro NEC-2015 X e Y. Estructura de 3 pisos (ton)



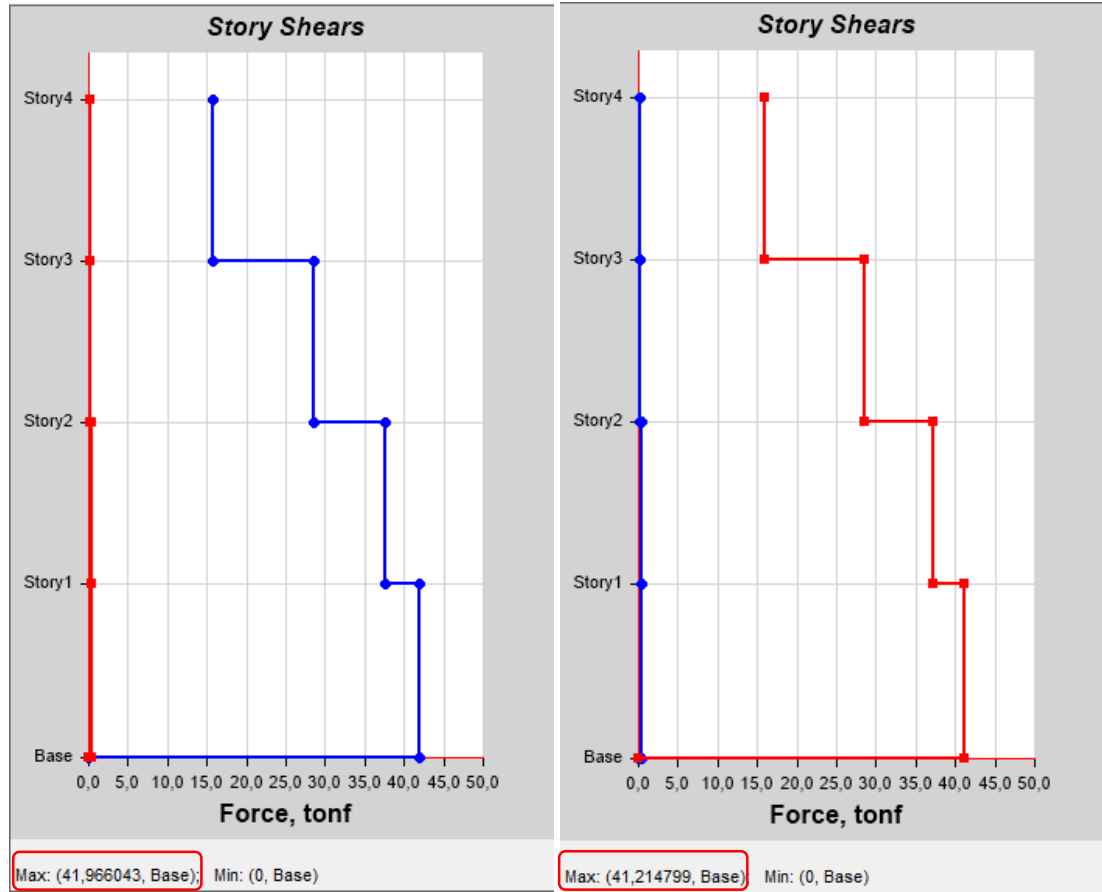
Fuente: Etabs 2016.V16

Figura 54. Cortante estático para el Espectro Determinista X e Y. Estructura de 3 pisos (ton)



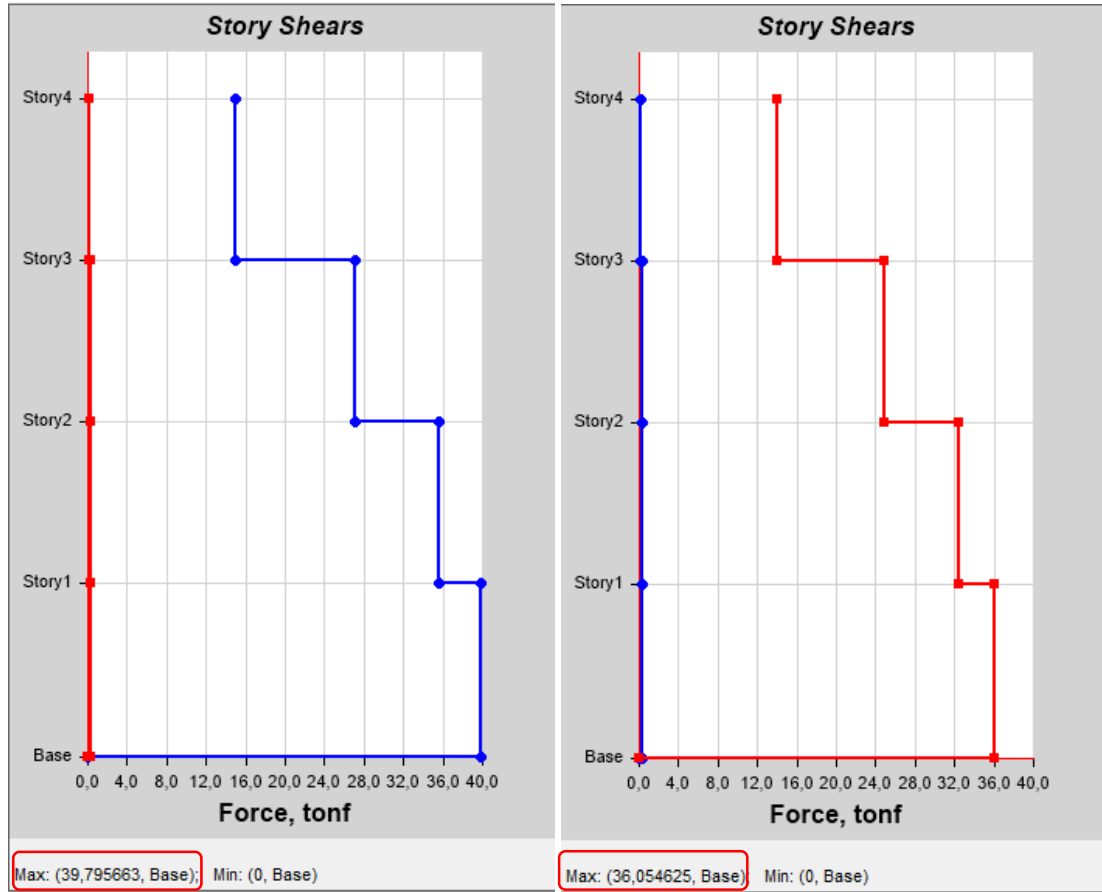
Fuente: Etabs 2016.V16

Figura 55. Cortante dinámico para el Espectro NEC-2015 X e Y. Estructura de 4 pisos (ton)



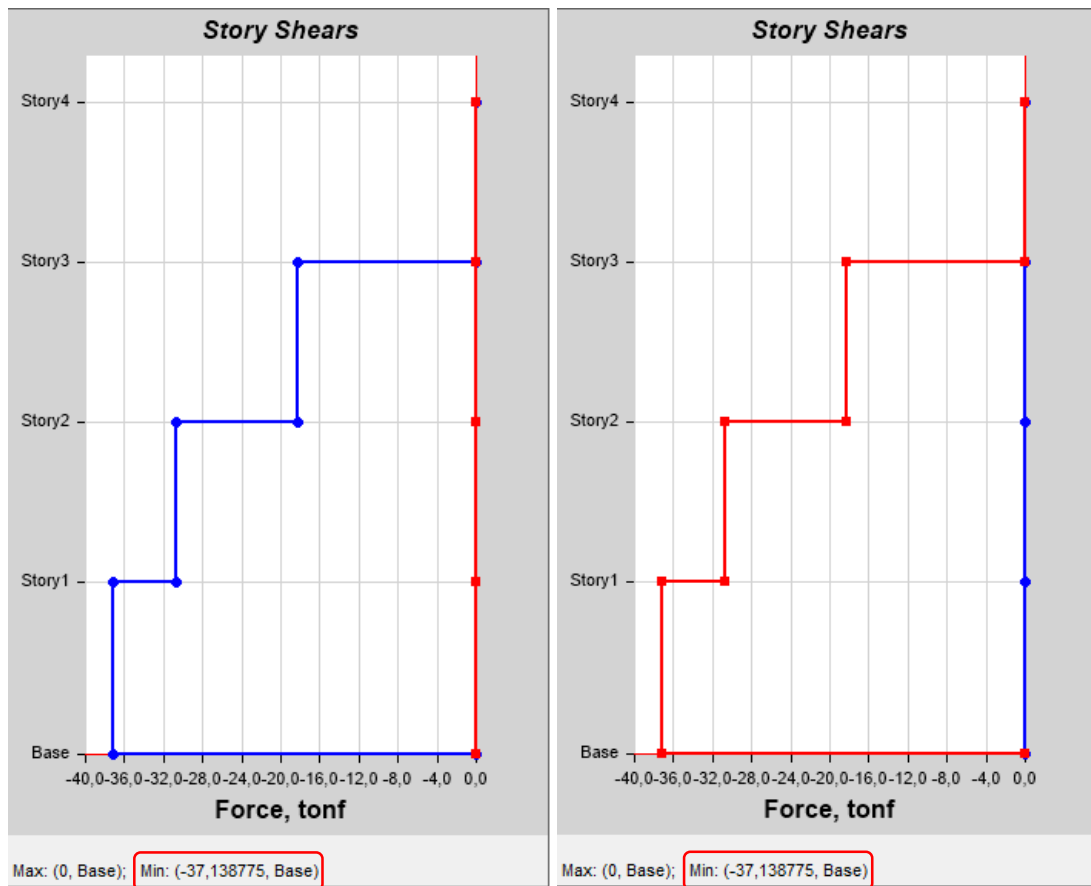
Fuente: Etabs 2016.V16

Figura 56. Cortante dinámico para el Espectro Determinista X e Y. Estructura de 4 pisos (ton)



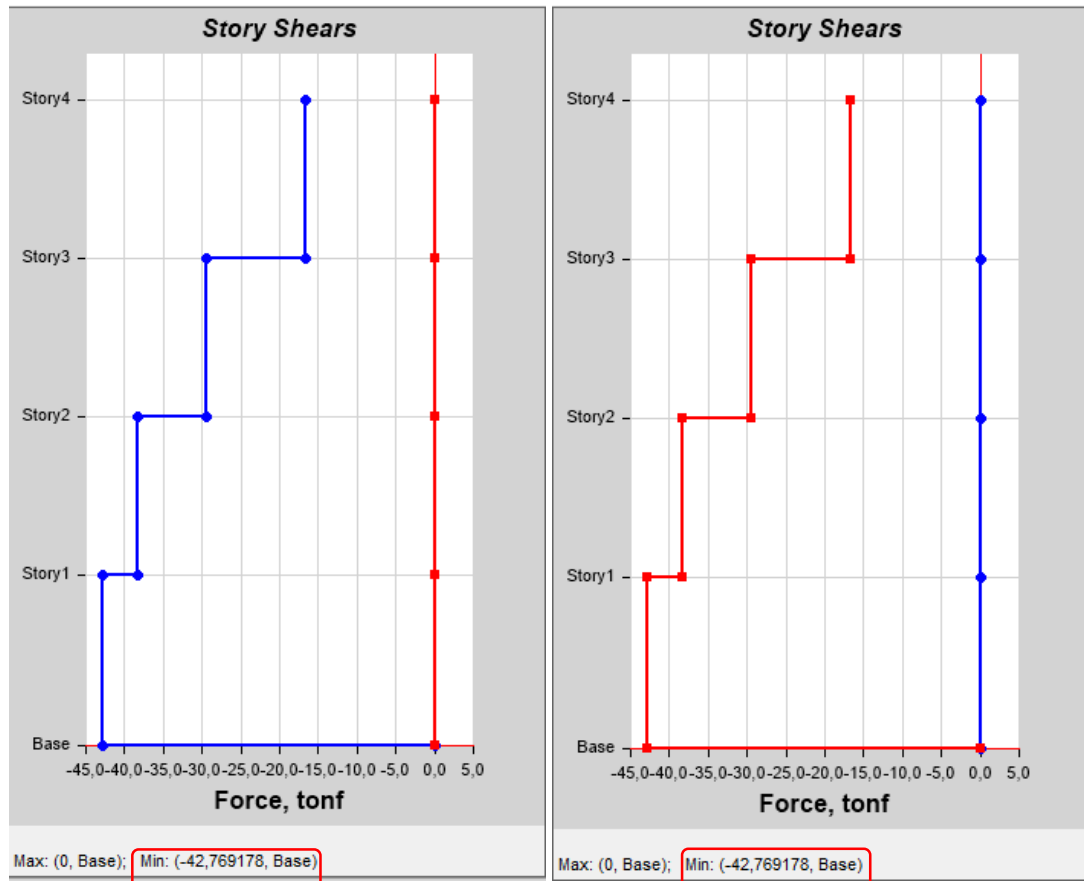
Fuente: Etabs 2016.V16

Figura 57. Cortante estático para el Espectro NEC-15 X e Y. Estructura de 4 pisos (ton)



Fuente: Etabs 2016.V16

Figura 58. Cortante estático para el Espectro NEC-15 X e Y. Estructura de 4 pisos (ton)



Fuente: Etabs 2016.V16

Tabla 53. Relación del cortante dinámico vs estático para la validación de análisis dinámico y sus valores para las correcciones (ton, %)

ESTRUCTURA DE 2 PISOS								
ESPECTROS	Sentido X				Sentido Y			
	V estatico	V dinámico	V din/V est	Corrección	V estatico	V dinámico	V din/V est	Corrección
NEC-15	25,68	20,8	80,996885	1,05	25,68	22,38	87,149533	-
DETERMINISTA	24,3	19,78	81,399177	1,05	24,3	21,17	87,119342	-
ESTRUCTURA DE 3 PISOS								
ESPECTROS	Sentido X				Sentido Y			
	V estatico	V dinámico	V din/V est	Corrección	V estatico	V dinámico	V din/V est	Corrección
NEC-15	105,49	84,41	80,017063	1,0623	105,49	86,92	82,396436	1,032
DETERMINISTA	82,4	69,7	84,587379	1,005	82,4	68,72	83,398058	1,02
ESTRUCTURA DE 4 PISOS								
ESPECTROS	Sentido X				Sentido Y			
	V estatico	V dinámico	V din/V est	Corrección	V estatico	V dinámico	V din/V est	Corrección
NEC-15	37,14	41,97	113,00485	-	37,14	41,21	110,95854	-
DETERMINISTA	42,77	39,8	93,05588	-	42,77	36,05	84,288052	1,0085

Elaborado por: David Jijón.

Como se puede observar en la tabla anterior la estructura de 2 pisos en el sentido X, la de 3 pisos en sentido X e Y y la de 4 pisos en el sentido Y no cumple con la normativa, por lo tanto, se debe realizar la corrección con el factor respectivo como se muestra en dicha tabla.

Una vez realizadas las correcciones necesarias para cumplir con la normativa, se obtuvieron los siguientes porcentajes de cortante basal

Tabla 54. Relación del cortante dinámico vs estático corregido para la validación de análisis dinámico (ton, %)

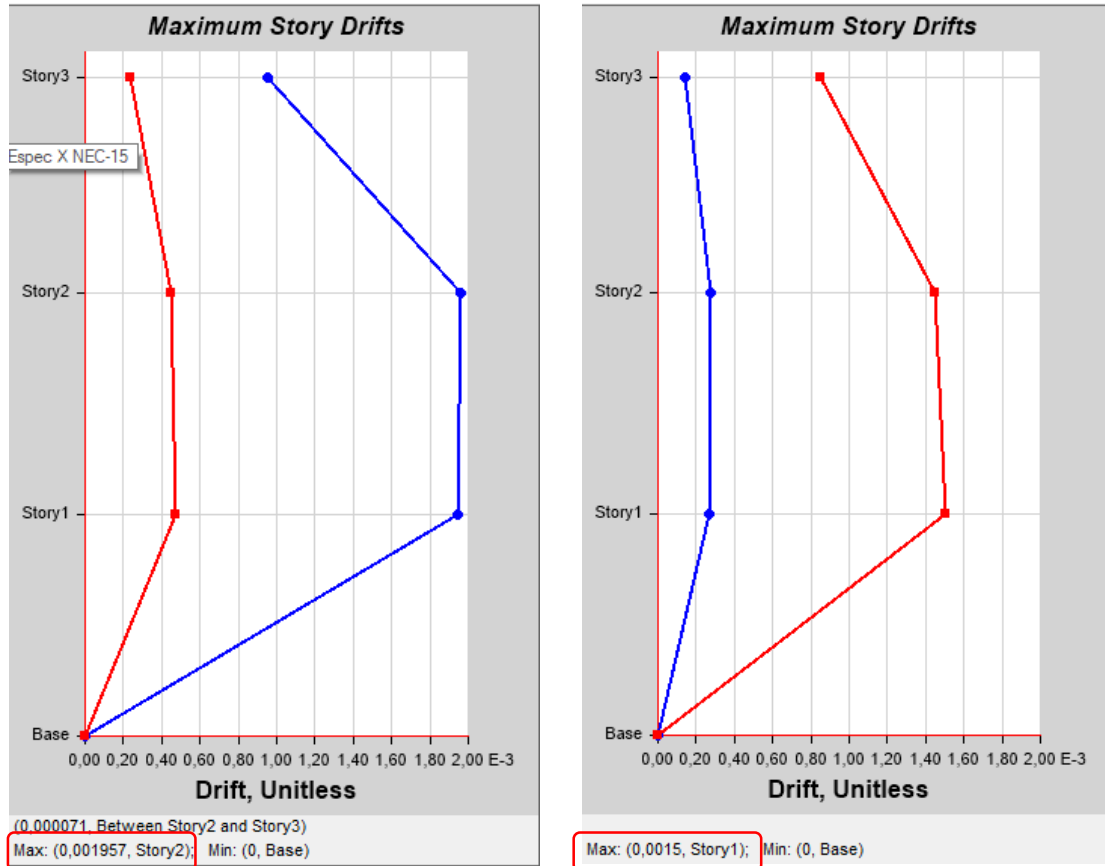
ESTRUCTURA DE 2 PISOS								
ESPECTROS	Sentido X				Sentido Y			
	V estatico	V dinámico	V din/V est	Corrección	V estatico	V dinámico	V din/V est	Corrección
NEC-15	25,68	21,84	85,046729	-	25,68	22,38	87,149533	-
DETERMINISTA	24,3	20,77	85,473251	-	24,3	21,17	87,119342	-
ESTRUCTURA DE 3 PISOS								
ESPECTROS	Sentido X				Sentido Y			
	V estatico	V dinámico	V din/V est	Corrección	V estatico	V dinámico	V din/V est	Corrección
NEC-15	105,49	89,67	85,003318	-	105,49	89,7	85,031757	-
DETERMINISTA	82,4	70,05	85,012136	-	82,4	70,09	85,06068	-
ESTRUCTURA DE 4 PISOS								
ESPECTROS	Sentido X				Sentido Y			
	V estatico	V dinámico	V din/V est	Corrección	V estatico	V dinámico	V din/V est	Corrección
NEC-15	37,14	41,97	113,00485	-	37,14	41,21	110,95854	-
DETERMINISTA	42,77	39,8	93,05588	-	42,77	36,36	85,012859	-

Elaborado por: David Jijón.

4.2.7.4.6. Derivas de piso dinámicas

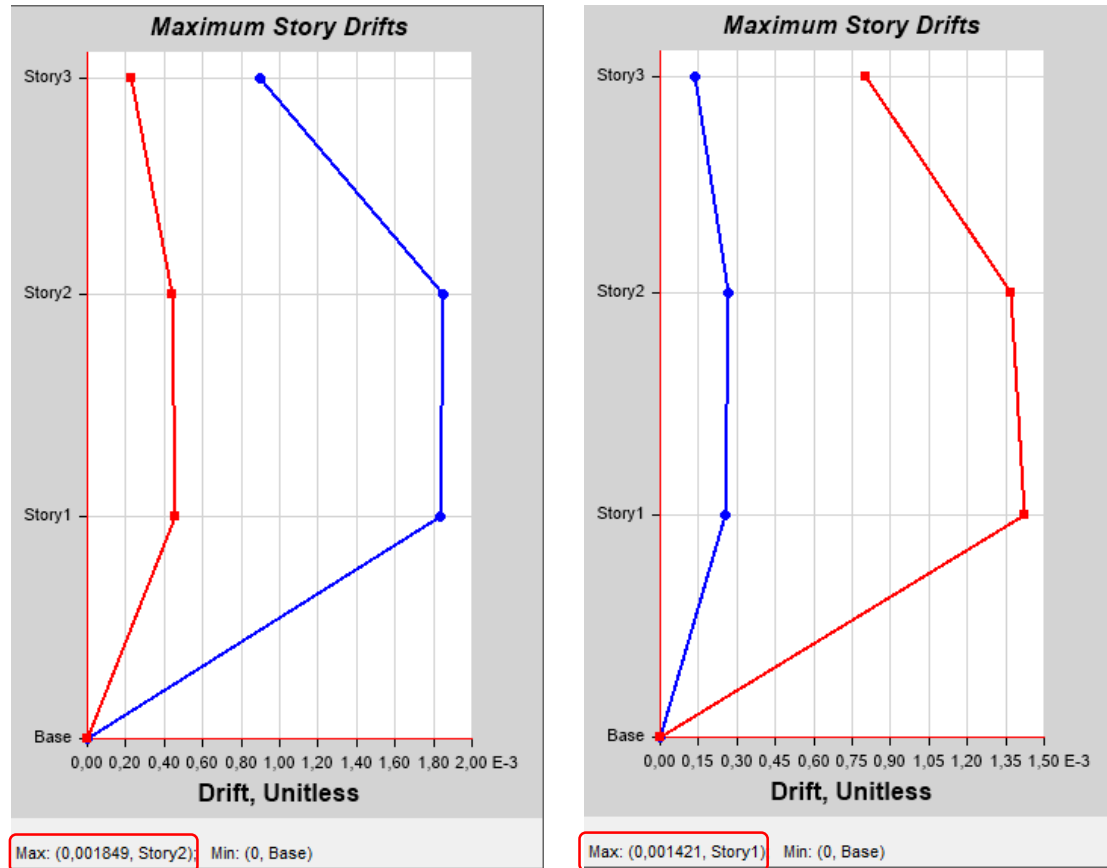
En las siguientes tablas se muestran las derivas dinámicas tanto de X como Y para todas las estructuras.

Figura 59. Derivas elásticas dinámicas del Espectro NEC 2015 en el sentido X e Y estructura de 2 pisos.



Fuente: Etabs 2016 v16.

Figura 60. Derivas elásticas dinámicas del Espectro Determinista en el sentido X e Y estructura de 2 pisos.



Fuente: Etabs 2016 v16.

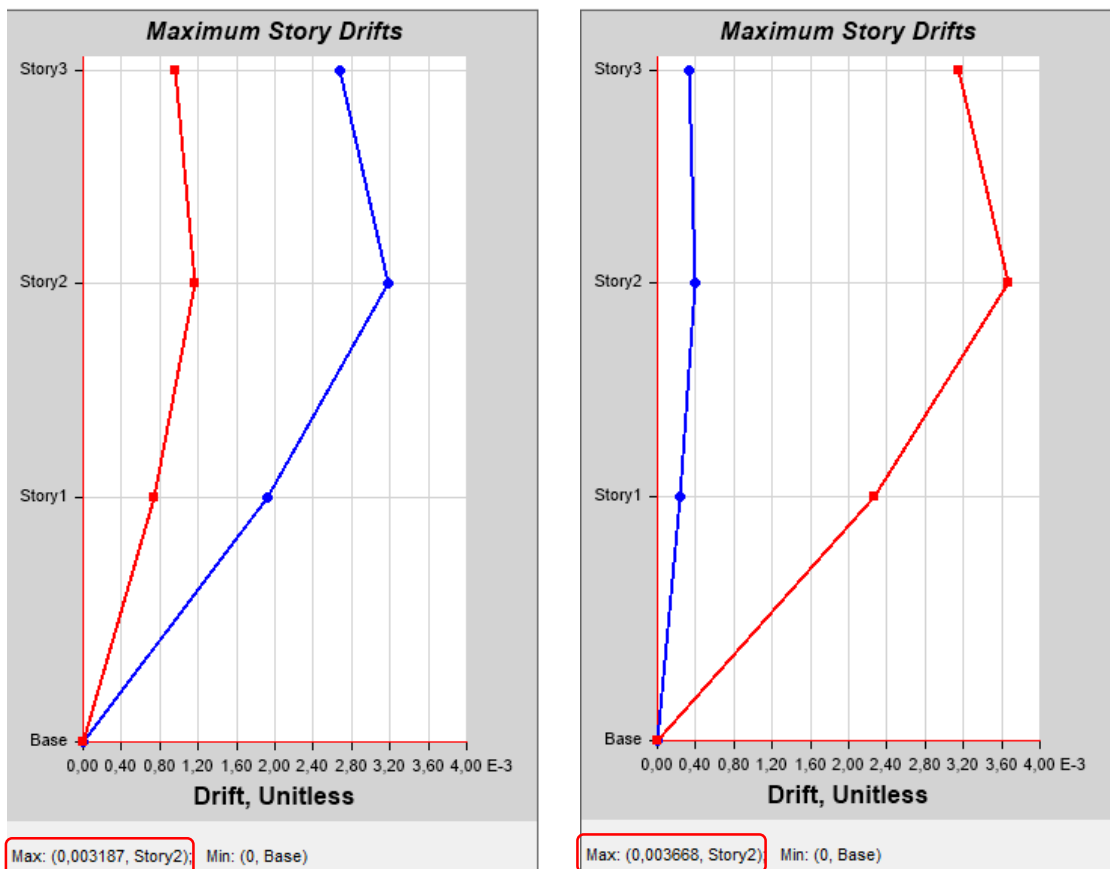
Tabla 55. Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas estructura de 2 pisos

NEC-2015				
PISO	Deriva Elástica ΔE		Deriva Elástica ΔM	
	X	Y	X (%)	Y (%)
3	0,000953	0,000851	0,5718	0,5106
2	0,001957	0,001448	1,1742	0,8688
1	0,001946	0,0015	1,1676	0,9
0	0	0	0	0

ESPECTRO DETERMINISTA				
PISO	Deriva Elástica ΔE		Deriva Elástica ΔM	
	X	Y	X (%)	Y (%)
3	0,000899	0,000804	0,5394	0,4824
2	0,001849	0,001371	1,1094	0,8226
1	0,001838	0,001421	1,1028	0,8526
0	0	0	0	0

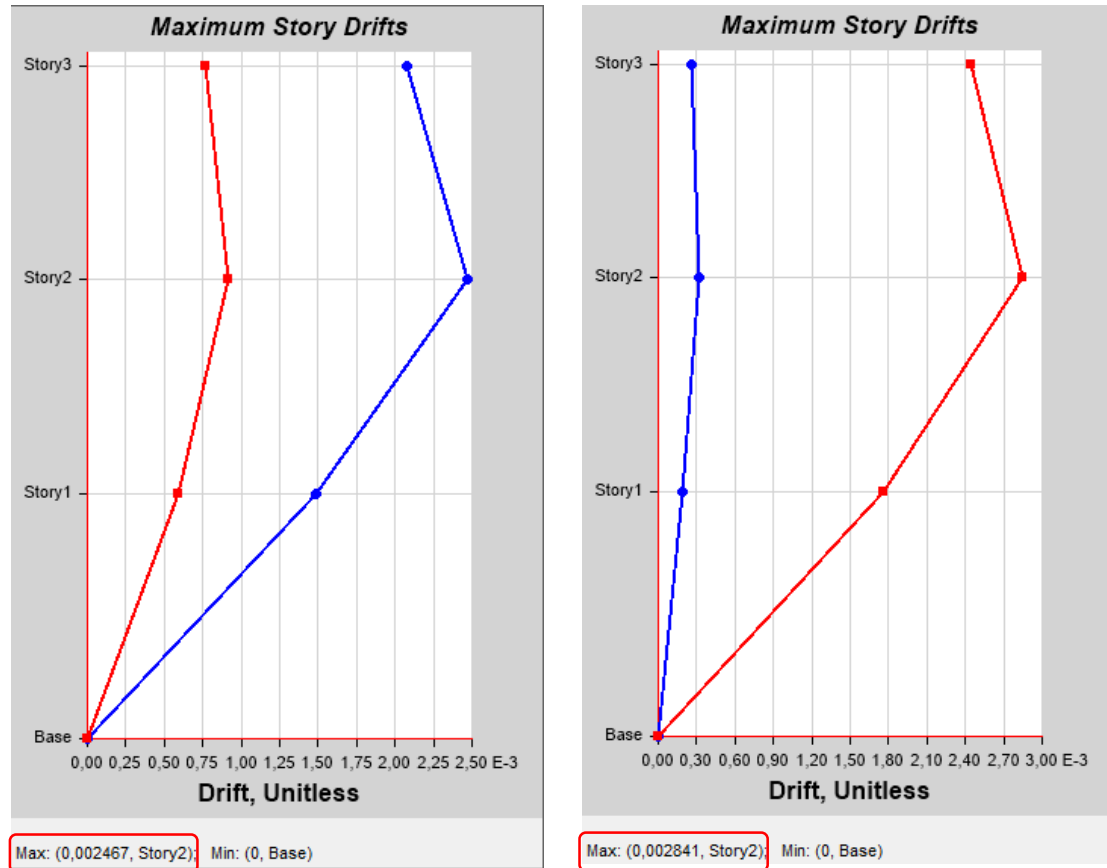
Elaborado por: David Jijón.

Figura 61. Derivas elásticas dinámicas del Espectro NEC 2015 en el sentido X e Y estructura de 3 pisos.



Fuente: Etabs 2016 v16.

Figura 62. Derivas elásticas dinámicas del Espectro Determinista en el sentido X e Y estructura de 3 pisos.



Fuente: Etabs 2016 v16.

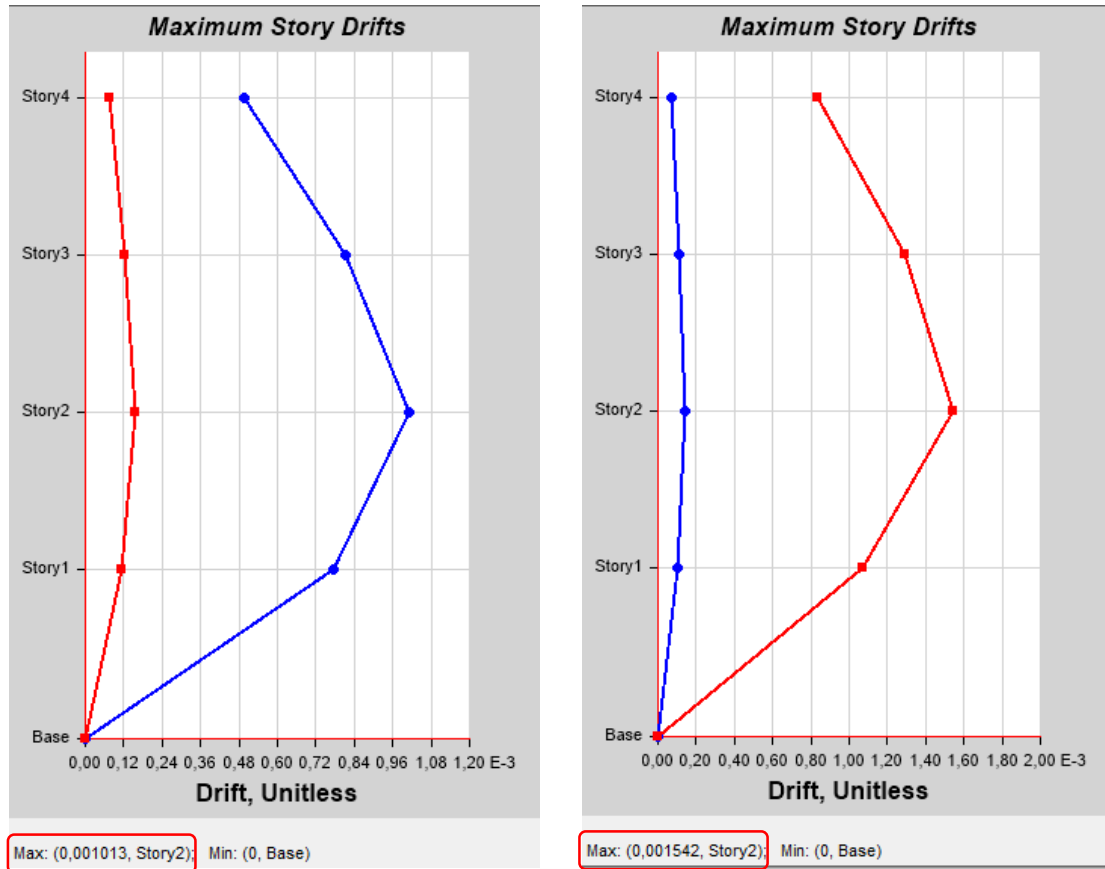
Tabla 56. Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas estructura de 3 pisos

NEC-2015				
PISO	Deriva Elástica ΔE		Deriva Elástica ΔM	
	X	Y	X (%)	Y (%)
3	0,002683	0,003151	1,6098	1,8906
2	0,003187	0,003668	1,9122	2,2008
1	0,001919	0,002273	1,1514	1,3638
0	0	0	0	0

ESPECTRO DETERMINISTA				
PISO	Deriva Elástica ΔE		Deriva Elástica ΔM	
	X	Y	X (%)	Y (%)
3	0,002081	0,002449	1,2486	1,4694
2	0,002467	0,002841	1,4802	1,7046
1	0,001487	0,001763	0,8922	1,0578
0	0	0	0	0

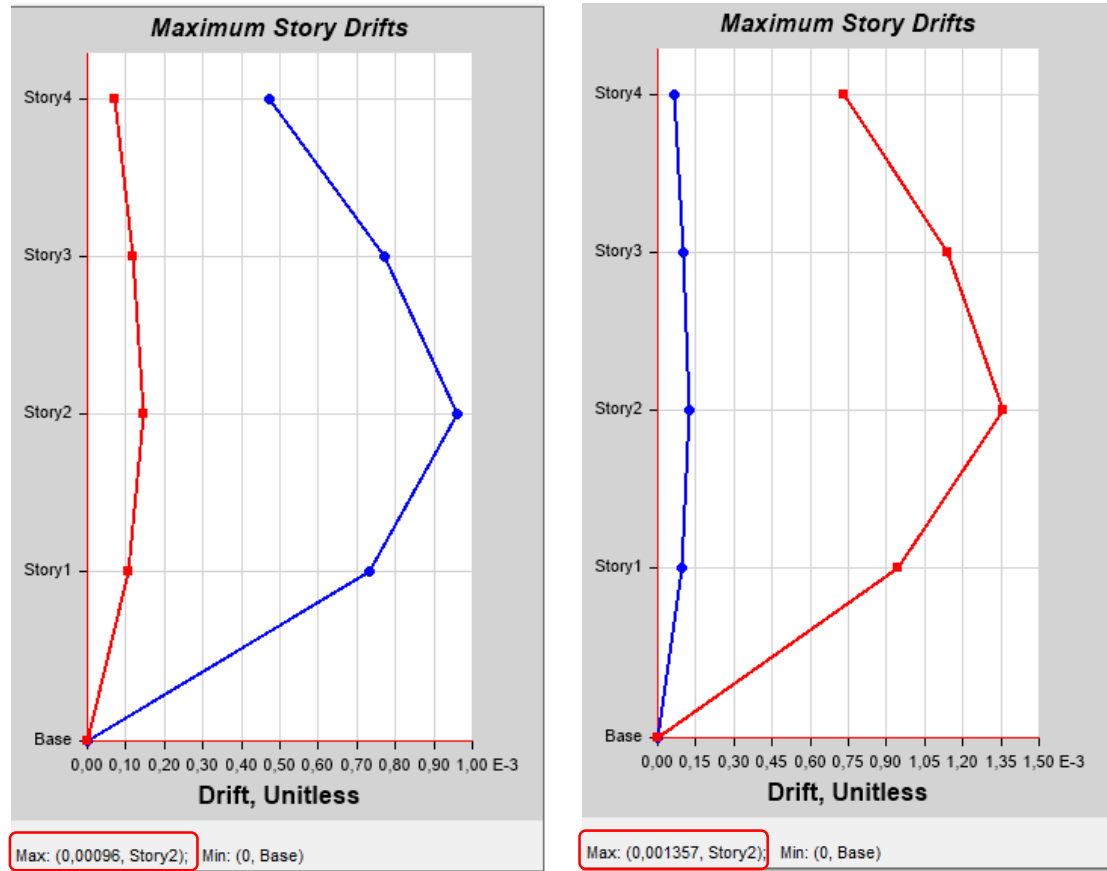
Elaborado por: David Jijón.

Figura 63. Derivas elásticas dinámicas del Espectro NEC 2015 en el sentido X e Y estructura de 4 pisos.



Fuente: Etabs 2016 v16.

Figura 64. Derivas elásticas dinámicas del Espectro Determinista en el sentido X e Y estructura de 4 pisos.



Fuente: Etabs 2016 v16.

Tabla 57. Transformación de derivas elásticas a derivas inelásticas estructura de 4 pisos

NEC-2015				
PISO	Deriva Elástica ΔE		Deriva Inelástica ΔM	
	X	Y	X (%)	Y (%)
4	0,000498	0,000832	0,2988	0,4992
3	0,000814	0,001294	0,4884	0,7764
2	0,001013	0,001542	0,6078	0,9252
1	0,000773	0,00107	0,4638	0,642
0	0	0	0	0

ESPECTRO DETERMINISTA				
PISO	Deriva Elástica ΔE		Deriva Inelástica ΔM	
	X	Y	X (%)	Y (%)
4	0,000472	0,000735	0,2832	0,441
3	0,000772	0,00114	0,4632	0,684
2	0,00096	0,001357	0,576	0,8142
1	0,000733	0,000943	0,4398	0,5658
0	0	0	0	0

Elaborado por: David Jijón.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las derivas elásticas estáticas máximas obtenidas del Etabs 2016.

Tabla 58. Tabla Resumen de las Derivas elásticas estáticas máximas.

ESTRUCTURA DE 2 PISOS				
ESPECTROS	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	ΔM (%)	ΔE	ΔM (%)
NEC-15	0,001957	1,1742	0,0015	0,9
DETERMINISTA	0,001849	1,1094	0,001421	0,8526
ESTRUCTURA DE 3 PISOS				
ESPECTROS	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	ΔM (%)	ΔE	ΔM (%)
NEC-15	0,003187	1,9122	0,003668	2,2008
DETERMINISTA	0,002467	1,4802	0,002841	1,7046
ESTRUCTURA DE 4 PISOS				
ESPECTROS	Sentido X		Sentido Y	
	ΔE	ΔM (%)	ΔE	ΔM (%)
NEC-15	0,001013	0,6078	0,001542	0,9252
DETERMINISTA	0,00096	0,576	0,001357	0,8142

Elaborado por: David Jijón.

Como se muestra en la tabla anterior las derivas en el sentido X no tiene problema por lo que no superan el 2% que nos dice la norma, en tanto en el sentido Y solamente la estructura de 3 pisos presentan una deriva mayor al 2% en el espectro NEC-15 lo que nos dice que según este espectro la estructura es muy ductil.

4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.

De acuerdo a la hipótesis planteada anteriormente en esta investigación “El estudio de Peligro Sísmico Determinista influye en el cálculo del espectro de respuesta determinista y comparación con el espectro de la NEC 2015 (Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015)” se determinó que la envolvente de los espectros de aceleración calculados mediante las ecuaciones de atenuación genera mayores aceleraciones y supera al espectro de la norma en un intervalo de periodos de vibración de 0.15 a 0.30, 1.5 a 2.5 y 2.8 a 3.30 segundos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- La velocidad media de la onda de cortante en base a la teoría de Sykora & Stoke (1983) es de 316.32 m/s, lo que da como resultado que el sector en estudio tiene un suelo que corresponde al perfil tipo D.
- La falla geológica cercana de mayor magnitud de momento calculada es la de Totoras con Mw: 6.52 y una distancia de 3.26 km, pero las fallas que presentan mayor respuesta sísmica son las de Ambato por estar más próxima al lugar de estudio, y la falla de subducción que tiene registrada una Mw: 8.9 por su mayor longitud.
- En la tabla comparativas de todos los modelos y fallas se obtuvo un valor 50% de aceleraciones máximas que ocurren en un periodo de 0.3 seg. lo que nos indica que las estructuras que se encuentren en este rango de periodo son las más susceptibles a sufrir daños.
- De los porcentajes obtenidos según la variación de la aceleración respecto a valores establecidos por la NEC-15 se observó que para la falla Ambato el espectro establecido por la norma con una aceleración de 1.24 g en 0.30 seg. supera al modelo Akkar y Bommer con una aceleración de 1.21 g en 0.30 seg. en 2.42%, lo que indica que estructuras que se encuentren en este rango de periodo son las más susceptibles a sufrir daños.
- De los porcentajes obtenidos según la variación de la aceleración respecto a valores establecidos por la NEC-15 se observó que para la falla Huachi el espectro establecido por la norma con una aceleración de 1.24 g en 0.30 seg. supera al modelo Akkar y Bommer con una aceleración de 1.07 g en 0.30 seg. en 13.71%, lo que indica que estructuras que se encuentren en este rango de periodo son las más susceptibles a sufrir daños.
- De los porcentajes obtenidos según la variación de la aceleración respecto a valores establecidos por la NEC-15 se observó que para la falla Totoras el espectro

establecido por la norma con una aceleración de 1.24 g en 0.30 seg. supera al modelo Akkar y Bommer con una aceleración de 1.20 g en 0.30 seg. en 3.23%, lo que indica que estructuras que se encuentren en este rango de periodo son las más susceptibles a sufrir daños.

- De los porcentajes obtenidos según la variación de la aceleración respecto a los valores establecidos por la NEC-15, se observó que para la falla Samanga el modelo que predomina es el de Kanno, con una aceleración de 1.40 g para un período de 0.22 (s), el mismo que supera la aceleración máxima de la normativa en un 11.43%, lo que indica que estructuras que se encuentren en este rango de periodo son las más susceptibles a sufrir daños.
- De los porcentajes obtenidos según la variación de la aceleración respecto a valores establecidos por la NEC-15 se observó que para la falla de Subducción el espectro establecido por la norma con una aceleración de 1.24 g en 0.30 seg. supera al modelo de Youngs con una aceleración de 0.85 g en 0.30 seg. en 31.45%, lo que indica que estructuras que se encuentren en este rango de periodo son las más susceptibles a sufrir daños.
- El Espectro Específico Determinista tiene valores superiores de aceleración (S_a) en comparación con el espectro dado por la NEC-15, ya que nos dio una aceleración de 1.40 g para estructuras que tengan un período fundamental de vibración dentro de un intervalo de 0.15 a 0.30 segundos, de igual manera en intervalos de 1.5 a 2.5 y 2.8 a 3.30 segundos, llegando a una aceleración de 0.52g. De acuerdo a este dato las estructuras más vulnerables son estructuras pequeñas que se encuentran en el rango de 2 a 3 pisos.
- Todas las estructuras muestran resultados mayores derivas de piso al ser analizadas con el espectro NEC-15 dado a que los valores de aceleración no se encuentran en el rango de periodos en el que el espectro Determinista supera al de la establecido por la normativa, los cuales son 0.15 seg – 0.33 seg respectivamente.
- En las tres estructuras analizadas la única estructura que tuvo mayor deriva estática y dinámica al establecido por la norma fue la de 3 pisos y solamente en el sentido Y ya que los resultados de las derivas son del 2.15% y 2.20% respectivamente.

- Una vez hecho el análisis y corrección de los cortantes dinámicos y estáticos del Espectro Determinista y NEC-15 en todas las estructuras se llegó a obtenerlos resultados para estructuras irregulares establecidos por la norma.
- En todas las estructuras el espectro que domino fue el de la NEC-15 debido a los periodos de vibración resultantes que no se encuentran dentro del rango critico dado por el espectro Determinista.
- Todas las estructuras fueron modeladas con las medidas reales y tomadas en campo y no presentaron torsión en planta.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es importante que Ambato cuente con un mapa de microzonificación sísmica de acuerdo a la NEC-15, además de que cuando se vaya a realizar nuevas edificaciones realizar un diseño sismo resistente de acuerdo a la NEC vigente en el momento y compararlo con un espectro determinístico.
- Al pasar el tiempo se siguen generando nuevos modelos para interpretar el movimiento de los suelos, se debe usar estos avances científicos para el uso en Ecuador.
- En la ciudad de Ambato se debe seguir con estudios acerca de las fallas geológicas corticales para poder tener mayor información acerca de ellas y poder tener mejores resultados en cuanto a la construcción de edificaciones.
- En cuanto a estructuras ya construidas es recomendable realizar la evaluación de desempeño estructural verificando con el espectro determinístico.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFIA:

- [1] I. J. F. I. E. J. I. T. V. I. F. A. Ing. Jorge Valverde, «Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito,» [En línea]. Available: <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/51553.pdf>.
- [2] R. A. Falconí, «Microzonificación Sísmica de Quito primera edición,» agosto 2013. [En línea]. Available: http://ugi.espe.edu.ec/ugi/wp-content/uploads/2013/11/2013_lib_raguiar_1.pdf.
- [3] Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015.
- [4] «Wikipedia. Cinturón de Fuego del Pacífico,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Cintur%C3%B3n_de_Fuego_del_Pac%C3%ADfico.
- [5] Telesur, «12 terremotos más impactantes en América,» [En línea]. Available: <https://www.telesurtv.net/news/12-terremotos-mas-impactantes-en-America-Latina-20170921-0019.html>.
- [6] P. Q. y. E. Reinoso, «Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca,» Revista de Ingeniería Sísmica, 2016. [En línea]. Available: <http://ww.scielo.org.mx/pdf/ris/n94/0185-092X-ris-94-00001.pdf>.
- [7] E. Comercio, «Riesgo Sísmico,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.elcomercio.com/opinion/editorial/riesgo-sismico.html>.
- [8] L. Hora, «Ambato Necesita identificar zonas de alto riesgo,» 2002. [En línea]. Available: <https://lahora.com.ec/noticia/1000077460/ambato-necesita-identificar-zonas-de-alto-riesgo>.
- [9] «EDUCACIÓN SECUNDARIA PARA PERSONAS ADULTAS NIVEL I, Estructura de la Tierra,» [En línea]. Available: http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/14003551/moodle/file.php/1/RECURSOS_ACTEC/NIVEL_I/BLOQUE_1/Tema_2-Estructura_de_la_Tierra.pdf.
- [10] M. Rodríguez, «Tectónica de Placas,» [En línea]. Available: <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/BioMarina/02.pdf>.

- [11] «Deriva Continental y Tectónica de Placas 2002/2003,» [En línea]. Available: <http://delegacion.topografia.upm.es/wp-content/uploads/2016/03/Teoria-Tectonica-placas.pdf>.
- [12] «Fallas Geológicas, INPRES,» [En línea]. Available: <http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>.
- [13] G. H. Ortiz, «Conceptos básicos sobre terremotos y las causas que lo originan, proyecto de prevención y mitigación del riesgo en el colegio Nicolás Gómez Dávila I.E.D,» [En línea]. Available: <http://bdigital.unal.edu.co/12146/1/gerardohernandezortiz.2012.pdf>.
- [14] G. D. ESCOBAR, «Manual de Geología para Ingenieros,» [En línea]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/324/sismos.pdf>.
- [15] SERGISAI, «Aspectos Generales del Riesgo Sísmico,» [En línea]. Available: https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6222/03CAPITULO_2.pdf.
- [16] «Análisis de Peligro Sísmico y vulnerabilidad,» [En línea]. Available: <https://www.sedapar.com.pe/wp-content/uploads/2018/02/3.ANALISIS-DE-RIESGO-SISMICO-Y-VULNERABILIDAD-1.pdf>.
- [17] L. T. A., «Análisis de las ecuaciones de predicción de movimientos de suelo para el Ecuador utilizando datos registrados durante el periodo 2000-2011 en estaciones sísmicas de banda ancha y acelerógrafos,» [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6447/1/CD-4961.pdf>.
- [18] V. Schmidt-Díaz, «Revista Geológica de América Central,» [En línea]. Available: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/viewFile/15106/14397>.
- [19] «Servicio Sismológico de México,» [En línea]. Available: <http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Magnitud-de-un-sismo.pdf>.
- [20] K. J. C. Donald L. Wells, «Bulletin of the Seismological Society of America, » [En línea]. Available: <http://seismo.berkeley.edu/~rallen/teaching/eps256-s07/WellsCoppersmith1994.pdf>.
- [21] «Enciclopedia Libre,» 06 junio 2017. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Ambato>.
- [22] I. G. E. P. Nacional, «Informa Sísmico para el Ecuador,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.igeppn.edu.ec/inf-sism/sismicosanuales/231--50/file>.

- [23] M. S. A. A. J. E. L. T. S. V. H. Y. Francisco Rivadeneira, «Breves fundamentos sobre los terremotos en Ecuador,» noviembre 2007. [En línea]. Available: <https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file>.
- [24] I. G. d. I. E. P. Nacional, «Instituto Geofísico,» 05 agosto 2013. [En línea]. Available: <https://www.igepn.edu.ec/cayambe/805-terremoto-del-5-de-agosto-de-1949>.
- [25] L. M. T. Acosta, «Escuela Politécnica Nacional,» junio 2013. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6447/1/CD-4961.pdf>.
- [26] S. Quezada, «Clasificación del suelo según SUCS,» [En línea]. Available: <https://www.udocz.com/read/sucs-pdf>.
- [27] A. García, «Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS),» [En línea]. Available: https://www.academia.edu/35178079/Sistema_Unificado_de_Clasificaci%C3%B3n_de_Suelos_SUCS_Pr%C3%A1ctica_4_An%C3%A1lisis_granulom%C3%A9trico_por_mallas.
- [28] INEN, «Scribd,» 05 mayo 2014. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/222136169/689NTE-SPT-pdf>.
- [29] V. S. Díaz, «Determinación del Parámetro VS30,» [En línea].
- [30] S. Lazcano, «Perfiles de velocidad de onda de corte y análisis del comportamiento sísmico,» 14 noviembre 2012. [En línea]. Available: https://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_XXVI_Reunion_Nacional/6_Geotecnia_sismica/I5LADS_1.pdf.
- [31] I. Santibáñez, «Potencial Sismogénico de las Fallas Corticales,» octubre 2015. [En línea]. Available: http://biblioteca.sernageomin.cl/opac/DataFiles/14905_v1_pp_352_354.pdf.
- [32] D. A. G. (. Boore, «Ecuaciones de predicción de movimiento en el suelo para el componente horizontal promedio de PGA, PGV y PSA amortiguado al 5% en períodos espectrales entre 0.01s y 10.0 s.,» [En línea]. Available: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWa13hnuRJxFXrZDu2W5B>.

- [33] S. B. J. (. Akkar, «. Ecuaciones empíricas para la predicción de PGA, PGV y aceleraciones espectrales en Europa, la región mediterránea y Oriente Medio.,» [En línea]. Available: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWa13hnzW5flbESek5QhU>.
- [34] e. a. (. Kanno, «Una nueva relación de atenuación para el movimiento de tierra fuerte en Japón en base a los datos registrados,» [En línea]. Available: https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWa13hn1IXV4-eIrg40_L.
- [35] S. (. Youngs. R. Chiou, «Relaciones de atenuación de movimiento en el suelo para los terremotos de la zona de subducción,» [En línea]. Available: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWa13hn4gnM77MzaKiUEd>.
- [36] e. a. (. Zhao, «Relaciones de atenuación del movimiento del suelo fuerte en Japón usando la clasificación del sitio basada en el período predominante,» [En línea]. Available: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWa13hn8sIjIBi8cjpGfy>.
- [37] M. Palacin, «Scribd,» 12 Julio 2013. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/153471593/Espectros-de-Respuesta>.
- [38] J. S. Díaz, «Visión Geotécnica de la Amenaza Sísmica,» [En línea]. Available: <file:///C:/Users/HP/Downloads/cap%205.%20analisis%20probabilistico.pdf>.
- [39] I. Fernández, «ESTIMACIÓN DETERMINÍSTICA DE LA AMENAZA SÍSMICA,» 2012. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/9708751/Peligro_S%C3%ADsmico_Determin%C3%ADstico?auto=download.
- [40] C. Medina, "Reducción de la Vulnerabilidad en Estructuras Esenciales y Especiales de Hormigón Armado, situadas en zonas de alto peligro sísmico en el Ecuador", Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2016. [En línea]. Available: Disponible en: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rpolit/v40n1/2477-8990-rpolit-40-01-00035.pdf>

2. ANEXOS

ANEXO A



Fotografía 1: Preparación del Equipo SPT



Fotografía 2: Ensayos de campo.



Fotografía 3: Toma de muestras en diferentes estratos.



Fotografía 4: Muestras húmedas puestas al horno.



Fotografía 5: Muestras de suelo secas.



Fotografía 6: Tamizada de las muestras secas.



Fotografía 7: Obtención de pesos del suelo en los diferentes estratos.



Fotografía 8: Estructura de 2 pisos modelada en Etabs 2016.



Fotografía 9: Estructura de 3 pisos modelada en Etabs 2016.



Fotografía 10: Estructura de 4 pisos modelada en Etabs 2016.

ANEXO B

Modelo Boore y Atkinson (2008)

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

PERIODO	blin	b1	b2
PGA	-0,36	-0,64	-0,14
0,01	-0,36	-0,64	-0,14
0,02	-0,34	-0,63	-0,12
0,03	-0,33	-0,62	-0,11
0,05	-0,29	-0,64	-0,11
0,075	-0,23	-0,64	-0,11
0,1	-0,25	-0,60	-0,13
0,15	-0,28	-0,53	-0,18
0,2	-0,31	-0,52	-0,19
0,25	-0,39	-0,52	-0,16
0,3	-0,44	-0,52	-0,14
0,4	-0,50	-0,51	-0,10
0,5	-0,60	-0,50	-0,06
0,75	-0,69	-0,47	0,00
1	-0,70	-0,44	0,00
1,5	-0,72	-0,40	0,00
2	-0,73	-0,38	0,00
3	-0,74	-0,34	0,00
4	-0,75	-0,31	0,00
5	-0,75	-0,29	0,00
7,5	-0,69	-0,25	0,00
10	-0,65	-0,22	0,00

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

B- 2. Coeficientes de escala de distancia (Mref = 4,5 y Rref = 1,0 km para todos los períodos, excepto Rref = 5,0 km para pga4nl)

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

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

B- 3. Coeficientes de escala de magnitud

PERIODO	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	Mh
PGA	-0,53804	-0,5035	-0,75472	-0,5097	0,28805	-0,10164	0	6,75
0,01	-0,52883	-0,49429	-0,74551	-0,49966	0,28897	-0,10019	0	6,75
0,02	-0,52192	-0,48508	-0,73906	-0,48895	0,25144	-0,11006	0	6,75
0,03	-0,45285	-0,41831	-0,66722	-0,42229	0,17976	-0,12858	0	6,75
0,05	-0,28476	-0,25022	-0,48462	-0,26092	0,06369	-0,15752	0	6,75
0,075	0,00767	0,04912	-0,20578	0,02706	0,0117	-0,17051	0	6,75
0,1	0,20109	0,23102	0,03058	0,22193	0,04697	-0,15948	0	6,75
0,15	0,46128	0,48661	0,30185	0,49328	0,1799	-0,14539	0	6,75
0,2	0,5718	0,59253	0,4086	0,61472	0,52729	-0,12964	0,00102	6,75
0,25	0,51884	0,53496	0,3388	0,57747	0,6088	-0,13843	0,08607	6,75
0,3	0,43825	0,44516	0,25356	0,5199	0,64472	-0,15694	0,10601	6,75
0,4	0,3922	0,40602	0,21398	0,4608	0,7861	-0,07843	0,02262	6,75
0,5	0,18957	0,19878	0,00967	0,26337	0,76837	-0,09054	0	6,75
0,75	-0,21338	-0,19496	-0,49176	-0,10813	0,75179	-0,14053	0,10302	6,75
1	-0,46896	-0,43443	-0,78465	-0,3933	0,6788	-0,18257	0,05393	6,75
1,5	-0,86271	-0,79593	-1,20902	-0,88085	0,70689	-0,2595	0,19082	6,75
2	-1,22652	-1,15514	-1,57697	-1,27669	0,77989	-0,29657	0,29888	6,75
3	-1,82979	-1,7469	-2,22584	-1,91814	0,77966	-0,45384	0,67466	6,75
4	-2,24656	-2,15906	-2,58228	-2,38168	1,24961	-0,35874	0,79508	6,75
5	-1,28408	-1,2127	-1,50904	-1,41093	0,14271	-0,39006	0	8,5
7,5	-1,43145	-1,31632	-1,81022	-1,59217	0,52407	-0,37578	0	8,5
10	-2,15446	-2,16137	-2,53323	-2,14635	0,40387	-0,48492	0	8,5

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

ANEXO C.

Modelo Akkar y Bommer (2010)

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

Periodo T(s)	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10	σ_1	σ_2
0	1,0416	0,9133	-0,0814	-2,9273	0,2812	7,8664	0,0875	0,0153	-0,0419	0,0802	0,261	0,0994
0,05	2,1153	0,7257	-0,0735	-3,332	0,3353	7,7473	0,0471	-0,0243	-0,0426	0,0865	0,272	0,1142
0,1	2,1199	0,7518	-0,0745	-3,1054	0,3025	8,2141	0,0267	-0,0006	-0,0491	0,0791	0,2728	0,1167
0,15	1,6449	0,8368	-0,0754	-2,7585	0,2549	8,3179	0,0258	0,017	-0,0418	0,0784	0,2788	0,1192
0,2	0,9207	0,9682	-0,079	-2,4926	0,2179	8,2191	0,0656	0,0211	-0,021	0,0844	0,2821	0,1081
0,25	0,1398	1,1307	-0,0876	-2,3382	0,2009	7,2069	0,0981	0,0392	-0,0485	0,0858	0,2871	0,099
0,3	-0,8401	1,3744	-0,1035	-2,1912	0,1814	6,543	0,1285	0,0434	-0,0555	0,0922	0,2902	0,0976
0,35	-1,3221	1,4706	-0,1087	-2,1299	0,1749	6,2475	0,1621	0,067	-0,0472	0,09	0,2983	0,1054
0,4	-1,7032	1,5593	-0,1139	-2,1272	0,1714	6,5717	0,2122	0,092	-0,0515	0,099	0,2998	0,1101
0,45	-1,972	1,6165	-0,1174	-2,1662	0,177	6,7808	0,2412	0,1168	-0,052	0,0994	0,3037	0,1123
0,5	-2,7693	1,8327	-0,132	-2,1297	0,1688	7,1742	0,2594	0,1356	-0,0428	0,0858	0,3078	0,1163
0,55	-3,5167	2,0252	-0,145	-2,0421	0,1562	6,7617	0,265	0,1445	-0,0426	0,0695	0,307	0,1274
0,6	-3,9276	2,0847	-0,1465	-1,8814	0,1362	6,101	0,2772	0,1516	-0,0385	0,0593	0,3007	0,143
0,65	-4,4949	2,2115	-0,1552	-1,7903	0,1292	5,1914	0,2857	0,1524	-0,0342	0,0511	0,3004	0,1546
0,7	-4,6293	2,2176	-0,1549	-1,798	0,135	4,4632	0,3035	0,1565	-0,0415	0,0466	0,2978	0,1626
0,75	-4,9505	2,2914	-0,1598	-1,8132	0,1392	4,2795	0,3152	0,1633	-0,0405	0,0425	0,2973	0,1602
0,8	-5,3286	2,3839	-0,1657	-1,7727	0,1327	4,3701	0,3215	0,1737	-0,0395	0,0337	0,2927	0,1584
0,85	-5,758	2,5064	-0,1748	-1,7707	0,131	4,6219	0,3352	0,1848	-0,0379	0,0287	0,2917	0,1543
0,9	-5,8269	2,5029	-0,1737	-1,763	0,1306	4,6539	0,3485	0,1906	-0,0288	0,0248	0,2915	0,1521
0,95	-5,9059	2,5141	-0,1742	-1,7985	0,1354	4,8454	0,3592	0,1941	-0,0221	0,025	0,2912	0,1484
1	-6,1707	2,5856	-0,1794	-1,8072	0,136	4,976	0,3662	0,1952	-0,0227	0,0212	0,2895	0,1483
1,05	-6,6034	2,6958	-0,1865	-1,7384	0,1249	5,0449	0,3728	0,1946	-0,0261	0,0112	0,2888	0,1465
1,1	-6,9038	2,7704	-0,1917	-1,7111	0,1223	5,0098	0,3776	0,1942	-0,0266	0,0014	0,2896	0,1427
1,15	-6,9618	2,7586	-0,1889	-1,6659	0,1145	5,089	0,3815	0,194	-0,0209	0,0015	0,2871	0,1435
1,2	-6,9924	2,7343	-0,1849	-1,5912	0,1027	5,0327	0,3812	0,1931	-0,0162	0,0041	0,2878	0,1439
1,25	-6,7461	2,6238	-0,1739	-1,5289	0,0913	5,0835	0,3878	0,1939	-0,0183	0,0041	0,2863	0,1453
1,3	-6,5172	2,5187	-0,1633	-1,4653	0,0801	5,1442	0,3886	0,1927	-0,019	-0,0037	0,2869	0,1427
1,35	-6,5582	2,5224	-0,1631	-1,4822	0,0817	5,2901	0,3868	0,1908	-0,0184	-0,009	0,2885	0,1428
1,4	-6,6195	2,5261	-0,1627	-1,4826	0,0821	5,3349	0,3863	0,1929	-0,0161	-0,0088	0,2875	0,1458
1,45	-6,6274	2,4986	-0,1591	-1,4331	0,0758	5,1941	0,3829	0,1916	-0,0129	-0,0056	0,2857	0,1477
1,5	-6,7179	2,4949	-0,1569	-1,353	0,0638	5,1575	0,3787	0,1881	-0,0121	-0,0022	0,2839	0,1468
1,55	-6,8078	2,5029	-0,1563	-1,3123	0,057	5,2744	0,3727	0,1857	-0,0085	-0,0005	0,2845	0,145
1,6	-6,8363	2,5101	-0,1568	-1,3326	0,0587	5,5454	0,3695	0,1815	-0,0053	-6E-05	0,2844	0,1457
1,65	-6,8868	2,5405	-0,16	-1,4093	0,0686	5,9383	0,3653	0,1762	-0,0085	-0,003	0,2841	0,1503
1,7	-6,946	2,5715	-0,1629	-1,4768	0,0767	6,366	0,3594	0,173	-0,012	-0,0074	0,284	0,1537
1,75	-7,0917	2,6294	-0,1679	-1,5404	0,0843	6,8229	0,3528	0,1695	-0,0139	-0,0139	0,284	0,1558
1,8	-7,2282	2,6682	-0,1706	-1,5427	0,0833	7,116	0,3478	0,1674	-0,014	-0,0149	0,2834	0,1582
1,85	-7,2977	2,6757	-0,17	-1,5094	0,0766	7,3193	0,3456	0,1673	-0,0153	-0,0119	0,2828	0,1592
1,9	-7,3552	2,6775	-0,1693	-1,4699	0,0707	7,2599	0,3414	0,1633	-0,0156	-0,007	0,2826	0,1611
1,95	-7,4072	2,6821	-0,1691	-1,4382	0,0653	7,2534	0,3372	0,1617	-0,0185	-0,0035	0,2832	0,1642
2	-7,504	2,71	-0,1713	-1,444	0,066	7,2606	0,333	0,1584	-0,0226	-0,0049	0,2835	0,1657

2,05	-7,556	2,7274	-0,1729	-1,4579	0,0677	7,4032	0,3301	0,155	-0,0263	-0,0073	0,2836	0,1665
2,1	-7,5346	2,7171	-0,1722	-1,4666	0,0694	7,4617	0,3265	0,1534	-0,0292	-0,0087	0,2832	0,1663
2,15	-7,5081	2,7104	-0,1721	-1,4968	0,0743	7,5127	0,3244	0,1526	-0,0348	-0,0123	0,283	0,1661
2,2	-8,0917	2,9116	-0,1892	-1,5564	0,0843	7,7706	0,3135	0,1443	-0,0399	-0,0193	0,283	0,1627
2,25	-8,1106	2,9209	-0,1904	-1,5954	0,0905	7,877	0,31	0,1443	-0,0416	-0,0232	0,283	0,1627
2,3	-8,1627	2,9333	-0,1916	-1,6046	0,0928	7,9175	0,3083	0,1441	-0,0424	-0,0263	0,2829	0,1633
2,35	-7,947	2,8533	-0,1854	-1,5743	0,0908	7,6196	0,3207	0,1432	-0,0496	-0,0234	0,2815	0,1632
2,4	-7,9668	2,8536	-0,1856	-1,5783	0,0929	7,5964	0,318	0,143	-0,0491	-0,0257	0,2826	0,1645
2,45	-7,9788	2,849	-0,1853	-1,5773	0,0943	7,5034	0,314	0,1432	-0,0481	-0,0264	0,2825	0,1665
2,5	-7,884	2,8182	-0,1832	-1,6038	0,0989	7,5395	0,311	0,1433	-0,0471	-0,0277	0,2818	0,1681
2,55	-7,681	2,7572	-0,1791	-1,6521	0,1068	7,6189	0,3088	0,1434	-0,0461	-0,0282	0,2818	0,1688
2,6	-7,7257	2,8204	-0,1872	-1,8878	0,1405	8,1225	0,3112	0,1426	-0,0511	-0,0297	0,2838	0,1741
2,65	-7,5329	2,7482	-0,1814	-1,8953	0,1436	7,9224	0,3094	0,1422	-0,0502	-0,0293	0,2845	0,1759
2,7	-7,4159	2,6901	-0,1763	-1,8704	0,1428	7,5	0,3069	0,1407	-0,0489	-0,0296	0,2854	0,1772
2,75	-7,3454	2,6535	-0,1731	-1,8608	0,1434	7,2667	0,3064	0,1405	-0,0474	-0,0292	0,2862	0,1783
2,8	-7,2456	2,6103	-0,1695	-1,8561	0,1444	7,1186	0,3053	0,1392	-0,0473	-0,0275	0,2867	0,1794
2,85	-7,0711	2,5612	-0,1662	-1,9042	0,1513	7,3628	0,3051	0,1393	-0,0452	-0,0278	0,2869	0,1788
2,9	-6,9933	2,527	-0,163	-1,897	0,1504	7,4504	0,3036	0,1378	-0,042	-0,0262	0,2874	0,1784
2,95	-6,9567	2,5101	-0,1614	-1,9013	0,1508	7,6023	0,2999	0,1358	-0,0386	-0,0249	0,2872	0,1783
3	-6,9292	2,459	-0,1551	-1,768	0,1331	7,2195	0,2977	0,132	-0,0386	-0,0247	0,2876	0,1785

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

ANEXO D

Modelo Kanno (2006)

D- 1. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos superficiales de PGA, PGV y espectros de respuesta de aceleración amortiguada del 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, et al. (2006). Una nueva relación de atenuación para el movimiento de tierra fuerte en Japón en base a los datos registrados.

ANEXO E

Modelo Youngs (1997)

E- 1. Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral horizontal (5% de amortiguación) para terremotos de subducción para suelo.

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

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

ANEXO F

Modelo Zhao (2006)

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	0,027	0,000	1,814	-0,360
0,30	1,163	-0,00520	0,0150	0,934	0,01458	0,259	0,000	2,181	-0,450
0,40	1,2	-0,00422	0,0100	0,959	0,01257	0,248	-0,041	2,432	-0,506
0,50	1,25	-0,00338	0,0060	1,008	0,01114	0,247	-0,053	2,629	-0,554

0,60	1,293	-0,00282	0,0030	1,088	0,01019	0,233	-0,103	2,702	-0,575
0,70	1,336	-0,00258	0,0025	1,084	0,00979	0,220	-0,146	2,654	-0,572
0,80	1,386	-0,00242	0,0022	1,088	0,00944	0,232	-0,164	2,480	-0,540
0,90	1,433	-0,00232	0,0020	1,109	0,00972	0,220	-0,206	2,332	-0,522
1,00	1,479	-0,00220	0,0020	1,115	0,01005	0,211	-0,239	2,233	-0,509
1,25	1,551	-0,00207	0,0020	1,083	0,01003	0,251	-0,256	2,029	-0,469
1,50	1,621	-0,00224	0,0020	1,091	0,00928	0,248	-0,306	1,589	-0,379
2,00	1,694	-0,00201	0,0025	1,055	0,00833	0,263	-0,320	0,966	-0,248
2,50	1,748	-0,00187	0,0028	1,052	0,00776	0,262	-0,337	0,789	-0,221
3,00	1,759	-0,00147	0,0032	1,025	0,00644	0,307	-0,331	1,037	-0,263
4,00	1,826	-0,00195	0,0040	1,044	0,00590	0,353	-0,390	0,561	-0,169
5,00	1,825	-0,00237	0,0050	1,065	0,00510	0,248	-0,498	0,225	-0,120

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

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	1,355	0,604	0,398	0,723
0,939	1,684	1,793	1,747	1,814	1,747	0,640	0,444	0,779
1,499	2,061	2,135	2,031	2,082	2,031	0,694	0,490	0,849
1,462	1,916	2,168	2,052	2,113	2,052	0,702	0,460	0,839
1,280	1,669	2,085	2,001	2,030	2,001	0,692	0,423	0,811
1,121	1,468	1,942	1,941	1,937	1,941	0,682	0,391	0,786
0,852	1,172	1,683	1,808	1,770	1,808	0,670	0,379	0,770
0,365	0,655	1,127	1,482	1,397	1,482	0,659	0,390	0,766
-0,207	0,071	0,515	0,934	0,955	0,934	0,653	0,389	0,760
-0,705	-0,429	-0,003	0,394	0,559	0,394	0,653	0,401	0,766
-1,144	-0,866	-0,449	-0,111	0,188	-0,111	0,652	0,408	0,769
-1,609	-1,325	-0,928	-0,620	-0,246	-0,62	0,647	0,418	0,770
-2,023	-1,732	-1,349	-1,066	-0,643	-1,066	0,653	0,411	0,771
-2,451	-2,152	-1,776	-1,523	-1,084	-1,523	0,657	0,410	0,775
-3,243	-2,923	-2,542	-2,327	-1,936	-2,327	0,660	0,402	0,773
-3,888	-3,548	-3,169	-2,979	-2,661	-2,979	0,664	0,408	0,779
-4,783	-4,410	-4,039	-3,871	-3,640	-3,871	0,669	0,414	0,787
-5,444	-5,049	-4,698	-4,496	-4,341	-4,496	0,671	0,411	0,786
-5,839	-5,431	-5,089	-4,893	-4,758	-4,893	0,667	0,396	0,776
-6,598	-6,181	-5,882	-5,698	-5,588	-5,698	0,647	0,382	0,751
-6,752	-6,347	-6,051	-5,873	-5,798	-5,873	0,643	0,377	0,745

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