



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

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

Tema:

**ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS
DEL CANTON AMBATO – SECTOR HUACHI LORETO – BARRIO CIUDADELA
ORIENTE.**

AUTOR: William Patricio Mise Flores

TUTOR: Ing. Mg. Maritza Ureña

Ambato – Ecuador

2018

CERTIFICADO DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Maritza Ureña, certifico que el presente trabajo bajo el tema: ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTON AMBATO – SECTOR HUACHI LORETO – BARRIO CIUDADELA ORIENTE, es de autoría del Sr. William Patricio Mise Flores, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, mayo del 2018

Ing. Maritza Ureña

AUTORÍA

Yo, William Patricio Mise Flores con C.I: 050376576-0, egresado de la Facultad de ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTON AMBATO – SECTOR HUACHI LORETO – BARRIO CIUDADELA ORIENTE, es de mi completa autoría.

Ambato, mayo del 2018

William Patricio Mise Flores

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso 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 como autor.

Ambato, mayo del 2018

Autor

William Patricio Mise Flores

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTON AMBATO – SECTOR HUACHI LORETO – BARRIO CIUDADELA ORIENTE”**, realizado por William Patricio Mise Flores, egresado de la Carrera de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, mayo de 2018

Para constancia firman:

Ing. Mg. Jorge Cevallos

Ing. Mg. Carlos Navarro

DEDICATORIA

A mi inolvidable padre José Mise (quien ya partió a la presencia del Altísimo), a quien quiero y respeto, por haber estado junto a mí en los momentos más importantes de mi vida, por enseñarme el valor y lo que significa el esfuerzo para lograr un objetivo, por fomentar mis principios morales y por qué siempre creyó en mí hasta el final de sus días.

A mi querida madre Isolina Flores, quien es la persona más importante para mí, por brindarme siempre su apoyo incondicional, por tener una fe inquebrantable en mí, por su dedicación y esfuerzo constante para que yo pudiera lograr mis metas y por ser mi inspiración.

A mi hermano mayor Marco (quien está junto al Altísimo), por protegerme durante mi niñez y por tener una hermandad llena de afecto y amistad.

A mi hermano mayor Cesar, a quien siempre he admirado desde pequeño, por decirme que, aunque sea difícil la vida siempre contare con él, por desearme siempre un mejor futuro y por apoyarme en los momentos de gran importancia.

A mis adoradas hermanas Hilda, Mercedes, Martha y Erika, a quienes aprecio mucho, por depositar una gran confianza en mí y por motivarme a seguir luchando sin importar la adversidad que enfrente.

A mis amigos, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas, por su confianza, su apoyo leal y sincero y por una valiosa amistad.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia a Dios por darme salud y vida

Mi gratitud, principalmente está dirigida a mis padres José Mise e Isolina Flores, por haberme dado la valiosa oportunidad de estudiar una gran carrera como lo es la ingeniería civil, por haber cuidado de mí todo este tiempo, por el gran amor que me han brindado y por el poder llamarlos mis padres.

Agradezco de todo corazón a mis hermanos y hermanas por sus consejos en los momentos más difíciles de mi vida y por buscar siempre mi bienestar y felicidad.

A la Ing. Maritza Ureña, por los conocimientos impartidos en las aulas durante mi etapa estudiantil, por la guía, dirección y dedicación al realizar este proyecto

A mis amigos, quienes han estado junto a mí en esta travesía universitaria y a quienes agradezco con esta pequeña frase:

“A partir de ahora, pase lo que pase... ¡este brazo izquierdo es la prueba de que somos nakamas!”

ÍNDICE

A. PAGINAS PRELIMINARES

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.....	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	XIII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XIX
SUMARY.....	XX

B. TEXTOS

CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO II.....	4
FUNDAMENTACIÓN.....	4
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1.1 Tectónica de Placas.....	4
2.1.2 Peligro Sísmico.....	10

2.1.3	Clasificación de Suelos.....	18
2.2	HIPÓTESIS.....	22
2.3	SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....	22
2.3.1	Variable Dependiente.....	22
2.3.2	Variable Independiente.....	22
CAPÍTULO III.....		23
METODOLOGÍA.....		23
3.1	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	23
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	23
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	24
3.3.1	Variable Independiente.....	24
3.3.2	Variable Dependiente.....	24
3.4	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	25
3.5	PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	26
CAPÍTULO IV.....		27
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....		27
4.1	RECOLECCIÓN DE DATOS.....	27
4.1.1	Zona de Estudio.....	27
4.1.2	Selección de Fallas Geológicas.....	27
4.1.3	Magnitud de Momento de las fallas.....	29
4.1.4	Características del Suelo.....	30
4.1.5	Velocidad media de la onda de corte V30.....	37
4.1.6	Ecuaciones de atenuación para las Fallas Corticales.....	42
4.1.6.1	Modelo de Boore y Atkinson (2008)	42
4.1.6.2	Modelo de Akkar y Bommer (2010)	47
4.1.6.3	Modelo de Kanno (2006)	49
4.1.7	Ecuaciones de atenuación para la Falla de Subducción.....	50
4.1.7.1	Modelo de Youngs (1997)	51
4.1.7.2	Modelo de Zhao (2006)	52

4.1.7.3 Modelo de Lin y Lee (2008)	54
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	55
4.2.1 Cálculo de los Espectros.....	55
4.2.1.1 Espectros calculados con el Modelo de Boore y Atkinson.....	56
4.2.1.2 Espectros calculados con el Modelo de Akkar y Bommer.....	57
4.2.1.3 Espectros calculados con el Modelo de Kanno.....	58
4.2.1.4 Espectros calculados con el Modelo de Zhao.....	59
4.2.1.5 Espectros calculados con el Modelo de Youngs.....	60
4.2.1.6 Espectros calculados con el Modelo de Lin y Lee.....	61
4.2.2 Espectros con los modelos para una falla.....	62
4.2.3 Comparación de los espectros obtenidos con el de la NEC-15.....	68
4.2.4 Espectros de todos los Modelos con el espectro de la NEC-15.....	73
4.2.5 Espectros críticos comparado con la NEC-15.....	74
4.2.6 Comportamiento estructural de 3 edificaciones tipo del sitio de estudio ...	76
4.2.6.1 Datos estructurales recolectados de las 3 edificaciones.....	76
4.2.6.2 Espectro elástico reducido.....	77
4.2.6.3 Calculo de los periodos de vibración de las estructuras tipo.....	77
4.2.6.4 Análisis Estático.....	80
4.2.6.5 Análisis Dinámico.....	93
4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	114
CAPÍTULO V.....	115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	115
5.1 CONCLUSIONES.....	115
5.2 RECOMENDACIONES.....	118
C. MATERIALES DE REFERENCIA.....	120
1. BIBLIOGRAFÍA.....	120
2. ANEXOS.....	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación Empírica para la Magnitud de Momento.....	17
Tabla 2. Clasificación de suelos SUCS.....	19
Tabla 3. Clasificación de los Perfiles de Suelo.....	21
Tabla 4. Operacionalización de la variable independiente.....	24
Tabla 5. Operacionalización de la variable dependiente.....	25
Tabla 6. Plan de recolección de datos.....	25
Tabla 7. Valores de magnitud de momento para cada falla.....	30
Tabla 8. Granulometría del suelo – Pozo # 1.....	30
Tabla 9. Granulometría del suelo – Pozo # 2.....	32
Tabla 10. Granulometría del suelo – Pozo # 3.....	33
Tabla 11. Granulometría del suelo – Pozo # 4.....	34
Tabla 12. Granulometría del suelo – Pozo # 5.....	36
Tabla 13. Valores de N_{SPT} , V_{S30} y clasificación del tipo de perfil – Pozo # 1.....	38
Tabla 14. Valores de N_{SPT} , V_{S30} y clasificación del tipo de perfil – Pozo # 2.....	38
Tabla 15. Valores de N_{SPT} , V_{S30} y clasificación del tipo de perfil – Pozo # 3.....	39
Tabla 16. Valores de N_{SPT} , V_{S30} y clasificación del tipo de perfil – Pozo # 4.....	40
Tabla 17. Valores de N_{SPT} , V_{S30} y clasificación del tipo de perfil – Pozo # 5.....	40
Tabla 18. Valor promedio de V_{S30} para el área del proyecto.....	41
Tabla 19. Valores empleados para el modelo de Atkinson y Boore.....	47
Tabla 20. Valores utilizados para el modelo de Akkar y Bommer.....	49

Tabla 21. Valores aplicados para el modelo de Kanno.....	50
Tabla 22. Valores empleados para el modelo de Youngs.....	52
Tabla 23. Valores utilizados para el modelo de Zhao.....	54
Tabla 24. Valores aplicados para el modelo de Lin y Lee.....	55
Tabla 25. Valores de las aceleraciones máximas para cada falla y porcentajes de las diferencias de aceleración entre los modelos.....	67
Tabla 26. Valores de aceleraciones y periodos para el espectro determinístico.....	74
Tabla 27. Datos de columnas, vigas y losas de las 3 edificaciones.....	76
Tabla 28. Factores y Coeficientes obtenidos para la reducción de los espectros elásticos.....	77
Tabla 29. Valores C_t y α	78
Tabla 30. Valores de F_a , F_d y F_s considerando los efectos de sitio.....	79
Tabla 31. Valores de Periodos T_1 y T_2	80
Tabla 32. Valores de U_x , U_y y R_z para la estructura de 1 piso.....	82
Tabla 33. Valores de U_x , U_y y R_z para la estructura de 3 pisos.....	82
Tabla 34. Valores de U_x , U_y y R_z para la estructura de 5 pisos.....	82
Tabla 35. Modos de vibración de las 3 estructuras.....	83
Tabla 36. Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en la estructura de 1 piso.....	84
Tabla 37. Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en la estructura de 3 pisos.....	84
Tabla 38. Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en la estructura de 5 pisos.....	85

Tabla 39. Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones horizontales X y Y, para cada edificación.....	85
Tabla 40. Valores de Δ_M máximos.....	86
Tabla 41. Valores de aceleración y coeficientes sísmicos obtenidos del espectro determinístico.....	87
Tabla 42. Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la edificación de 1 piso utilizando el coeficiente sísmico de la NEC – 15	88
Tabla 43. Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la edificación de 3 pisos utilizando el coeficiente sísmico de la NEC – 15	88
Tabla 44. Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la edificación de 5 pisos utilizando el coeficiente sísmico de la NEC – 15	89
Tabla 45. Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la edificación de 1 piso utilizando el coeficiente sísmico del espectro determinístico.....	90
Tabla 46. Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la edificación de 3 pisos utilizando el coeficiente sísmico del espectro determinístico.....	91
Tabla 47. Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la edificación de 5 pisos utilizando el coeficiente sísmico del espectro determinístico.....	92
Tabla 48. Resumen de los valores de las derivas estáticas y derivas inelásticas calculadas en los niveles más críticos de cada estructura.....	93
Tabla 49. Valores máximos de los cortantes estáticos (NEC-15) para la estructura de 1 piso.....	94
Tabla 50. Valores máximos de los cortantes estáticos (NEC-15) para la estructura de 3 pisos.....	95

Tabla 51. Valores máximos de los cortantes estáticos (NEC-15) para la estructura de 5 pisos.....	96
Tabla 52. Valores máximos de los cortantes estáticos (Determinístico) para la estructura de 1 piso.....	97
Tabla 53. Valores máximos de los cortantes estáticos (Determinístico) para la estructura de 3 pisos.....	98
Tabla 54. Valores máximos de los cortantes estáticos (Determinístico) para la estructura de 5 pisos.....	99
Tabla 55. Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro de la NEC-15 reducido, para la estructura de 1 piso.....	100
Tabla 56. Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro de la NEC-15 reducido, para la estructura de 3 pisos.....	101
Tabla 57. Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro de la NEC-15 reducido, para la estructura de 5 pisos.....	102
Tabla 58. Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro determinístico reducido, para la estructura de 1 piso.....	103
Tabla 59. Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro determinístico reducido, para la estructura de 3 pisos.....	104
Tabla 60. Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro determinístico reducido, para la estructura de 5 pisos.....	105
Tabla 61. Valores de los cortantes estáticos, dinámicos y la validación del análisis dinámico.....	106
Tabla 62. Derivas elásticas dinámicas obtenidas con el espectro de la NEC-15, para la estructura de 1 piso.....	107
Tabla 63. Derivas elásticas dinámicas obtenidas con el espectro determinístico, para la estructura de 1 piso.....	108

Tabla 64. Derivas elásticas dinámicas obtenidas con el espectro de la NEC-15, para la estructura de 3 pisos.....	109
Tabla 65. Derivas elásticas dinámicas obtenidas con el espectro determinístico, para la estructura de 3 pisos.....	110
Tabla 66. Derivas elásticas dinámicas obtenidas con el espectro de la NEC-15, para la estructura de 5 pisos.....	111
Tabla 67. Derivas elásticas dinámicas obtenidas con el espectro determinístico, para la estructura de 5 pisos.....	112
Tabla 68. Derivas elásticas dinámicas obtenidas con los 2 espectros reducidos, para cada estructura.....	113

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Placas Tectónicas: Placa Norteamericana, Placa Sudamericana, Placa de Nazca, Placa del Pacífico, etc.....	4
Gráfica 2. Zona Divergente.....	5
Gráfica 3. Zona Convergente.....	5
Gráfica 4. Zona Transformante.....	6
Gráfica 5. Falla Normal.....	6
Gráfica 6. Falla Inversa.....	7
Gráfica 7. Falla de Transformación.....	7
Gráfica 8. Escala de Mercalli Modificada: Grados de percepción.....	9
Gráfica 9. Mapa de Zonificación Sísmica del Ecuador.....	11
Gráfica 10. Fallas Geológicas del Ecuador.....	28
Gráfica 11. Fallas Geológicas de la provincia de Tungurahua.....	28
Gráfica 12. Fallas Geológicas de Ambato.....	29

Gráfica 13. Distancia R_{JB} de la Falla Ambato.....	46
Gráfica 14. Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Atkinson y Boore.....	56
Gráfica 15. Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Akkar y Bommer.....	57
Gráfica 16. Espectros de aceleración obtenidos con el modelo de Kanno.....	58
Gráfica 17. Espectro de aceleración conseguidos con el modelo de Zhao.....	59
Gráfica 18. Espectro de aceleración conseguidos con el modelo de Youngs.....	60
Gráfica 19. Espectro de aceleración conseguidos con el modelo de Lin y Lee.....	61
Gráfica 20. Espectros de aceleración con los modelos de Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Huachi.....	62
Gráfica 21. Espectros de aceleración con los modelos de Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Ambato.....	63
Gráfica 22. Espectros de aceleración con los modelos de Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Totoras.....	64
Gráfica 23. Espectros de aceleración con los modelos de Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Samanga.....	65
Gráfica 24. Espectros de aceleración con los modelos de Zhao, Youngs y Lin-Lee para la falla de Subducción.....	66
Gráfica 25. Espectros de aceleración con los modelos de la NEC-15, Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Huachi.....	68
Gráfica 26. Espectros de aceleración con los modelos de la NEC-15, Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Ambato.....	69

Gráfica 27. Espectros de aceleración con los modelos de la NEC-15, Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Totoras.....	70
Gráfica 28. Espectros de aceleración con los modelos de la NEC-15, Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Samanga.....	71
Gráfica 29. Espectros de aceleración con los modelos de la NEC-15, Zhao, Youngs y Lin-Lee para la falla de Subducción.....	72
Gráfica 30. Conjunto de espectros para las fallas corticales y para la falla de subducción.....	73
Gráfica 31. Espectro Crítico para el área de estudio vs Espectro de la NEC-15.....	75
Gráfica 32. Valores máximos de Δ_E para la estructura de 1 piso (NEC-15).....	87
Gráfica 33. Valores máximos de Δ_E para la estructura de 3 pisos (NEC-15).....	88
Gráfica 34. Valores máximos de Δ_E para la estructura de 5 pisos (NEC-15).....	89
Gráfica 35. Valores máximos de Δ_E para la estructura de 1 piso (Determinístico).....	90
Gráfica 36. Valores máximos de Δ_E para la estructura de 3 pisos (Determinístico).....	91
Gráfica 37. Valores máximos de Δ_E para la estructura de 5 pisos.....	92
Gráfica 38. Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 1 piso (Espectro NEC-15)	94
Gráfica 39. Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 3 pisos (Espectro NEC-15).....	95
Gráfica 40. Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 5 pisos (Espectro NEC-15).....	96
Gráfica 41. Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 1 piso (Espectro Determinístico)	97
Gráfica 42. Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 3 pisos (Espectro Determinístico).....	98

Gráfica 43. Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 5 (Espectro Determinístico)	99
Gráfica 44. Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro reducido de la NEC-15 para la estructura de 1 piso.....	100
Gráfica 45. Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro reducido de la NEC-15 para la estructura de 3 pisos.....	101
Gráfica 46. Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro reducido de la NEC-15 para la estructura de 5 pisos.....	102
Gráfica 47. Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro determinístico reducido, para la estructura de 1 piso.....	103
Gráfica 48. Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro determinístico reducido para la estructura de 3 pisos.....	104
Gráfica 49. Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro determinístico reducido para la estructura de 5 pisos.....	105
Gráfica 50. Valores máximos de Δ_E con el espectro de la NEC-15, para la estructura de 1 piso.....	107
Gráfica 51. Valores máximos de Δ_E con el espectro determinístico, para la estructura de 1 piso.....	108
Gráfica 52. Valores máximos de Δ_E con el espectro de la NEC-15, para la estructura de 3 pisos.....	109
Gráfica 53. Valores máximos de Δ_E con el espectro determinístico, para la estructura de 3 pisos.....	110
Gráfica 54. Valores máximos de Δ_E con el espectro de la NEC-16, para la estructura de 5 pisos.....	111
Gráfica 55. Valores máximos de Δ_E con el espectro determinístico, para la estructura de 5 pisos.....	112

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	123
Fotografía 1. Equipos empleados para el SPT.....	123
Fotografía 2. Motor utilizado para el SPT.....	123
Fotografía 3. Sector donde se realizó la investigación.....	124
Fotografía 4. Primer sitio donde se realizó el ensayo SPT.....	124
Fotografía 5. Segundo sitio donde se realizó el ensayo SPT.....	125
Fotografía 6. Tercer sitio donde se realizó el ensayo SPT.....	125
Fotografía 7. Cuarto sitio donde se realizó el ensayo SPT.....	126
Fotografía 8. Quito sitio donde se realizó el ensayo SPT.....	126
Fotografía 9. Muestra obtenida a la máxima profundidad permitida – Pozo 1.....	127
Fotografía 10. Muestra obtenida a la máxima profundidad permitida – Pozo 2.....	127
Fotografía 11. Muestra obtenida a la máxima profundidad permitida – Pozo 3.....	128
Fotografía 12. Muestra para realizar el ensayo de granulometría.....	128
Fotografía 13. Muestra colocadas en el horno durante 24 horas.....	129
Fotografía 14. Tamizado de las muestras.....	129
Fotografía 15. Peso de la muestra retenida en la malla # 10 y # 40 perteneciente al primer metro del pozo # 4.....	130
Fotografía 16. Peso de la muestra retenida en la malla # 60 y # 100 perteneciente al primer metro del pozo # 4.....	130
Fotografía 17. Peso de la muestra retenida en la malla # 200 y peso de la muestra que paso la malla # 200 perteneciente al primer metro del pozo # 4.....	131

Fotografía 18. Edificación de 1 piso.....	131
Fotografía 19. Edificación de 3 pisos.....	132
Fotografía 20. Edificación de 5 pisos.....	132
ANEXO B.....	133
B – 1. Coeficientes de amplificación de sitio en función al periodo.....	133
B – 2. Coeficientes escalares de la distancia ($M_{ref} = 4.5$ y $R_{ref} = 1.0$ km para todos los periodos, excepto $R_{ref} = 5.0$ km para pga4nl).....	134
B – 3. Coeficientes escalares de Magnitud.....	135
ANEXO C.....	136
C – 1. Coeficientes de la ecuación para predecir la aceleración pseudo-espectral.....	136
ANEXO D.....	140
D – 1. Coeficientes de regresión para el modelo de Kanno para un evento superficial y espectro de respuesta de aceleración atenuado 5%.....	140
D – 2. Coeficientes de regresión para la corrección de sitio.....	141
ANEXO E.....	142
E – 1. Relaciones de atenuación para el espectro de respuesta horizontal de aceleración (amortiguación 5%) para los terremotos de subducción para suelo.....	142
ANEXO F.....	143
F – 1. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria correspondientes al modelo de Zhao (2006)	143
F – 2. Coeficientes para la condición de la clase de sitio.....	144
ANEXO G.....	145

G – 1. Coeficientes de regresión de la ecuación de atenuación para sitios de suelo para el modelo de Lin y Lee (2008).....	145
ANEXO H.....	146
H – 1. Valores de las aceleraciones obtenidos con el modelo de Atkinson y Boore (2008) para las fallas de Huachi, Ambato, Totoras y Samanga.....	146
H – 2. Valores de las aceleraciones obtenidos con el modelo de Akkar y Bommer (2010) para las fallas de Huachi, Ambato, Totoras y Samanga.....	147
H – 3. Valores de las aceleraciones obtenidos con el modelo de Kanno (2006) para las fallas de Huachi, Ambato, Totoras y Samanga.....	149
H – 4. Valores de las aceleraciones obtenidos para la falla de Subducción con el modelo 3 modelos utilizados.....	150
ANEXO I.....	151
I – 1. Plano de la estructura de 1 piso – planta baja.....	151
I – 2. Plano de la estructura de 1 piso – terraza.....	152
ANEXO J.....	153
J – 1. Plano de la estructura de 3 pisos – planta baja.....	153
J – 2. Plano de la estructura de 3 pisos – 1ra y 2da planta.....	154
J – 3. Plano de la estructura de 3 pisos – terraza inaccesible.....	155
ANEXO K.....	156
K – 1. Plano de la estructura de 5 pisos – planta baja.....	156
K – 2. Plano de la estructura de 5 pisos – 1ra y 2da planta.....	157
K – 3. Plano de la estructura de 5 pisos – 3ra planta.....	158
K – 4. Plano de la estructura de 5 pisos – 4ta planta.....	159
K – 5. Plano de la estructura de 5 pisos – cubierta.....	160

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTON AMBATO – SECTOR HUACHI LORETO - BARRIO CIUDADELA ORIENTE.

Autor: William Patricio Mise Flores

Tutor: Ing. Mg. Maritza Ureña

En el presente trabajo experimental se empleó el método de peligrosidad sísmica determinista para evaluar las estructuras pertenecientes al barrio Ciudadela Oriente mediante la utilización de un espectro de respuesta crítico, el cual también se lo empleó en una comparación con el espectro de la NEC-15.

Para el desarrollo de esta investigación se escogió un sector perteneciente a la ciudad de Ambato donde se seleccionó 1 falla de subducción y 4 fallas corticales cercanas, en estas fallas se aplicó la relación de Wells-Coppersmith para obtener las magnitudes de momento. Adicionalmente, en el área de estudio se llevó a cabo 5 perforaciones que sirvieron para clasificar al suelo y calcular la velocidad media de la onda de corte V_{s30} que se usó para establecer un perfil tipo de suelo. Estos parámetros en conjunto con la distancia al epicentro y la profundidad focal se emplearon en las ecuaciones de predicción de movimiento de suelo para generar espectros, los cuales fueron usados en una envolvente para obtener un espectro específico. Dando como resultado un espectro que predomina durante un intervalo de periodo de 0.11 seg a 0.57 seg sobre el espectro de la NEC-15, estableciendo que las estructuras de 2 a 5 pisos están siendo afectadas por este espectro. Además, las estructuras evaluadas presentaron problemas para disipar la energía sísmica.

SUMMARY

TOPIC: DETERMINIST EARTHQUAKE STUDY FOR AMBATO CITY STRUCTURES – HUACHI LORETO ZONE – CIUDADELA ORIENTE NEIGHBOURHOOD

AUTHOR: William Patricio Mise Flores

TUTOR: Ing. Mg. Maritza Ureña

In the present experimental work, we use the determinist earthquake method to evaluate the structure who belong to “Ciudadela Oriente” neighborhood using the critic response spectre; also, we compare it with the spectre detailed in NEC-15.

For the development in this investigation we select a zone who belongs to Ambato city, we also select a subduction failure and four near cortical failure, in these failures; we apply the relation Wells-Coppersmith to obtain the moment measure. Additionally, in the study area has been done five perforations that we use to classify the soils by the SPT essay, with this essay the medium speed of the cut wave V_{s30} has been calculated and use it to stablish a soil type label. These parameters, in set with the epicenter and the focal deep, are used with the soil movement prediction equations to generate spectres, which ones were in an envelope to obtain a specific spectre.

Giving as result a predominant spectre during a range period between 0.11 and 0.57 sec over the spectre detailed in NEC-15, the results stablish the two and five floors structures are being affected for this spectre. By the way, the tested structures present trouble to dispel seismic energy.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DE TRABAJO EXPERIMENTAL

Estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras del Cantón Ambato – sector Huachi Loreto - Barrio Ciudadela Oriente.

1.2 ANTECEDENTES

En la ciudad de Concepción perteneciente al país de Chile se han realizado estudios de microzonificación sísmica con el fin de obtener un mapa geotécnico aproximado del suelo. El método empleado en el estudio es el propuesto por Nakamura, el cual consiste en estimar el periodo fundamental y el factor de amplificación de un depósito de suelo a partir de mediciones de vibraciones verticales y horizontales en superficie. Para la caracterización de los suelos se utilizaron como base resultados de ensayos de penetración estándar (SPT), que define el grado de compactación de los suelos, permitiendo identificar seis tipos de zonas mediante un mapa, las cuales se diferencian en base a la resistencia a la compactación, periodo de vibración del terreno y amplitud relativa. [1]

En la ciudad de Santiago de Cuba también se han realizado estudios de microzonificación sísmica con el objetivo de analizar la vulnerabilidad y evaluar el riesgo sísmico de las áreas urbanas. El método empleado fue Analogías Ingeniero-Geológicas, que se basan en la comparación de la intensidad de los efectos de los terremotos en zonas con diferentes condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas y geotectónicas, logrando así elaborar un mapa de microzonificación sísmica en base a la intensidad sísmica. Adicionalmente se realizaron 2 mediciones instrumentales de microsismos para evaluar la respuesta dinámica de los suelos para futuras investigaciones de vulnerabilidad y riesgo sísmico. Finalmente, los estudios mostraron que existe una parte importante de territorio que es desfavorable, donde se

encuentran construcciones en sitio. También se categorizó el mapa de microzonificación en 4 zonas: zonas no aptas para la construcción, zonas no favorables para la construcción, zonas medianamente favorables para la construcción y zonas favorables para la construcción. [2]

En Ecuador, en la ciudad de Quito se han realizado estudios de clasificación de suelos y de microzonificación sísmica. Como punto de partida se tiene el estudio para el metro de Quito, mismo que consistió en 20 sondeos los cuales arrojaron valores de velocidad de onda de corte en roca (V_s), periodo de vibraciones del suelo y velocidad de onda de corte en los primeros 30 metros (V_{s30}), estos resultados demostraron que la mayor parte de suelo es de clasificación "D". [3]

El estudio de la microzonificación sísmica ejecutado por parte de ERN acoge a toda la ciudad de Quito logrando así una amplia cobertura y un enriquecimiento en la base de datos. Para realizar el estudio se ubicaron 14 puntos en donde se efectuaron ensayos de penetración estándar (SPT), Down Hole y refracción sísmica con la finalidad de obtener valores de velocidad de la onda de corte, rigidez del suelo, periodo de vibración del suelo, etc. Los resultados obtenidos en los estudios indican en forma general que el suelo de la ciudad es una cangagua, material que es resistente ante cargas verticales. [3]

1.3 JUSTIFICACIÓN

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

El Ecuador se encuentra situado en el mundialmente conocido cinturón de fuego que no es más que el punto de encuentro de varias placas tectónicas, las mismas que provocan desplazamientos que pueden provocar erupciones volcánicas y terremotos. [5]

Ecuador es un país sísmicamente activo que a través de la historia ha sido afectado por numerosos terremotos, se puede mencionar el terremoto de Esmeraldas de 1906 con una magnitud de 8.8 (considerado uno de los más grandes registrados en el mundo),

otro terremoto a citar es el de Ambato de 1949 el cual tuvo una magnitud de 6.8 y dejó alrededor de 5050 fallecidos. [4]

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

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

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Realizar el estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras de la ciudad de Ambato – Sector Huachi Loreto – Barrio Oriente, ubicado entre las calles entre las calles Bolivariana, Los Chasquis, Letamendi y Seymour.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ❖ Seleccionar las fallas activas que abarcan el régimen tectónico en base al área de estudio.
- ❖ Verificar el comportamiento estructural con tres estructuras tipo del sitio de análisis.
- ❖ Comparar el espectro obtenido con el espectro general dado por la NEC 2015.

CAPÍTULO II

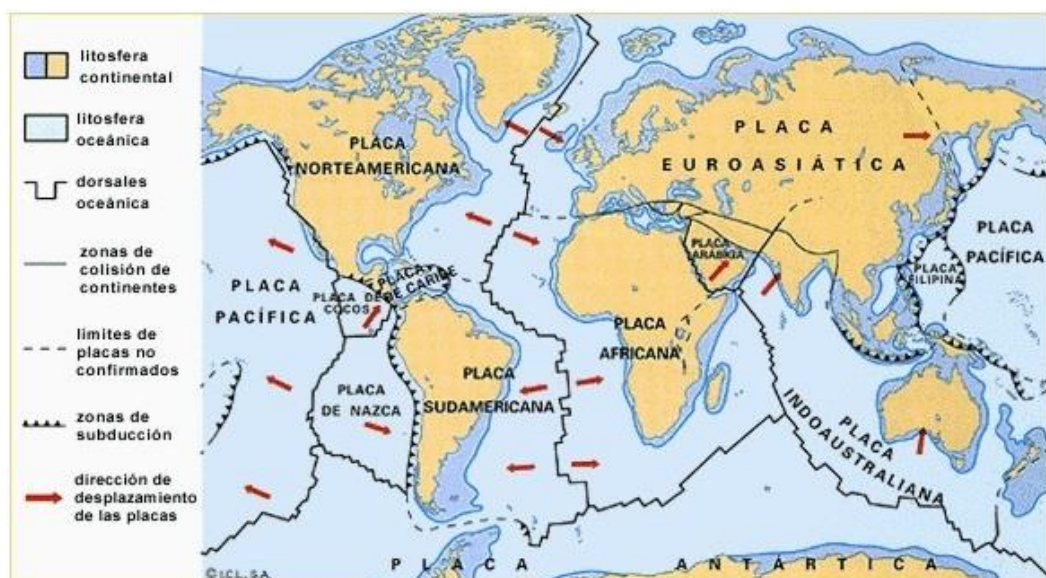
FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 Tectónica de Placas

La teoría de tectónica de placas menciona que la litosfera (capa superior de la tierra) se encuentra dividida en varios bloques o fragmentos de roca rígida que se localizan encima de la Astenósfera, estos fragmentos se encuentran en constante movimiento entre ellos. El movimiento de las placas es generado por las corrientes convectivas del manto, es decir, un cambio de temperatura entre las capas provocando hundimiento si la capa esta fría y surgimiento si la capa está caliente. [8]

La tectónica de placas es la responsable del proceso formativo de las cadenas montañosas, isletas y normalmente de todo lo relacionado con la evolución geológica de tierra. [9]



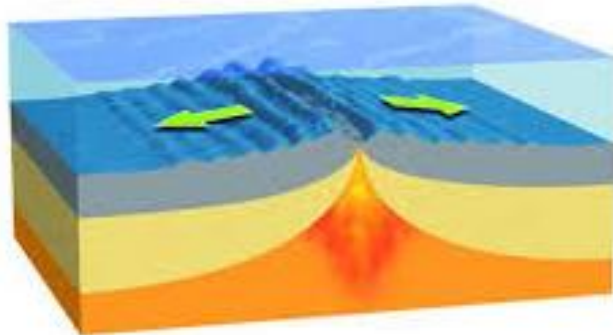
Gráfica 1. Placas Tectónicas: Placa Norteamericana, Placa Sudamericana, Placa de Nazca, Placa del Pacifico, etc.

Fuente: cienciasnaturalescnp.blogspot.com

Borde de Placa

Los límites o bordes de las placas experimentan deformaciones por el simple hecho de interactuar una con otra y debido a esto se ha diferenciado 3 clases principales de bordes: [8]

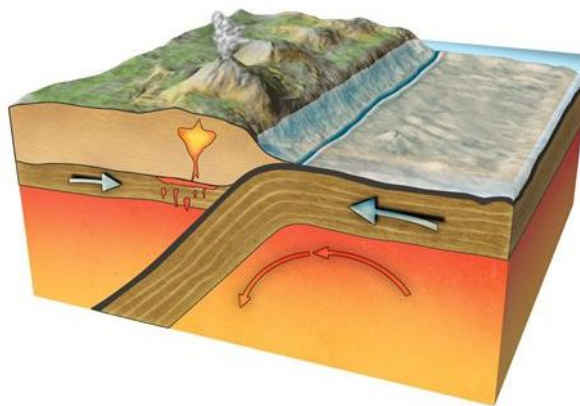
- **Divergentes:** Se generan en la corteza oceánica, es la separación de las placas dando lugar al ascenso de nuevo material oceánico. [8]



Gráfica 2. Zona Divergente

Fuente: portaleducativo.net

- **Convergentes:** Se genera tanto en la corteza continental como en la corteza oceánica, y es el choque entre 2 placas provocando que en algunos casos una de las placas se hunda y en otros que las placas se compriman. [8]



Gráfica 3. Zona Convergente

Fuente: alunonline.uol.com.br

- **Transformantes:** Se origina en la corteza continental y oceánica, es el desplazamiento lateral entre 2 placas, zona donde no existe creación ni tampoco

destrucción del material cortical. En este borde se producen terremotos de gran magnitud. [8]



Gráfica 4. Zona Transformante

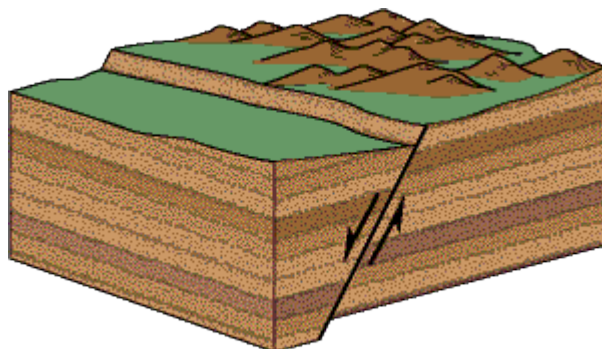
Fuente: portaleducativo.net

Fallas Geológicas

Son grietas, rupturas o discontinuidades en la roca de la corteza terrestre que generalmente está asociada o forma los límites entre las placas tectónicas, estas fallas pueden ser activas o inactivas. La falla activa produce movimiento con el transcurso del tiempo, dando lugar a terremotos. La falla inactiva estuvo en movimiento en algún momento, pero ya no lo está. [8]

Debido al diferente desplazamiento de la roca, las fallas se clasifican en tres tipos.

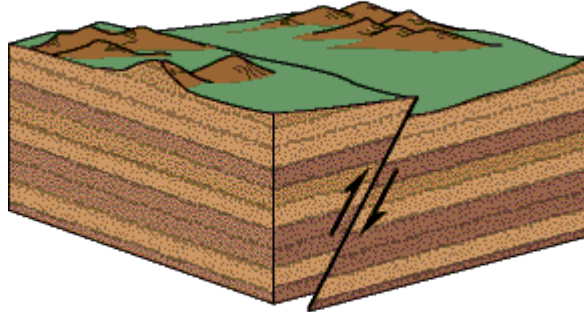
- **Fallas normales:** se dan en las zonas donde la roca muestra signo de separación, se identifica por el deslizamiento descendiente del bloque y en dirección del plano de falla. [8]



Gráfica 5. Falla Normal

Fuente: ciencia geografica.carpetapedagogica.com

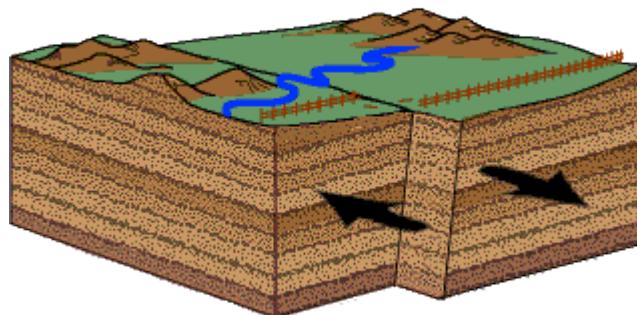
- **Fallas inversas:** ocurren en áreas donde las rocas se comprimen unas con otras denotando una saliente en la parte superior, se identifica debido a que el bloque superior se desliza en forma ascendente. [8]



Gráfica 6. Falla Inversa

Fuente: cienciageografica.carpetapedagogica.com

- **Fallas de transformación:** conocida también como falla de desgarre debido a que el movimiento a lo largo de la grieta es horizontal, y ya que carece de movimiento en el sentido vertical son incapaces de crear a precipicios o fallas escarpadas. [8]



Gráfica 7. Falla de Transformación

Fuente: cienciageografica.carpetapedagogica.com

Terremotos

El termino terremoto significa movimiento de tierra, que no es más que la liberación de energía que ha estado acumulada en rocas internas, las mismas que al estar sometidas a grandes esfuerzos producto del movimiento tectónico se rompen generando ondas sísmicas, las cuales se extienden en todas las direcciones desde un punto llamado hipocentro, y al llegar a la superficie se perciben como vibraciones o movimientos. [9]

Tipo de Terremotos

Terremotos causados por la naturaleza:

- Terremotos Tectónicos: producidos por la simple interacción entre placas, pueden ser de 2 clases: los interplaca, que generalmente son ocasionados por la fricción que se genera en zonas de contacto entre las placas, y las intraplaca que se generan en la parte interna de las placas. Un tipo particular de la intraplaca son los generados concentración de fuerzas en una región limitada llamadas locales. [8]
- Terremotos Volcánicos: producidos por el rompimiento de rocas debido al movimiento del magma al momento de una erupción volcánica, y en comparación con los anteriores no llegan a ser lo suficientemente grandes. [8]
- Terremotos de Colapso: se generan por el colapso de minas y techos de cavernas que se encontraban cercanas a la superficie, y la vibración de la tierra solo se siente en un área reducida. [8]

Terremotos causados por actividad humana:

Son las producidas por el hombre mediante la utilización de explosivos ya sean comunes o nucleares, con el fin de realizar investigaciones, explotación de bancos de material, entre otras actividades. [8]

Escala de Medición de un Terremoto

Los terremotos se miden para conocer el nivel de destrucción en una zona, para determinar la energía o fuerza liberada durante el sismo y para compararlo con otros sismos. En la medición se utiliza herramientas y metodologías para determinar la magnitud y la intensidad de un terremoto. [9]

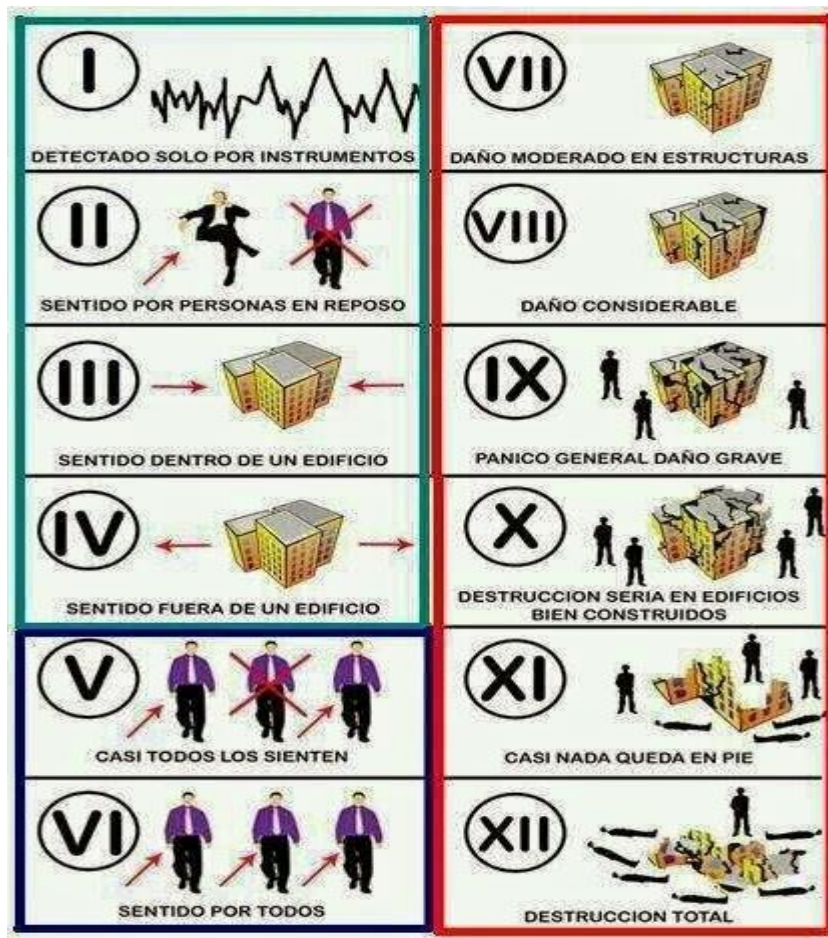
Magnitud

La magnitud mide la cantidad de energía o fuerza que se libera en el hipocentro durante un evento sísmico. Para determinar la magnitud se emplea un instrumento denominado sismógrafo, que se encarga de registrar las amplitudes de las ondas primarias y secundarias cuando estas llegan a la superficie. Existen diferentes escalas que miden

la energía siendo la más conocida y utilizada la de Charles Francis Richter, esta escala crece en forma logarítmica, de manera que cada punto puede aumentar 32 veces o más. La escala de Richter es considerada una escala abierta, es decir, que teóricamente no tiene un límite máximo. [9]

Intensidad

La intensidad mide el tamaño del terremoto en función del daño causado a las estructuras físicas, al número de vidas perdidas y a los efectos naturales en caso de existir. La intensidad es considerada como una escala empírica y entre las más usadas está la escala de Mercalli Modificado, esta escala cuenta con 12 grados de percepción (expresado en números romanos) donde cada uno de ellos clasifica un nivel de destrucción. Para un mismo terremoto existe diferentes intensidades en diferentes sitios, esto depende de varios factores tales como; la distancia entre el epicentro y el sitio, como las personas percibieron el sismo, entre otros. [9]



Gráfica 8. Escala de Mercalli Modificada: Grados de percepción

Fuente: rodriguezgeologia.blogspot.com

Ciclo Sísmico

Es un proceso repetitivo sistemáticamente entre un terremoto y el siguiente, el cual consta de 4 fases o etapas. La primera etapa empieza cuando existe un equilibrio y la acumulación de energía en las rocas empieza, la segunda etapa da comienzo cuando la roca a llegado a un límite crítico de retención de energía, en la tercera etapa la energía es liberada provocando que ocurra un sismo y en la última etapa existe la presencia de réplicas las cuales llevan al área de las rocas a un nuevo equilibrio y nuevamente a una acumulación de energía. [9]

2.1.2 Peligro Sísmico

Es la probabilidad de excedencia de un cierto valor en la intensidad del movimiento del suelo producidos por terremotos, en un determinado emplazamiento y durante un periodo de tiempo dado. Comprenden aspectos que caracterizan al terremoto como la magnitud, profundidad del hipocentro, tipo de falla, longitud, etc. [4]

Peligrosidad Sísmica Probabilística

El método probabilístico otorga la posibilidad de identificar, cuantificar y combinar de una manera racional las incertidumbres acerca de la ubicación, tamaño y recurrencia de un terremoto, logrando así proveer una mejor evaluación de la amenaza sísmica. [10]

Peligrosidad Sísmica Determinista

El método determinístico consiste en crear un escenario donde se desarrolle un sismo de tamaño especificado, ubicado en un sitio determinado. Este método puede ser descrito en un proceso de cuatro pasos. [10]

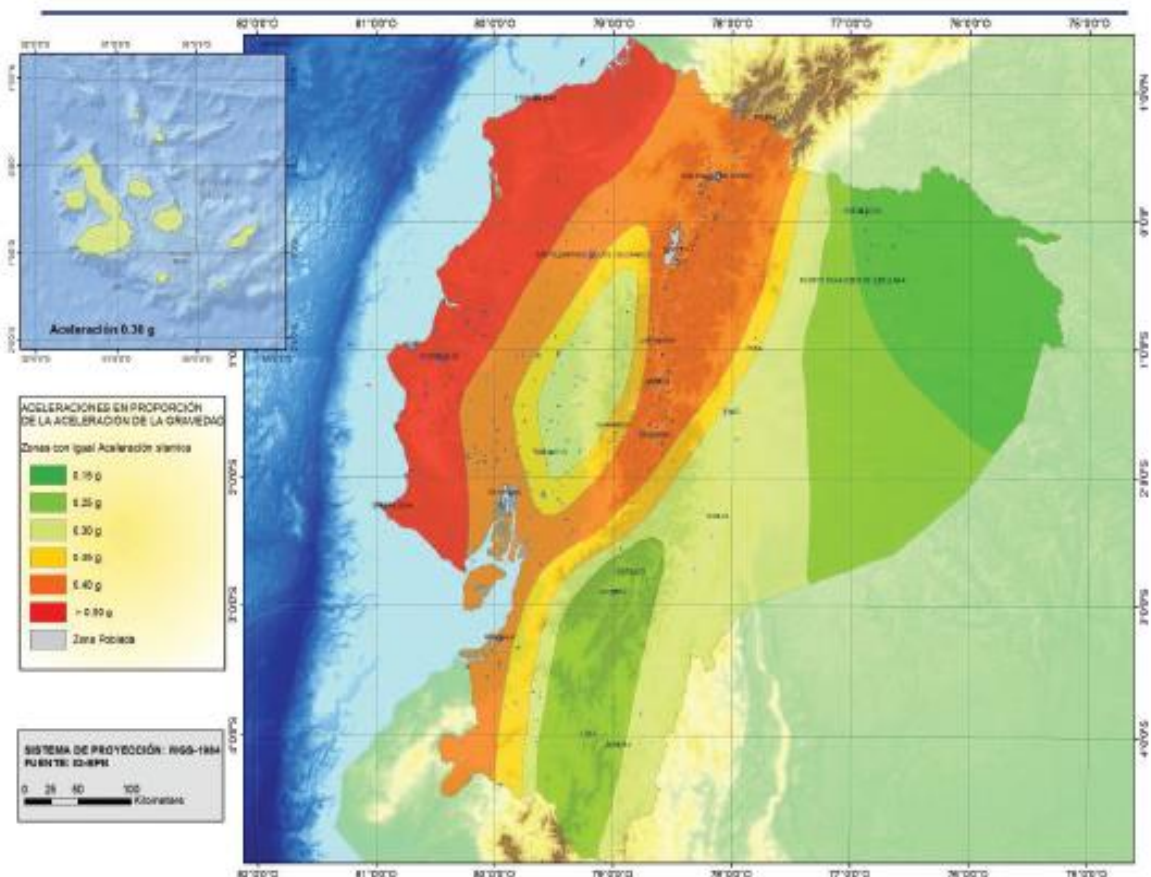
- a) Se identifica las fuentes sísmicas capaces de producir movimientos sísmicos en el sitio o área de interés.
- b) Se selecciona la menor distancia entre la fuente del sismo y el área designada. La distancia puede ser medida al epicentro o al hipocentro, dependiendo de la ley de atenuación que se usará.
- c) Se escoge un terremoto dominante en base a las fuentes sísmicas de paso a) y a la distancia obtenida en el paso b), tomando como parámetro el movimiento sísmico y la magnitud que genera.

- d) Se define el peligro en el sitio designado, donde se producirá un sismo de magnitud alta utilizando las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPE's). [10]

Zona Sísmica en Ecuador

El Ecuador considera la mayor parte de su territorio como amenaza sísmica alta, exceptuando el Nororiente que presenta una amenaza sísmica intermedia y por otra parte el litoral que presenta una amenaza sísmica muy alta. [11]

La Norma Ecuatoriana de la Construcción proporciona un mapa del país, en donde divide al territorio en 6 zonas sísmicas, las mismas que están delimitadas por un valor de zona Z. Además, el mapa reconoce que la principal fuente que crea energía sísmica es la subducción de la placa de Nazca se sumerge por debajo de la placa Sudamericana. [11]



Gráfica 9. Mapa de Zonificación Sísmica del Ecuador

Fuente: NEC_SE_DS (Peligro Sísmico)

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. [11]

Ecuaciones de Predicción del Movimiento del Suelo

Llamadas también Relaciones de Atenuación Sísmica, son expresiones matemáticas que permiten determinar el movimiento del suelo, en base a ciertos parámetros como la Magnitud (indica el tamaño y energía liberada en un sismo) y la distancia fuente-sitio que puede ser medida hasta el epicentro o hipocentro. Logrando obtener valores como la aceleración PGA (Aceleración Máxima en el Terreno) y espectros Sa (espectro de respuesta elástico de aceleración). Otros parámetros que se consideran son la fuente sísmica y el suelo local (descripción del tipo de depósito encontrado bajo el sitio de estudio). [12]

Se utilizará ecuaciones de predicción mencionadas en la NEC 2015 para las fuentes de intraplaca y para las fuentes de subducción:

Fuentes para Fallas Corticales

❖ Boore y Atkinson (2008)

Boore y Atkinson presentan una actualización de las GMPE (Ecuación de Predicción del Movimiento en el Suelo), propuesta por Boore y compañía en 1997. La PEER NGA (Atenuación de Próxima Generación del Centro de Investigación de Ingeniería Terrestre del Pacífico) proporciono una extensa base de datos de miles de registros compilados a partir de la corteza superficial, donde la mayor parte de datos eran provenientes de sitios de clase C y D (roca blanda hasta suelo firme) y muy pocos datos provenían de sitios de Clase A (Roca dura). Boore dijo que siempre buscaba funciones simples para las GMPE, con el menor número de variables predictorias, desarrollando así una ecuación de predicción del movimiento del suelo en función de la magnitud del sismo, distancia de la fuente al sitio, velocidad de la onda de corte promedio del sitio y el tipo de falla. [13]

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

Donde:

F_M, F_D, F_S = Coeficientes en función del Momento, Distancia y Amplificación de sitio

M = Magnitud de Momento

R_{JB} = Distancia a partir de donde se libera la energía hasta el punto de estudio

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

ε = Desviación Estándar

❖ Akkar y Boomer (2010)

Presenta una actualización que corrige los coeficientes de regresión presentados en Akkar y Bommer (2007) manteniendo la misma forma de la ecuación. Se usaron los mismos conjuntos de datos que Akkar y Bommer (2007a) que constan de 532 acelerógrafos registrados a distancias de hasta 100 km de 131 terremotos con sismicidad moderada a alta. Las variables de la ecuación están en función de la Magnitud, distancia de Joyner y Boore y la influencia del estilo de fallamiento. [14]

$$\log(\text{PSA}) = \mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2 M + \mathbf{b}_3 M^2 + (\mathbf{b}_4 + \mathbf{b}_5 M) \log \sqrt{R_{jb}^2 + \mathbf{b}_6^2} + \mathbf{b}_7 S_s + \mathbf{b}_8 S_A + \mathbf{b}_9 F_N + \mathbf{b}_{10} F_R + \epsilon \sigma \quad (2)$$

Donde:

b = coeficientes de regresión

M = Momento de magnitud

R_{jb} = Distancia desde el foco hasta el área del estudio

S_s = Suelo Rígido

S_A = Suelo Blando

F_N = Falla Normal

F_R = Falla Inversa

ε = Número de desviación estándar

σ = Desviación estándar

❖ Kanno (2006)

Japón dispone de algunas relaciones de atenuación, basadas en un conjunto de registros limitados. Por lo tanto, se estableció una nueva relación de atenuación estándar para Japón en base a datos de fuertes registros de movimiento del suelo japonés entre 1963 y 2003. Midorikawa y Ohtake (2002) sugirieron que los registros de movimiento de tierra de terremotos superficiales y profundos tenían diferentes características de atenuación, y al investigar este efecto se determinó que a profundidades focales mayores a 30 km las amplitudes eran diferentes a las de los eventos superficiales. Presentando un modelo base, de 2 ecuaciones, usando solo 2 parámetros (magnitud de momento y distancia fuente), además, se introdujo términos de corrección adicional para los efectos de sitio para mejorar el ajuste del modelo base. [15]

Si la Profundidad Focal ≤ 30 km, se empleará la siguiente ecuación:

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

Si la Profundidad Focal > 30 km, se utilizara la ecuación descrita a continuación:

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

Donde:

$a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2$ = coeficientes de regresión

M_w = Momento de Magnitud

X = Distancia Fuente

D = Profundidad Focal

e = base de logaritmo natural

ε = número de desviación estándar

Fuente de Subducción

❖ Youngs (1997)

Presenta las relaciones de atenuación para subducción de zonas sísmicas, considerando 2 tipos de subducción (Interfase e intraplaca). Las relaciones son desarrolladas por análisis de regresión utilizando un modelo de efectos de regresión aleatorios, que

ayuda a encontrar los movimientos críticos tempranos de las zonas de subducción de movimientos sísmicos. Se formuló una ecuación para eventos en roca y otra para eventos en suelo, tomando como parámetros la magnitud de momento, la profundidad focal, distancia a la fuente del evento y mecanismos para el tipo de evento. [16]

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

Donde:

y = Aceleración espectral en g

M = Momento de magnitud

C₁, C₂, C₃ = Coeficientes de regresión

R = Distancia Fuente-Sitio

H = Profundidad (km)

Z_T = Tipo de falla

e = base de logaritmo natural

❖ Zhao (2006)

Se presenta un modelo de atenuación de aceleración espectral para Japón, considerando el tipo de fuente tectónica, la clasificación del tipo de suelo y los mecanismos de falla, debido a que modelos anteriores no tomaban en cuenta estas características. El conjunto de datos incluye una gran cantidad de registros de movimientos de suelo fuertes hasta las réplicas posteriores a Off Tokach 2003. También se contó con registros proveniente de otros países como Estados Unidos. La ecuación generada adopta el modelo de efectos aleatorios y se utiliza el algoritmo de Abrahamson y Youngs (1992). [17]

$$\log Y = aM_w + bX - \log(r) + e(h - h_c)\delta_h + F_R + S_I + S_S + S_{SL} \log(X) + C_K \quad (6)$$

Donde:

a, b, = coeficientes de regresión para el suelo

X = distancia fuente (km)

r = coeficiente de amplificación en función de la distancia

e = base de logaritmo natural

h = Profundidad focal (km)

h_c = coeficiente de profundidad

δh = variable en función de h y h_c

F_R = Falla inversa

S_L = Evento Interface

S_S = Evento de Subducción

S_{SL} = es un término de modificación de ruta independiente de la magnitud para eventos de placa.

C_K = Clase de sitio

❖ **Lin y Lee (2008)**

Para el presente modelo se usaron registros de datos de movimientos de terremotos de la zona de subducción del noreste de Taiwán de tipo; interfase e intraplaca, obtenidos con los datos del TSMIP (Programa Instrumental de Movimiento-Fuerte de Taiwán) y con los datos del SMART 1 (Programa cooperativo de Movimiento-Fuerte entre el Instituto de Ciencias de la Tierra, Academia Sínica y la Universidad de California en Berkeley). También se tomaron datos de movimientos de tierra extranjeras para los terremotos de gran magnitud. [18]

Para establecer un sistema de ecuaciones apropiados se tomó como referencia los modelos de Crouse (1991) y Youngs (1997), obteniendo ecuaciones de atenuación para clases de sitio en Roca y Suelos. [18]

$$\ln(y) = C_1 + C_2M + C_3 \ln(R + C_4 * e^{C_5M}) + C_6H + C_7Z_T \quad (7)$$

Donde:

C = coeficientes de regresión

M = Magnitud de Momento

R = Distancia fuente-sitio

H = Profundidad Focal

Z_T = Tipo de Falla

Magnitud de Momento (M_w)

La magnitud de momento es la estimación del tamaño máximo de un terremoto que puede ser generado por una falla particular dentro de una zona específica. Por otro lado, no es común que el terremoto máximo haya ocurrido dentro de la falla durante un periodo histórico, debido a eso se consideran ciertos parámetros para determinar la magnitud máxima esperada. [4]

Para determinar la magnitud de momento se utilizó la relación propuesta por Wells – Coppersmith (1994), la cual considera parámetros como la longitud de ruptura de la falla y la magnitud del terremoto. [4]

Tabla 1. Relaciones Empíricas para la Magnitud de Momento

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

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

Fuente: Wells – Coppersmith (1994)

2.1.3 Clasificación de Suelos

Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS)

Este sistema clasifica al suelo en 2 categorías: suelos con partículas gruesas de tipo grava o arena donde el 50% de su peso no debe pasar la malla # 200 y los suelos de grano fino los cuales son limos, arcillas y orgánicos, si más del 50% de su peso pasan la malla # 200. [19]

El método SUCS emplea las iniciales de los nombres ingleses como nomenclaturas para categorizar los suelos; para suelos gruesos son G (grava), S (arena), W (bien graduada) y P (mal graduada). Para los suelos finos son M (limo), C (arcilla), O (orgánicos), H (alta compresibilidad) y L (baja compresibilidad). [19]

Suelos Gruesos

Las gravas y arenas se distinguen con la malla # 4, de tal manera que un suelo pertenece al grupo genérico G, si más del 50% de su fracción gruesa no pasa la malla # 4, y es del grupo S en caso contrario. [19]

Las gravas y arenas se clasifican en 4 subtipos que son:

- Material libre de finos y bien graduado, la misma que escasamente contiene finos, pero en caso de tenerlos el porcentaje no debe ser mayor al 5%. Se los representa como GW y SW.
- Material libre de finos y mal graduado, contiene partículas finas cuyo porcentaje no debe exceder al 5%. Se nombran con las siglas GP y SP.
- Material con cantidad apreciable de finos limosos, el cual debe superar un porcentaje del 12% de su peso total. Se usa la nomenclatura GM y SM.
- Material con cantidad apreciable de finos arcillosos con porcentajes mayores al 12% de su peso total. Su simbología es GC y SC.

Suelos Finos

Se dividen en 3 tipos de grupos, según su límite líquido (**LL**). [19]

- Si **LL** es menor al 50% son considerados suelos de compresibilidad baja, donde las siglas del grupo son ML, CL y OL.

- Si L_L es mayor al 50% son considerados suelos de alta compresibilidad, con las siguientes nomenclaturas MH, CH y OH.
- Grupo perteneciente a las turbas, considerado como material orgánico fibroso que se carboniza. El L_L de este suelo está entre 300% y 500%, y es conocido por sus siglas P_t .

Análisis Granulométrico

Es un ensayo que se realiza para determinar el rango de los tamaños de las partículas que se encuentran presentes en el suelo. los resultados dan a conocer el porcentaje de la grava, arena, limo y arcilla, además de los coeficientes de uniformidad y curvatura. Estos resultados se presentan en graficas semi-logarítmicas. [19]

Tabla 2. Clasificación de suelos SUCS

DIVISION PRINCIPAL		SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TIPICOS	
SUELOS DE GRANOS GRUESOS 50% o más es retenido en el tamiz No. 200	GRAVAS 50% o más de la fracción gruesa es retenido en el tamiz No. 4	GW	Gravas bien gradadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos	
		GP	Gravas y mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos o sin finos	
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava - arena y limo	
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava - arena y arcilla	
	ARENAS Más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4	GRAVAS CON FINOS	SW	Arenas y arenas gravosas bien gradadas con pocos finos o sin finos
			SP	Arenas y arenas gravosas mal gradadas con pocos finos o sin finos
		ARENAS CON FINOS	SM	Arenas limosas, mezclas de arena limo
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla
SUELOS DE GRANOS FINOS 50% o más pasa por el tamiz No. 200	LIMOS Y ARCILLAS Limite liquido de 50% o inferior	ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas	
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla	
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
	LIMOS Y ARCILLAS Limite liquido superior a 50%	MH	Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o de diatomeas limos elásticos	
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas	
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media	
Suelos altamente orgánicos	PT	Turba, estiércol y otros suelos altamente orgánicos		

Fuente: ayudahispano-3000.blogspot.com

Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

La norma NTE INEN 0689 describe los pasos para la realización del Ensayo de Penetración Estándar (SPT). Los cuales se menciona a continuación: [20]

- 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.
- Se debe usar un cabo de manila o similar para el izaje del martinete, por otra parte, si se acciona mecánicamente el cabo debe ser enrollado hasta 2 vueltas en el malacate.
- La barra rígida de acero que sirve de guía en la caída libre del martinete debe estar completamente vertical, con la finalidad de que la energía de los golpes no disminuya por simple efecto de la fricción del martinete sobre la barra.
- El muestreador debe penetrar en primer lugar 15 cm, proceso que es necesario para la preparación y ajuste del ensayo, el número de golpes es arbitrario y se lo considera como un valor relativo de orientación.
- El ensayo inicia con el conteo del número de golpes necesarios para que el muestreador penetre 30 cm.
- Si al hincar este tramo se sobrepasa los 50 golpes, sin que hubiera penetrado la totalidad de la medición en el paso anterior, se debe anotar el número de golpes efectuados y la longitud de penetración del muestreador.
- Posterior a la extracción del muestreador se debe girar por lo menos dos revoluciones, para cortar la muestra, luego se extrae y se mide la longitud de la muestra obtenida, desechando la parte superior ya que no es representativa.
- La muestra se describirá según lo establecido en la norma INEN 0693, se la cierra herméticamente para el envío al laboratorio.
- La muestra debe etiquetarse apropiadamente, donde constaran datos como: número de perforación, número de la muestra, profundidad de extracción, número de golpes, entre otros datos.

Tabla 3. Clasificación de los Perfiles de Suelo

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

Donde:

- **N:** Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil del suelo.
- **V_{s30}:** Velocidad media de la onda de corte.

2.2 HIPÓTESIS

¿El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras del cantón Ambato – sector Huachi Loreto - Barrio Ciudadela Oriente?

2.3 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las Estructuras del Cantón Ambato – Sector Huachi Loreto – Barrio Ciudadela Oriente.

2.3.2 Variable Independiente

Peligro Sísmico Determinista

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

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

Exploratorio porque no se ha realizado el peligro sísmico para las estructuras del barrio Ciudadela Oriente pertenecientes al sector Huachi Loreto. La metodología es evaluar los espectros de respuesta de los sistemas de fallas que se han seleccionado con el espectro propuesto por la NEC 2015.

Laboratorio debido a que no se conoce con certeza el tipo de suelo que posee cada sector de la ciudad de Ambato, para lo cual se harán ensayos de penetración estándar (SPT) utilizando equipos pertenecientes al laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTREO

El estudio de Peligrosidad Sísmica Determinística se lo realizará en el Barrio Ciudadela Oriente (zona seleccionada) perteneciente a la ciudad de Ambato. Para lo cual es necesario disponer del conocimiento de las características geotécnicas del suelo y las Ecuaciones de Predicción del Movimiento del Suelo (GMPE's) que se van a utilizar.

Al ser un trabajo experimental se realizarán 5 perforaciones para el estudio de suelos y no tres (valor mínimo) como recomienda la NEC 2015, esto se lo hace debido a que el área en estudio es amplia. De ser necesario se harán más perforaciones si el sector muestra diferentes perfiles de suelo.

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

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

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente

PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA

Tabla 4. Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Es el desarrollo de un terremoto de tamaño especificado, el cual servirá de base para evaluar el peligro del movimiento sísmico en el área de estudio.	Movimiento Sísmico	- Sismo - PGA	¿Cuál fue la magnitud del terremoto? ¿Cuál es el PGA Obtenido?	- Experimental - Experimental - Bibliográfico

Fuente: William Mise

3.3.2 Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las Estructuras del Cantón Ambato – Sector Huachi Loreto – Barrio Ciudadela Oriente

Tabla 5. Operacionalización de la variable dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Es la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico en un sitio establecido, durante un cierto periodo de tiempo.	Amenaza Sísmica	- Magnitud -Distancia que existe desde el punto sísmico hasta el punto de estudio	¿La magnitud es de amenaza significativa? ¿La distancia que existe tiene relevancia en la amenaza producida?	- Experimental - Bibliográfica - Experimental - Bibliográfica

Fuente: William Mise

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 6. Plan de recolección de datos

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
1. ¿Para qué?	- Para evaluar el peligro sísmico en el barrio Ciudadela Oriente, mediante la determinación de espectros de respuesta asociados a fallas seleccionadas.
2. ¿De qué personas u objetos?	- Un régimen tectónicos, falla que han sido seleccionadas y características del suelo en la zona de estudio.

3. ¿Sobre qué aspectos?	- Influencia del peligro sísmico determinista para las estructuras del sector elegido.
4. ¿Quién?	- William Patricio Mise Flores
5. ¿Dónde?	- Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
6. ¿Cómo?	- Investigación Bibliográfica - Ensayos de Laboratorio - Ensayos de Campo - Norma NEC-2015

Fuente: William Mise

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Los procedimientos para el estudio son los siguientes:

- Seleccionar el área de estudio dentro de la ciudad de Ambato.
- Identificar el régimen tectónico de base al área de estudio.
- Establecer las fallas activas que afectan a la zona designada para el estudio, utilizando los datos de la NeoTec/Ecuador.
- Determinar la magnitud máxima de las fallas establecidas, usando la metodología de Wells – Coppersmith.
- Determinar el tipo de perfil del suelo mediante el ensayo de penetración estándar (SPT).
- Estimar la aceleración máxima esperada en relación al tipo de régimen tectónico, en base a las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPE's).
- Comparación del espectro de respuesta analizado con el espectro dado por la Norma NEC 2015.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1 Zona de Estudio

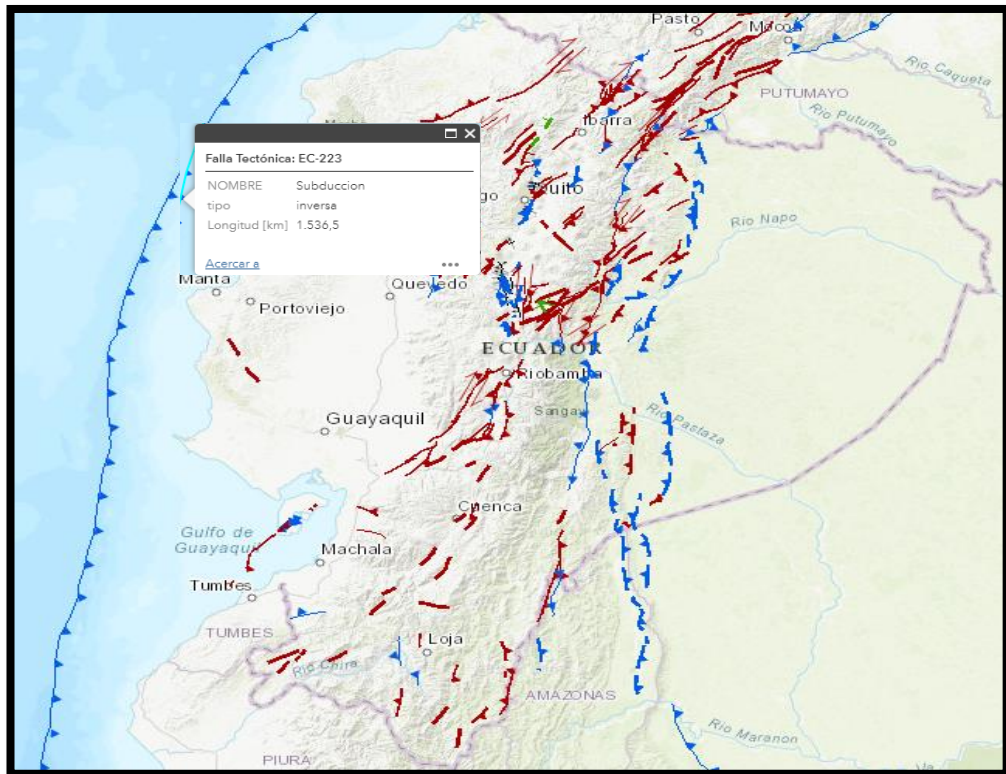
El área de estudio para el proyecto está ubicada en el barrio Oriente perteneciente a la parroquia Huachi Loreto al sur oeste de la ciudad de Ambato (considerada como una región sísmica). La zona de estudio está situada a una altitud de 2640 m.s.n.m y comprende un área de 210 m² aproximadamente, misma que está delimitada por las siguientes calles: Bolivariana al nor-este, Isla Seymour al sur-este, Letamendi al sur-oeste y Los Chasquis al nor-oeste.

En la zona del proyecto se ha sentido la intensidad de terremotos pasados que han sido ocasionados en diferentes lugares del país, un ejemplo de eso es el sismo del 2016 generado en Pedernales, el cual sacudió el área durante pocos minutos. Otro sismo que afecto al área de estudio es el producido en Pelileo en 1949, el cual infligió severos daños a las edificaciones del sector y a la ciudad de Ambato en general.

4.1.2 Selección de Falla Geológicas

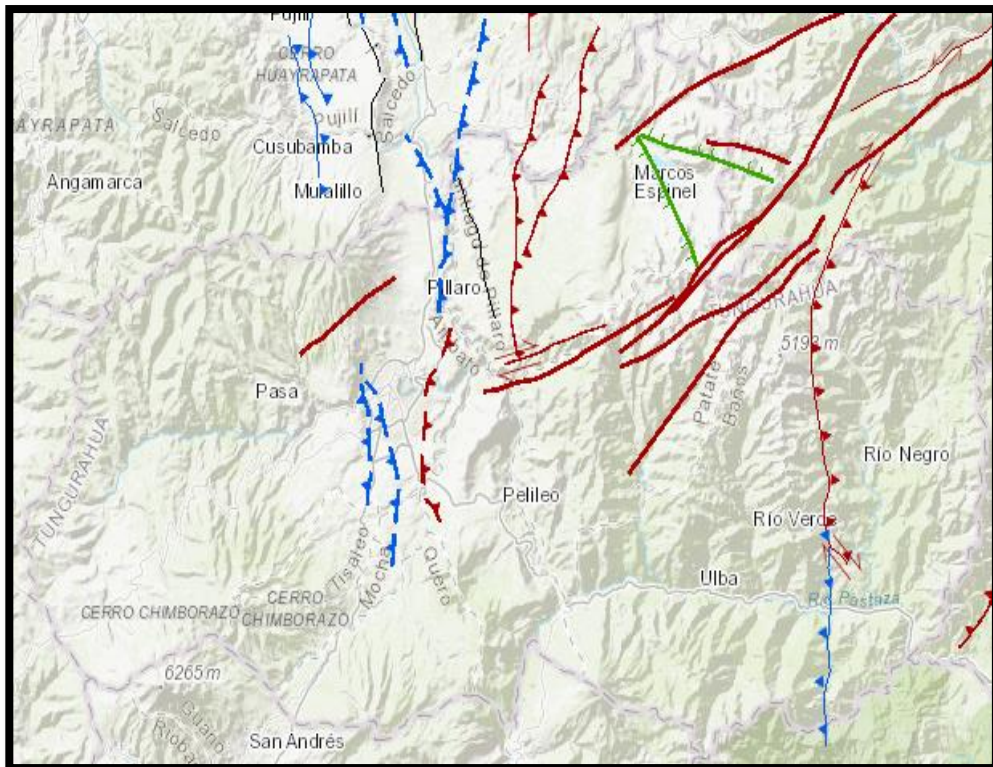
Para el proyecto se escogerán las fallas locales que se encuentren más cercanas al área de estudio, ya que son las que presentan mayor peligro para el barrio Oriente al momento de generarse un sismo, adicionalmente se escogerá una falla de subducción la cual es producida por la interacción entre la placa de nazca y la placa sudamericana y es considerada la principal fuente generadora de energía sísmica en el Ecuador.

A continuación, se presentan gráficas que reflejan las fallas de subducción y corticales existentes en el Ecuador y en el sitio del proyecto:



Gráfica 10. Fallas Geológicas del Ecuador

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional



Gráfica 11. Fallas Geológicas de la Provincia de Tungurahua

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional



Gráfica 12. Fallas Geológicas de Ambato

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

Se escogen 5 fallas tectónicas para la zona de estudio; las 4 primeras son fallas corticales que están dentro de los límites de la ciudad de Ambato y por lo tanto son las más cercanas al sitio del proyecto, la última falla es la de Subducción que bordea todo el perfil costero del Ecuador logrando que sus eventos sísmicos sean percibidos en el sitio del proyecto.

4.1.3 Magnitud de las Fallas

Se determinó el valor M_w (Magnitud de momento) de las fallas empleando la ecuación propuesta por Wells – Coppersmith en la tabla 1 del capítulo 2, la cual se muestra a continuación: [21]

$$M_w = a + b * \log (SRL) \quad (8)$$

Donde:

M_w = Magnitud de Momento

a, b = coeficientes de Wells – Coppersmith en función del tipo de falla

SRL = Longitud de ruptura superficial de la falla (Km)

En la tabla 7, se muestra las características de cada falla, los coeficientes según el tipo de falla y la magnitud de momento:

Tabla 7. Valores de magnitud de momento para cada Falla

Falla	Código	Tipo	Longitud SRL (km)	Distancia R_{JB} (km)	Coeficientes		Magnitud (Mw)
					a	b	
Subducción	EC-223	Inversa	1536.50	307.40	5.00	1.22	8,9
Huachi	EC-334a	Inversa Ciega	12.00	2.73	5.00	1.22	6,3
Ambato	EC-334b	Inversa Ciega	16.30	1.54	5.00	1.22	6,5
Totoras	EC-345	Transcurrente inversa Ciega	17.70	3.30	5.00	1.22	6,5
Samanga	EC-54	Inversa Ciega	33.00	7.46	5.00	1.22	6.9

Elaborado: William Mise - *Datos como la Falla, Código, Tipo, Longitud SRL fueron obtenidos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, mientras que la Distancia y la Magnitud fueron determinados en este trabajo

4.1.4 Características del Suelo

Las tablas 8 a 12, muestran los resultados del ensayo de granulometría a diferentes profundidades de los 5 pozos tomados como muestra dentro del área del proyecto. A partir de estos resultados y empleando la SUCS se establece la tipología del suelo del proyecto.

Tabla 8. Granulometría del suelo – Pozo # 1

TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
PROFUNDIDAD: 1.00 metros			
#4	0	0	100

#200	151	65.74	34.26
Pasa #200	78.7	34.26	
Total	229.70	100	
PROFUNDIDAD: 1.50 metros			
#4	0	0	100
#200	183.90	76.63	23.38
Pasa #200	56.10	23.38	
Total	240.00	100	
PROFUNDIDAD: 2.00 metros			
#4	0	0	100
#200	185.20	69.89	30.11
Pasa #200	79.80	30.11	
Total	265.00	100	
PROFUNDIDAD: 2.50 metros			
#4	0	0	100
#200	178.65	69.42	30.58
Pasa #200	78.70	30.58	
Total	257.35	100	
PROFUNDIDAD: 3.00 metros			
#4	0	0	100
#200	278.10	70.33	29.67
Pasa #200	117.30	29.67	
Total	395.40	100	
PROFUNDIDAD: 3.50 metros			
#4	0	0	100
#200	278.70	73.09	26.91
Pasa #200	102.60	26.91	
Total	381.30	100	
PROFUNDIDAD: 3.85 metros			
#4	0	0	100

#200	252.20	79.84	20.16
Pasa #200	63.70	20.16	
Total	315.90	100	

Elaborado: William Mise

La tabla 8 refleja las cantidades y porcentajes del material tamizado a diferentes profundidades, lo que indica que más del 50% es retenido en el tamiz # 200, por lo que es un suelo de grano grueso y más del 50% pasa por el tamiz# 4, por lo que se clasifica como ARENA.

Tabla 9. Granulometría del suelo – Pozo # 2

TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
PROFUNDIDAD: 1.00 metros			
#4	0	0	100
#200	149.60	64.26	35.74
Pasa #200	83.20	35.74	
Total	232.80	100	
PROFUNDIDAD: 1.50 metros			
#4	0	0	100
#200	86.30	57.11	42.89
Pasa #200	64.80	42.89	
Total	151.10	100	
PROFUNDIDAD: 2.00 metros			
#4	0	0	100
#200	119.40	57.99	42.01
Pasa #200	86.50	42.01	
Total	205.90	100	
PROFUNDIDAD: 2.50 metros			
#4	0	0	100
#200	110.80	62.46	37.54

Pasa #200	66.60	37.54	
Total	177.40	100	
PROFUNDIDAD: 3.00 metros			
#4	0	0	100
#200	168.50	70.74	29.26
Pasa #200	69.70	29.26	
Total	238.20	100	
PROFUNDIDAD: 3.35 metros			
#4	0	0	100
#200	118.10	56.21	43.79
Pasa #200	92	43.79	
Total	210.10	100	

Elaborado: William Mise

La tabla 9 muestra las cantidades y porcentajes del material tamizado a diferentes profundidades, revelando que más del 50% es retenido en el tamiz # 200, por lo que es un suelo de grano grueso y, también, más del 50% pasa por el tamiz# 4, por lo que se clasifica como ARENA.

Tabla 10. Granulometría del suelo – Pozo # 3

TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
PROFUNDIDAD: 1.00 metros			
#4	0	0	100
#200	159.50	69.17	30.83
Pasa #200	71.10	30.83	
Total	230.60	100	
PROFUNDIDAD: 1.50 metros			
#4	0	0	100
#200	131.70	69.17	30.83
Pasa #200	58.70	30.83	

Total	190.40	100	
PROFUNDIDAD: 2.00 metros			
#4	0	0	100
#200	152.70	80.50	19.50
Pasa #200	37	19.50	
Total	189.70	100	
PROFUNDIDAD: 2.50 metros			
#4	0	0	100
#200	272.30	70.20	29.80
Pasa #200	115.60	29.80	
Total	387.90	100	
PROFUNDIDAD: 2.70 metros			
#4	0	0	100
#200	104	64.04	35.96
Fuente	58.40	35.96	
Total	162.40	100	

Elaborado: William Mise

La tabla 10 presenta las cantidades y porcentajes del material tamizado a diferentes profundidades, lo que denota que más del 50% es retenido en el tamiz # 200, por lo que es un suelo de grano grueso, conjuntamente, más del 50% pasa por el tamiz# 4, por lo que se clasifica como ARENA.

Tabla 11. Granulometría del suelo – Pozo # 4

TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
PROFUNDIDAD: 1.00 metros			
#4	5.60	0.84	99.16
#200	461.50	69.17	29.99
Pasa #200	200.10	29.99	
Total	667.2	100	

PROFUNDIDAD: 1.50 metros			
#4	0	0	100
#200	364.90	68.53	31.47
Pasa #200	167.60	31.47	
Total	532.60	100	
PROFUNDIDAD: 2.00 metros			
#4	30.00	4.63	95.37
#200	456.90	70.50	24.87
Pasa #200	161.20	24.87	
Total	648.10	100	
PROFUNDIDAD: 2.50 metros			
#4	7.30	1.58	98.42
#200	342.80	74.17	24.25
Pasa #200	112.10	24.25	
Total	462.2	100	
PROFUNDIDAD: 3.00 metros			
#4	4.60	1.19	98.81
#200	294.80	76.08	22.73
Pasa #200	88.10	22.73	
Total	387.50	100	
PROFUNDIDAD: 3.50 metros			
#4	4.10	1.02	98.98
#200	284.50	70.93	28.05
Pasa #200	112.50	28.05	
Total	401.10	100	
PROFUNDIDAD: 4.00 metros			
#4	0	0	100
#200	281.10	57	43
Pasa #200	212.10	43	
Total	493.20	100	

PROFUNDIDAD: 4.50 metros			
#4	0	0	100
#200	277.30	69.26	30.74
Pasa #200	123.10	30.74	
Total	400.40	100	
PROFUNDIDAD: 5.00 metros			
#4	0	0	100
#200	309.40	69.33	30.67
Pasa #200	136.90	30.67	
Total	426.30	100	

Elaborado: William Mise

La tabla 11 refleja las cantidades y porcentajes del material tamizado a diferentes profundidades, demostrando que más del 50% es retenido en el tamiz # 200, por lo que es un suelo de grano grueso y, por otro lado, más del 50% pasa por el tamiz# 4, por lo que se clasifica como ARENA.

Tabla 12. Granulometría del suelo – Pozo # 5

TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
PROFUNDIDAD: 1.00 metros			
#4	0	0	100
#200	227.80	67.78	32.22
Pasa #200	108.30	32.22	
Total	336.10	100	
PROFUNDIDAD: 1.50 metros			
#4	0	0	100
#200	178.50	67.28	32.72
Pasa #200	86.80	32.72	
Total	265.30	100	
PROFUNDIDAD: 2.00 metros			

#4	0	0	100
#200	151.10	69.03	30.97
Pasa #200	67.80	30.97	
Total	218.90	100	
PROFUNDIDAD: 2.50 metros			
#4	0	0	100
#200	215.70	69.81	30.19
Fuente	93.3	30.19	
Total	309	100	
PROFUNDIDAD: 2.85 metros			
#4	0	0	100
#200	151.5	68.80	31.20
Pasa #200	68.70	31.20	
Total	220.20	100	

Elaborado: William Mise

La tabla 12 expone las cantidades y porcentajes del material tamizado a diferentes profundidades, indicando que más del 50% es retenido en el tamiz # 200, por lo que es un suelo de grano grueso y, más del 50% pasa por el tamiz# 4, por lo que se clasifica como ARENA.

4.1.5 Velocidad Media de la Onda de Corte (V_{S30})

Para determinar el V_{S30} aproximado para la zona de estudio ubicada en el barrio Oriente se utilizó una ecuación de correlación empírica en función al N_{SPT} (Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar), propuesta por Ohta y Goto en 1978. La ecuación fue escogida debido a que el N_{SPT} presentó una relación lógica con el valor de la velocidad de la onda de corte en base a los parámetros establecidos en la NEC-15 para definir el tipo de perfil del suelo. [22]

✚ La ecuación de Ohta y Goto está dada por:

$$V_S = 88 * N^{0.34} \quad (9)$$

Donde:

V_s = Velocidad de la onda de corte (m/s)

N = Número de golpes del ensayo de penetración estándar

A continuación, se presentan 5 tablas donde se muestran los valores del número de golpes obtenidos en el ensayo SPT (Ensayo de Penetración Estándar), así como, los valores de la velocidad de la onda de corte calculados en cada uno de los pozos con sus respectivos tipos de perfil del suelo

Tabla 13. Valores de N_{SPT} , V_{S30} y clasificación del tipo de perfil – Pozo # 1

Profundidad (m)	N_{SPT} (total)	V_{S30} (m/s)	Tipo de Perfil	V_{S30} (m/s) promedio
0.55	Limpieza	-	-	-
0.70	34	Nivel mínimo de Cimentación		
0.85				
1.00				
1.20	53	339.42	D	307.51
1.35				
1.50				
1.70	46	323.46	D	
1.85				
2.00				
2.20	31	282.84	D	
2.35				
2.50				
2.70	28	273.22	D	
2.85				
3.00				
3.20	44	318.61	D	
3.35				
3.50				
3.70	Rechazo	Rechazo	Rechazo	Rechazo
3.85				
4.00				

Elaborado: William Mise

Tabla 14. Valores de N_{SPT} , V_{S30} y clasificación del tipo de perfil – Pozo # 2

Profundidad (cm)	N_{SPT} (total)	V_{S30} (m/s)	Tipo de Perfil	V_{S30} (m/s) promedio
55	Limpieza	-	-	-
0.70	14	Nivel mínimo de Cimentación		

0.85				
1.00				
1.20	34	291.86	D	294.55
1.35				
1.50				
1.70	24	259.27	D	
1.85				
2.00				
2.20	40	308.45	D	
2.35				
2.50				
2.70	44	318.61	D	
2.85				
3.00				
3.20	Rechazo	Rechazo	Rechazo	Rechazo
3.35				
3.50				

Elaborado: William Mise

Tabla 15. Valores de N_{SPT} , V_{s30} y clasificación del tipo de perfil – Pozo # 3

Profundidad (cm)	N_{SPT} (total)	V_{s30} (m/s)	Tipo de Perfil	V_{s30} (m/s) promedio
55	Limpieza	-	-	-
0.70	30	Nivel mínimo de Cimentación		
0.85				
1.00				
1.20	58	349.98	D	330.27
1.35				
1.50				
1.70	39	305.81	D	
1.85				
2.00				
2.20	51	335.01	D	
2.35				
2.50				
2.70	Rechazo	Rechazo	Rechazo	
2.85				
3.00				

Elaborado: William Mise

Tabla 16. Valores de N_{SPT} , V_{S30} y clasificación del tipo de perfil – Pozo # 4

Profundidad (cm)	N_{SPT} (total)	V_{S30} (m/s)	Tipo de Perfil	V_{S30} (m/s) promedio
55	Limpieza	-	-	-
0.70	33	Nivel mínimo de Cimentación		
0.85				
1.00				
1.20	24	259.27	D	301.77
1.35				
1.50				
1.70	44	318.61	D	
1.85				
2.00				
2.20	58	349.98	D	
2.35				
2.50				
2.70	38	303.12	D	
2.85				
3.00				
3.20	38	303.12	D	
3.35				
3.50				
3.70	27	269.86	D	
3.85				
4.00				
4.20	40	308.45	D	
4.35				
4.50				
4.70	Rechazo	Rechazo	Rechazo	Rechazo
4.85				
5.00				

Elaborado: William Mise

Tabla 17. Valores de N_{SPT} , V_{S30} y clasificación del tipo de perfil – Pozo # 5

Profundidad (cm)	N_{SPT} (total)	V_{S30} (m/s)	Tipo de Perfil	V_{S30} (m/s) promedio
55	Limpieza	-	-	-
0.70	27	Nivel mínimo de Cimentación		
0.85				
1.00				
1.20	57	347.92	D	324.83
1.35				
1.50				

1.70	38	303.12	D	
1.85				
2.00				
2.20	46	323.46	D	
2.35				
2.50				
2.70	Rechazo	Rechazo	Rechazo	Rechazo
2.85				
3.00				

Elaborado: William Mise

Se determinó que el suelo en cada pozo pertenece a un **perfil tipo D**, debido a que los valores de V_{S30} (Velocidad Media de la Onda de Corte) calculados a cada 50 cm se encuentran en el rango de $360 \text{ m/s} > V_{S30} \geq 180 \text{ m/s}$, rango que se encuentra establecido en la NEC_SE_DS 2015.

Como alternativa se podría utilizar el dato del N_{SPT} ((Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar) para establecer la tipología del suelo, pero en ocasiones puede indicar un perfil diferente al obtenido con el V_{S30} , de ser ese el caso, se debe utilizar el perfil de suelo más blando (por criterio conservador).

A continuación, se muestra un cuadro donde se obtuvo la velocidad de la onda de corte aproximada para la zona de estudio, mediante el promedio de los 5 datos de V_{S30} calculados en cada pozo, así como su tipo de perfil de suelo.

Tabla 18. Valor promedio de V_{S30} para el área del proyecto

# Pozos	V_{S30} (m/s)	V_{S30} (m/s) promedio	Perfil de Suelo
1	307.51	311.78	D
2	294.55		
3	330.27		
4	301.77		
5	324.83		

Elaborado: William Mise

4.1.6 Ecuaciones de Atenuación para Falla Cortical

Para el estudio de peligro sísmico determinista se utilizaron las ecuaciones de predicción de Atkinson y Boore (2008), Akkar y Bommer (2010) y Kanno (2006), que son ecuaciones validadas por el Global Earthquake Model.

4.1.6.1 Modelo de Boore y Atkinson (2008)

Para el modelo de Boore y Atkinson se utilizó la ecuación (1):

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

Donde:

Y = Valor de la aceleración PGA (Aceleración Máxima del Suelo) dada en cm/seg^2 .

F_M = Ecuación en base a la escala de magnitud.

M = Magnitud de Momento.

F_D = Ecuación en función de la distancia R_{JB} .

R_{JB} = Distancia a partir de donde se libera la energía hasta el punto de estudio o Distancia Fuente – Sitio (km).

F_S = Ecuación en función de la amplificación de sitio.

V_{S30} = Velocidad media de la onda de corte.

ε = Desviación Estándar.

Las ecuaciones de F_M , F_D y F_S se presentan a continuación:

Ecuación en Función de la Distancia (F_D)

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

Donde:

c_1, c_2, c_3, h = Coeficientes escalares de la distancia (Anexo B-2)

M = Magnitud de Momento.

los datos de M_{ref} y R_{ref} son establecidos en el artículo de Boore y Atkinson (2008) con los siguientes valores:

$M_{ref} = 4.5$

$R_{ref} = 1 \text{ km}$

R = coeficiente en función de R_{JB} y h expresado como:

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

Ecuación en base a la escala de Magnitud (F_M)

a) Cuando $M \leq M_h$, se emplea la siguiente ecuación:

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

b) Cuando $M > M_h$, se utiliza la ecuación:

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

Donde:

M = Magnitud de Momento.

M_h = Coeficiente de Magnitud Escalar (Anexo B-3)

$e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7$ = coeficientes escalares de magnitud (Anexo B-3)

U = Variable ficticia No Especificada.

SS = Variable ficticia de Deslizamiento de Huelga.

NS = Variable ficticia de Deslizamiento Normal.

RS = Variables ficticias de Deslizamiento Inversa.

En el apartado de Boore y Atkinson (2008), se presentan los valores para las variables ficticias dentro de 3 categorías de mecanismos de fallas, las cuales se muestran a continuación:

- Para Fallas Transcurrentes que cumpla con la expresión; $4.3 \leq M \leq 7.9$, se utilizan los siguientes valores:

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

- Para Fallas Normales que cumpla con la expresión; $5.3 \leq M \leq 6.9$, se usan los valores siguientes:

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

- Para Fallas Inversas que cumpla con la expresión; $5.6 \leq M \leq 7.6$, se emplean los valores de:

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

Boore y Atkinson (2008) no especifica que datos de las variables ficticias utilizar si el valor de magnitud de momento (M) esta fuera de los rangos establecidos.

Ecuación en Función de la Amplificación del Sitio (Fs)

$$\mathbf{F_s (V_{S30}, \mathbf{R}_{JB}, \mathbf{M}) = F_{LIN} + F_{NL}} \quad (14)$$

Donde:

F_{LIN} = Ecuación en Termino Lineal.

F_{NL} = Ecuación en Termino No Lineal.

Ecuación en Termino Lineal:

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

Donde:

b_{lin} = coeficiente dependiente del periodo (Anexo B-1)

V_{S30} = Velocidad media de la onda de corte.

$V_{ref} = 760$ m/s

El valor de V_{ref} (Velocidad de referencia especificada) también es un dato especificado en el artículo de Boore y Atkinson (2008).

La Ecuación en Termino No Lineal viene dado:

- a) Cuando se cumpla la expresión; $\mathbf{pga4nl} \leq \mathbf{a1}$, se aplica la fórmula:

$$\mathbf{F_{NL} = b_{nl} * \ln (pga_low / 0.1)} \quad (16)$$

- b) Cuando se cumpla la expresión; $\mathbf{a1} < \mathbf{pga4nl} \leq \mathbf{a2}$, se utiliza la fórmula:

$$\mathbf{F_{NL} = b_{nl} * \ln (pga_low / 0.1) + c [\ln (pga4nl / a1)]^2 + d [\ln (pga4nl / a1)]^3} \quad (17)$$

- c) Cuando se cumpla la expresión; $\mathbf{a2} < \mathbf{pga4nl}$, se aplica la fórmula:

$$\mathbf{F_{NL} = b_{nl} * \ln (pga_low / 0.1)} \quad (18)$$

Donde:

b_{nl} es una variable de la pendiente no lineal y pga_{4nl} es un valor de la aceleración máxima en el suelo dado en g (aceleración de la gravedad), el cual es calculado con la ecuación (1), aplicando como valores de F_s (Ecuación en función de la amplificación de sitio) y ϵ (Desviación Estándar) iguales a cero.

Los valores de pga_low (coeficiente de transición entre el comportamiento lineal y no lineal), a_1 (coeficiente de amplificación lineal) y a_2 (coeficiente de amplificación no lineal) son establecidos en el artículo de Boore y Atkinson (2008), los cuales se muestran a continuación:

$pga_low = 0.06$ g (aceleración de la gravedad)

$a_1 = 0.03$ g (aceleración de la gravedad)

$a_2 = 0.09$ g (aceleración de la gravedad)

Los coeficientes c y d pertenecientes a la ecuación (17) están dados por las siguientes expresiones:

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

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

Donde:

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

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

El valor de b_{nl} (pendiente no lineal) se determina en función del V_{s30} (Velocidad media de la onda de corte) mediante las siguientes relaciones:

1. Cuando $V_{s30} \leq V_1$, el valor de b_{nl} se obtiene de la fórmula:

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

2. Cuando $V_1 < V_{s30} < V_2$, el valor de b_{nl} se obtiene de la fórmula:

$$b_{nl} = (b_1 - b_2) \ln (V_{s30}/V_2) / \ln (V_1/V_2) + b_2 \quad (24)$$

3. Cuando $V_2 < V_{s30} < V_{ref}$, el valor de b_{nl} se obtiene de la fórmula:

$$b_{nl} = b_2 \ln (V_{s30}/V_{ref}) / \ln (V_2/V_{ref}) \quad (25)$$

4. Cuando $V_{ref} \leq V_{S30}$, el valor de b_{nl} se obtiene de la fórmula:

$$b_{nl} = 0.00 \quad (26)$$

Donde:

b_1, b_2 = Coeficientes dependientes del periodo (Anexo B-1).

V_{S30} = Velocidad media de la onda de corte.

$V_1 = 180$ m/s.

$V_2 = 300$ m/s.

$V_{ref} = 760$ m/s

El valor de V_1 y V_2 (Velocidades de referencia especificadas) también son datos establecidos en el artículo de Boore y Atkinson (2008).

Limitaciones del Modelo

La ecuación de Boore y Atkinson debe ser usada solo para variables predictorias dentro de los siguientes rangos:

- $5 \leq M$ (Momento de Magnitud) ≤ 8
- R_{JB} (Distancia Fuente – Sitio) < 200 Km
- $180 \leq V_{S30}$ (Velocidad media de la onda de corte) ≤ 360 m/s

El valor de R_{JB} se obtuvo de la distancia perpendicular entre el punto medio del área de estudio y la falla activa seleccionada como se puede ver en la siguiente imagen.



Gráfica 13. Distancia R_{JB} de la falla de Ambato

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

A continuación, se presenta un cuadro resumen de los valores necesarios para utilizar la ecuación de Atkinson y Boore (2008):

Tabla 19. Valores empleados para el modelo de Atkinson y Boore

Mw =	6,3	Rjb =	2.73 km	Falla Huachi	V_{S30} =	311.78m/s	
Mw =	6,5	Rjb =	1.54 km	Falla Ambato			
Mw =	6,5	Rjb =	3.30 km	Falla Totoras			
Mw =	6,9	Rjb =	7.46 km	Falla Samanga			
Tipo de Falla	U		SS	NS	RS		
Inversa	0		0	0	1		
a1	a2	pga_low	V1 (m/s)	V2 (m/s)	V_{ref} (m/s)	M_{ref}	R_{ref} (km)
0.03	0.09	0.06	180	300	760	4.5	1

* Los valores de a₁, a₂, pga_low, V₁, V₂, V_{ref}, M_{ref} y R_{ref} son establecidos por el modelo de Boore y Atkinson

Elaborado: William Mise

4.1.6.2 Modelo de Akkar y Bommer (2010)

Para el desarrollo del modelo de Boore y Atkinson se aplica la ecuación (2):

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

Donde

Y = Valor de la aceleración PGA (Aceleración Máxima del Suelo) dada en cm/seg².

b₁, b₂, ..., b₁₀ = Coeficientes de regresión (Anexo C-1).

M = Momento de Magnitud.

R_{jb} = Distancia a partir de donde se libera la energía hasta el punto de estudio o

Distancia Fuente – Sitio (km).

S_S = Coeficiente para Suelo Rígido

S_A = Coeficiente para Suelo Blando

F_N = Falla Normal

F_R = Falla Inversa

ε = Número de desviación estándar

σ = Desviación estándar

Akkar y Bommer (2010) establecen valores para S_S y S_A en base a 3 categorías de sitio que depende del valor de V_{S30} (Velocidad media de la onda de corte), las cuales se muestra a continuación:

Categoría de Sitios

- Para Suelos Blandos que cumpla con; $V_{S30} < 360 \text{ m/s}$

$$S_S = 1 \text{ y } S_A = 0$$

- Para Suelos Rígidos que cumpla con; $360 \text{ m/s} < V_{S30} < 750 \text{ m/s}$

$$S_S = 1 \text{ y } S_A = 0$$

- Para Rocas que cumpla con; $V_{S30} > 750 \text{ m/s}$

$$S_S = 1 \text{ y } S_A = 0$$

Otros valores dictados en Akkar y Bommer (2010) son el de las variables F_N y F_R que están clasificadas en 3 categorías de mecanismos de fallas, los mismos que se muestran a continuación.

Categorías de Mecanismos de Fallas

- Para Fallas Normales los valores son; $F_N = 1$ y $F_R = 0$
- Para Fallas Inversas los valores son; $F_N = 0$ y $F_R = 1$
- Para Fallas Transcurrentes los valores son; $F_N = 0$ y $F_R = 0$

Limitaciones del Modelo

- La ecuación puede llegar hasta un periodo de 3 segundos.
- La distancia R_{JB} (Distancia Fuente – Sitio) no debe exceder los 100 km.
- El rango de M (Magnitud de momento) debe estar entre 5.0 y 7.6

En caso de no cumplir con cualquiera de las 2 últimas limitaciones de Akkar y Bommer se deberá emplear otro modelo de ecuación.

El siguiente cuadro presenta un resumen de los valores necesarios para utilizar la ecuación de Akkar y Bommer (2010):

Tabla 20. Valores utilizados para el modelo de Akkar y Bommer

M_w =	6,3	R_{jb} =	2.73 km	Falla Huachi	V_{S30} =	311.78m/s
M_w =	6,5	R_{jb} =	1.54 km	Falla Ambato		
M_w =	6,5	R_{jb} =	3.30 km	Falla Totoras		
M_w =	6,9	R_{jb} =	7.46 km	Falla Samanga		
Tipo de Falla	F_N	F_R	Sitios de Suelo	S_s	S_A	Condición
Inversa	0	1	Suelo Blando	1	0	V _{S30} < 360

* Los valores de F_N, F_R, S_s y S_A son establecidos por el modelo de Akkar y Bommer

Elaborado: William Mise

4.1.6.3 Modelo de Kanno (2006)

En el modelo de Kanno se usa la ecuación (3):

Para Eventos Superficiales (Cuando la Profundidad Focal < 30 Km)

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

Donde:

pre = valor de PGA (Aceleración Máxima en el suelo) expresada en cm/seg².

a₁, b₁, c₁, d₁ = coeficientes de regresión para eventos superficiales (Anexo D-1)

M_w = Momento de Magnitud.

X = Distancia Fuente – Sitio (km).

D = Profundidad Focal (km).

e₁ = Base de logaritmo natural.

ε = Número de desviación estándar

Kanno designa al coeficiente e₁ = 0.5 para todos los periodos siendo un valor constante.

Se debe tener en cuenta que la ecuación sin corrección de sitio predice movimientos de suelo en zonas con V_{S30} (Velocidad media de la onda de corte) ≈ 300 m/s. En el caso que se requiera usar la corrección se deberá aplicar la siguiente fórmula:

$$G = \log (\text{obs} / \text{pre}) = p \log V_{S30} + q \quad (27)$$

$$\text{Log pre}_G = \log \text{pre} + G \quad (28)$$

Donde:

G = Termino de Corrección adicional correspondiente a los efectos de sitio.

obs/pre = relación entre la amplitud observada de PGA y los valores de aceleración de PGA (pre).

V_{S30} = Velocidad media de la onda de corte.

p, q = coeficientes de regresión para la corrección de sitio.

pre_G = valor de PGA (Aceleración Máxima en el suelo) expresada en cm/seg^2 , después de que se aplique los términos de correlación adicional.

Kanno obtuvo los coeficientes p y q mediante un análisis de regresión de los residuos promediados a intervalos de cada 100 m/s en V_{S30} (Anexo D-2).

Limitaciones del Modelo

- La Profundidad Focal (D) para eventos poco profundos no debe exceder los 30 Km.
- La Profundidad Focal (D) para eventos profundos debe estar entre los 30 y 180 Km.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de los valores necesarios para utilizar la ecuación de Kanno (2006).

Tabla 21. Valores aplicados para el modelo de Kanno

Mw =	6,3	Rjb =	2.73 km	Falla Huachi	V_{S30} =	311.78m/s
Mw =	6,5	Rjb =	1.54 km	Falla Ambato		
Mw =	6,5	Rjb =	3.30 km	Falla Totoras		
Mw =	6,9	Rjb =	7.46 km	Falla Samanga		
Tipo de Evento	Superficial			e₁ =	0.5	

* El valor de e_1 está definido por el modelo de Kanno

Elaborado: William Mise

4.1.7 Ecuaciones de Atenuación para Falla de Subducción

Para el estudio de peligro sísmico determinista se utilizarán las ecuaciones de predicción de Youngs (1997), Zhao (2006) y Lin y Lee (2008), que son ecuaciones validadas por el Global Earthquake Model.

Se establecerá una profundidad de 125 km para el proyecto, ya que en eventos registrados la profundidad varía entre 30 km hasta más de 160 km, por lo tanto, el valor elegido se puede considerar como un valor intermedio.

4.1.7.1 Modelo de Youngs (1997)

Para el modelo de Youngs se emplea la ecuación (5):

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

Donde:

y = Valor de PGA (Aceleración Máxima en el suelo) expresada en g (gravedad).

M = Magnitud de Momento.

C₁, C₂, C₃ = Coeficientes de regresión para eventos de subducción (Anexo E-1).

R = Distancia Fuente-Sitio (km).

H = Profundidad Focal (km).

Z_T = Tipo de falla Tectónico.

e = Base de logaritmo natural

Para determinar el valor de Z_T, Youngs se basa en el mecanismo de tipo tectónico, el cual se presenta a continuación:

Mecanismo de Tipo Tectónico:

- Para Interfase Z_T = 0
- Para Intraplaca Z_T = 1

Limitaciones del Modelo

- * Magnitud de momento desde Mw 5.0
- * La distancia R (Distancia Fuente-Sitio) debe estar entre los 10 y 500 km
- * La Profundidad focal (D) debe estar en el rango de 10 a 229 km

El siguiente cuadro presenta un resumen de los valores necesarios para utilizar la ecuación de Youngs (1997):

Tabla 22. Valores empleados para el modelo de Youngs

Mw	Rjb	H	Tipo Tectónico	Z _T
6,30	307.40 km	125 km	Intraplaca	1

* El valor de Z_T se establece en Youngs

Elaborado: William Mise

4.1.7.2 Modelo de Zhao (2006)

El modelo de Zhao está definida por la ecuación (6):

$$\mathbf{Log Y = aM_w + bX - \log (r) + e (h - h_c) \delta_h + F_R + S_I + S_S + S_{SL} \log (X) + C_k}$$

Donde

$$r = X + c \exp (d * M_w) \quad (29)$$

Donde:

Y = Valor de PGA (Aceleración Máxima en el suelo) expresada en cm/seg².

a, b, = Coeficientes de regresión para el suelo de subducción (Anexo F-1).

X = Distancia Fuente – Sitio (km).

r = Coeficiente de amplificación en función de la distancia.

e = Base de logaritmo natural.

h = Profundidad focal (km).

h_c = Coeficiente de profundidad (km).

δh = Variable en función de h y h_c.

F_R = Coeficiente para Fallas inversas.

S_L = Coeficiente para Eventos de Interface.

S_S = Coeficiente para Eventos de Intraplaca.

S_{SL} = Término de modificación de ruta independiente de la magnitud para eventos de Intraplaca.

C_K = Clase de sitio.

Se definir un tipo de evento para el modelo, en base al valor de **h** (Profundidad focal), esto se lo realiza en 3 categorías descritas a continuación:

Profundidades Focales (h)

- Para eventos Corticales la profundidad focal debe estar entre 0 y 25 km
- Para eventos Interfase la profundidad focal debe estar alrededor de 15 y 50 km
- Para eventos Intraplaca la profundidad focal debe estar entre 10 y 162 km

En caso de tener terremotos con h (profundidad focal) > 125 km, se usará $h = 125$ km

Una vez definido el tipo de evento, se determina el valor de h_c (coeficiente de profundidad), donde Zhao (2006) considera lo siguiente:

- Para Eventos Superficiales $h_c = 15$ km.
- Para Eventos Profundos $h_c = 0$ km.

El valor de δ_h (variable en función de h y h_c) se determina en base a las siguientes expresiones:

- Si $h \geq h_c$, entonces $\delta_h = 1$
- Si $h < h_c$, entonces $\delta_h = 0$

El F_R (coeficiente para Fallas inversas) es un parámetro establecido por Zhao (2006), que está clasificado en 3 categorías de fallas, las mismas que se muestran a continuación:

Categorías de Mecanismos de Fallas

- Para Fallas Inversas se usan los datos de F_R establecidos en Zhao (Anexo F-1).
- Para Fallas Normales el valor de F_R equivale a 0.
- Para Fallas Transcurrentes el valor de F_R equivale a 0.

Zhao también especifica que se puede usar los valores de F_R cuando el evento es Cortical.

Con la clasificación de los eventos, también se define el uso de los coeficientes S_I (coeficiente para interfase), S_s (coeficiente para intraplaca) y S_{SL} (Término de modificación de ruta independiente de la magnitud para eventos de Intraplaca.).

Clasificación de los Eventos

- Para eventos de Interfase se usan los datos de S_I establecidos en Zhao (Anexo F-1).

- Para eventos de Intraplaca se usan los datos de S_s y S_{SL} establecidos en Zhao (Anexo F-1).

El parámetro C_k (Clase de sitio) se usa en basa a 5 categorías de sitio definidos en el estudio de Zhao:

- Roca Dura denominada clase A, donde $V_{S30} > 1100$ m/s. Usar los datos de C_H .
- Roca con clase de sitio A + B, donde $V_{S30} > 600$ m/s. Usar los datos de C_1 .
- Suelo Duro con clase de sitio C, donde $300 < V_{S30} \leq 600$ m/s. Usar los datos de C_2 .
- Suelo Medio de clase D, donde $200 < V_{S30} \leq 300$ m/s. Usar los datos de C_3 .
- Suelo Suave de clase E + F, donde $V_{S30} \leq 200$ m/s. Usar los datos de C_4 .

Donde:

V_{S30} = Velocidad media de la onda de corte.

C_H, C_1, C_2, C_3, C_4 = coeficientes para la condición de clase de sitio (Anexo F-2).

A continuación, se presenta un cuadro resumen de los valores necesarios para utilizar la ecuación de Zhao (2006).

Tabla 23. Valores utilizados para el modelo de Zhao

Mw =	8,9	Tipo Tectónico			Tipo de Falla	V_{S30}
X =	307.4 km	Intraplaca			Inversa	311.78m/s
h =	125 km	S_I	S_s	S_{SL}	F_R	C_k
h_c =	0 km	0	Usar los datos de la tabla dada por Zhao		1	Usar los datos de la tabla dada por Zhao
δh =	1					

Elaborado; William Mise

4.1.7.3 Modelo de Lin y Lee (2008)

Para el modelo de Lin y Lee se emplea la ecuación (7) :

$$\ln(y) = C_1 + C_2M + C_3 \ln(R + C_4 * e^{C_5 M}) + C_6H + C_7 Z_T$$

Donde:

Y = Valor de PGA (Aceleración Máxima en el suelo) expresada en g (gravedad).

C_1, C_2, \dots, C_7 = coeficientes de regresión para sitios de suelo (Anexo G-1).

M = Magnitud de Momento.

R = Distancia fuente-sitio.

H = Profundidad Focal.

Z_T = Tipo de Falla.

Con el valor de la Profundidad focal se establece que tipo de evento se va a utilizar en el modelo, mediante los siguientes rangos de valores:

Profundidad Focal (H)

- Para Eventos de Interfase la profundidad focal debe estar entre 3.94 y 30 km.
- Para Eventos de Intraplaca la profundidad focal debe esta entre 43.39 y 161 km

En el apartado de Lin y Lee (2008) no especifica qué tipo de evento existe entre una profundidad focal de 30 km hasta 43.39 km.

Para determinar el valor de Z_T , Lin y Lee, se basa en 2 eventos de subducción, las cuales se presentan a continuación:

Tipo de Terremoto en la zona de subducción:

- Para eventos de Interfase, Z_T equivale a 0.
- Para eventos de Intraplaca, Z_T equivale a 1.

El siguiente cuadro presenta un resumen de los valores necesarios para utilizar la ecuación de Lin y Lee (2008):

Tabla 24. Valores aplicados para el modelo de Lin y Lee

Mw	R	H	Tipo Tectónico	Z_T
6,30	307.40 km	125 km	Intraplaca	1

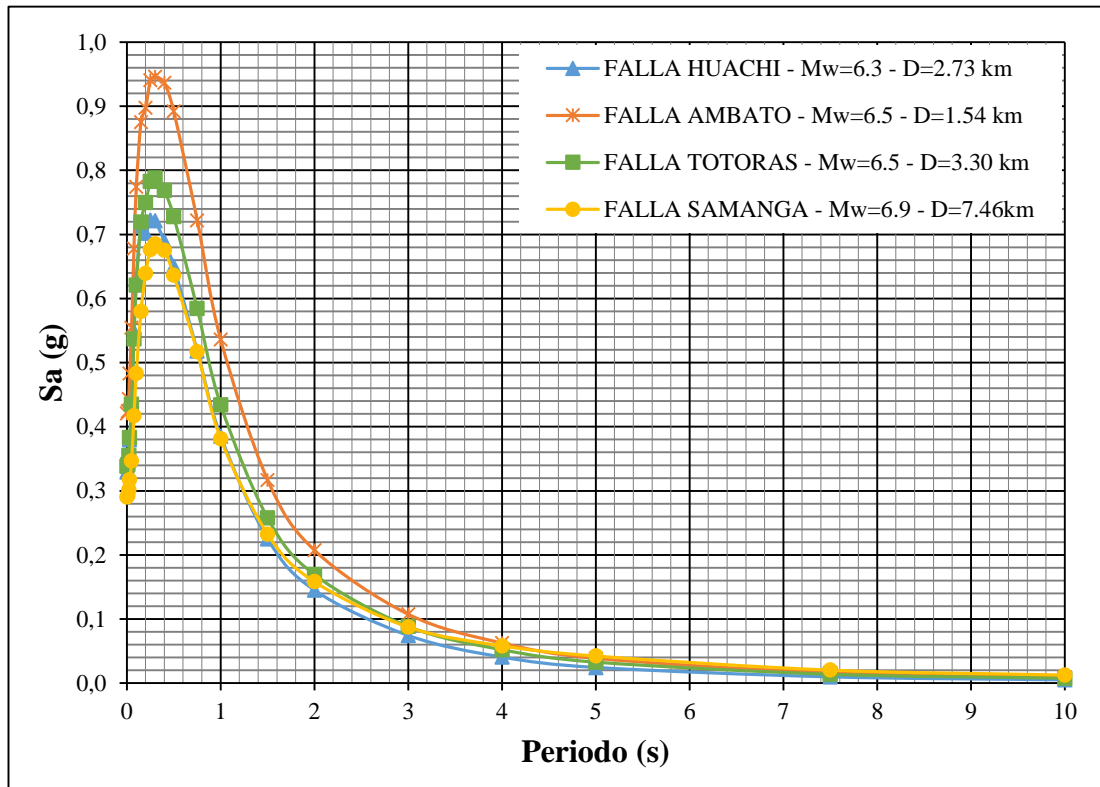
Elaborado: William Mise

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.2.1 Cálculo de los Espectros

Se presentarán las gráficas de los espectros determinados en la zona de estudio (Barrio Oriente) para cada una de las fallas seleccionadas (Huachi, Ambato, Totoras, Samanga y d Subducción).

4.2.1.1 Espectros calculados con el Modelo de Boore y Atkinson



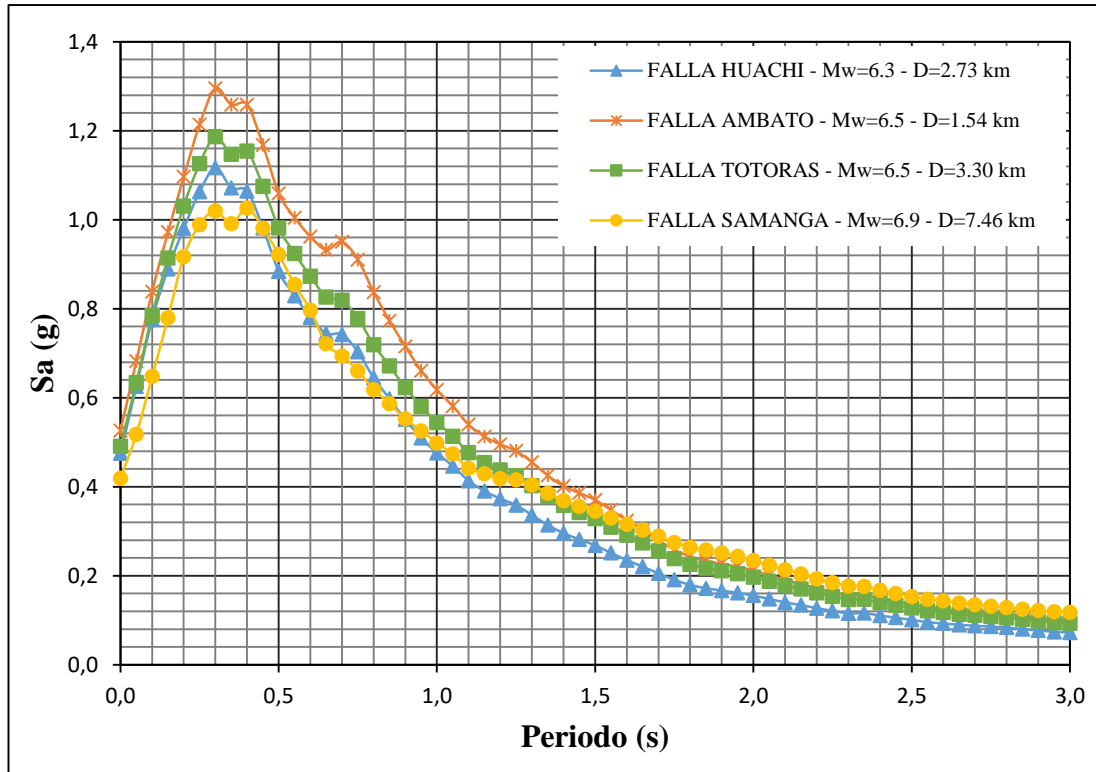
Gráfica 14. Espectro de aceleración obtenidos con el modelo de Atkinson y Boore

Elaborado: William Mise

En la gráfica 14 se muestra que todas las fallas tienen un valor máximo de aceleración en un periodo de **0.3 seg**, seguidamente los valores de aceleración para cada falla van decreciendo hasta llegar a un periodo límite de **5.0 seg**. Los valores máximos de aceleración para las fallas de Huachi, Ambato, Totoras y Samanga son de **0.72 g**, **0.95 g**, **0.79 g** y **0.68 g** respectivamente, estos valores indican que la falla de Ambato es la que predomina en el modelo de Atkinson y Boore.

El valor de aceleración máxima de la falla Huachi muestra un decremento del **24.21%** en relación con la falla Ambato, la falla Huachi con respecto a la falla Totoras tiene un decrecimiento del **8.86%**, la falla Huachi en comparación a la falla Samanga posee un incremento del **5.56%**, la falla Ambato tiene un aumento del **16.84%** en relación a la falla Totoras, la falla Ambato en relación a la falla Samanga tiene incremento del **28.42%**, y finalmente la aceleración máxima de la falla Totoras respecto a la falla Samanga posee un aumento del **13.92%**.

4.2.1.2 Espectros calculados con el Modelo de Akkar y Bommer



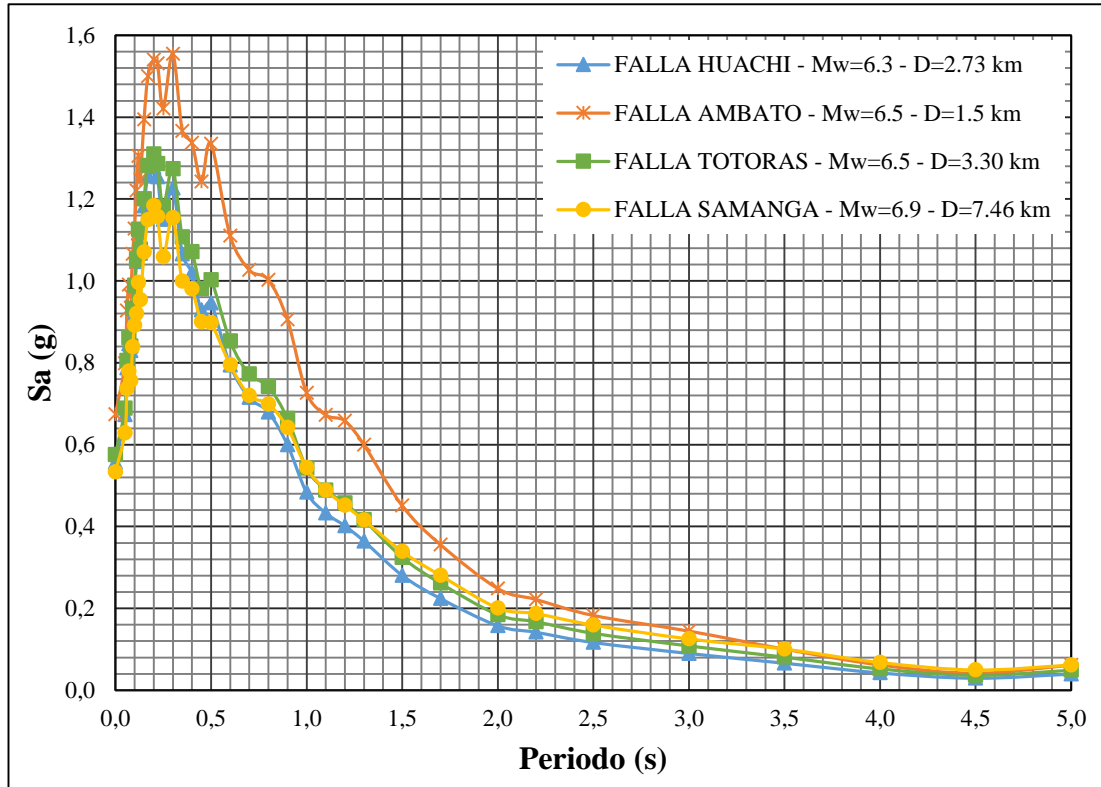
Gráfica 15. Espectro de aceleración obtenidos con el modelo de Akkar y Bommer

Elaborado: William Mise

La gráfica 15, presenta 4 fallas, de las cuales Huachi, Ambato y totoras tienen un valor máximo de aceleración en un periodo de **0.3 seg**, mientras que la falla de Samanga posee el valor de aceleración máxima en un periodo de **0.4 seg**, posterior a esos periodos los valores de aceleraciones de cada falla van decreciendo hasta un periodo límite de **3.0 seg**. Los valores máximos de aceleración para las fallas de Huachi, Ambato, Totoras y Samanga son de **1.12 g**, **1.31 g**, **1.19 g** y **1.03 g** respectivamente. Eso orienta a que la falla de Ambato es la que predomina en el modelo de Akkar y Bommer.

El valor de aceleración máxima de la falla Huachi con respecto a la falla Ambato tiene un decremento del **14.50%**, la falla Huachi en relación con la falla Totoras posee una disminución del **5.88%**, la falla Huachi tiene un incremento del **8.04%** en relación con la falla Samanga, la falla Ambato con respecto a la falla Totoras posee un incremento del **9.16%**, la falla Ambato en comparación con la falla Samanga tiene un aumento del **21.37%**, y finalmente la aceleración máxima entre la falla de Totoras y Samanga posee un acrecentamiento del **13.44%**.

4.2.1.3 Espectros calculados con el Modelo de Kanno



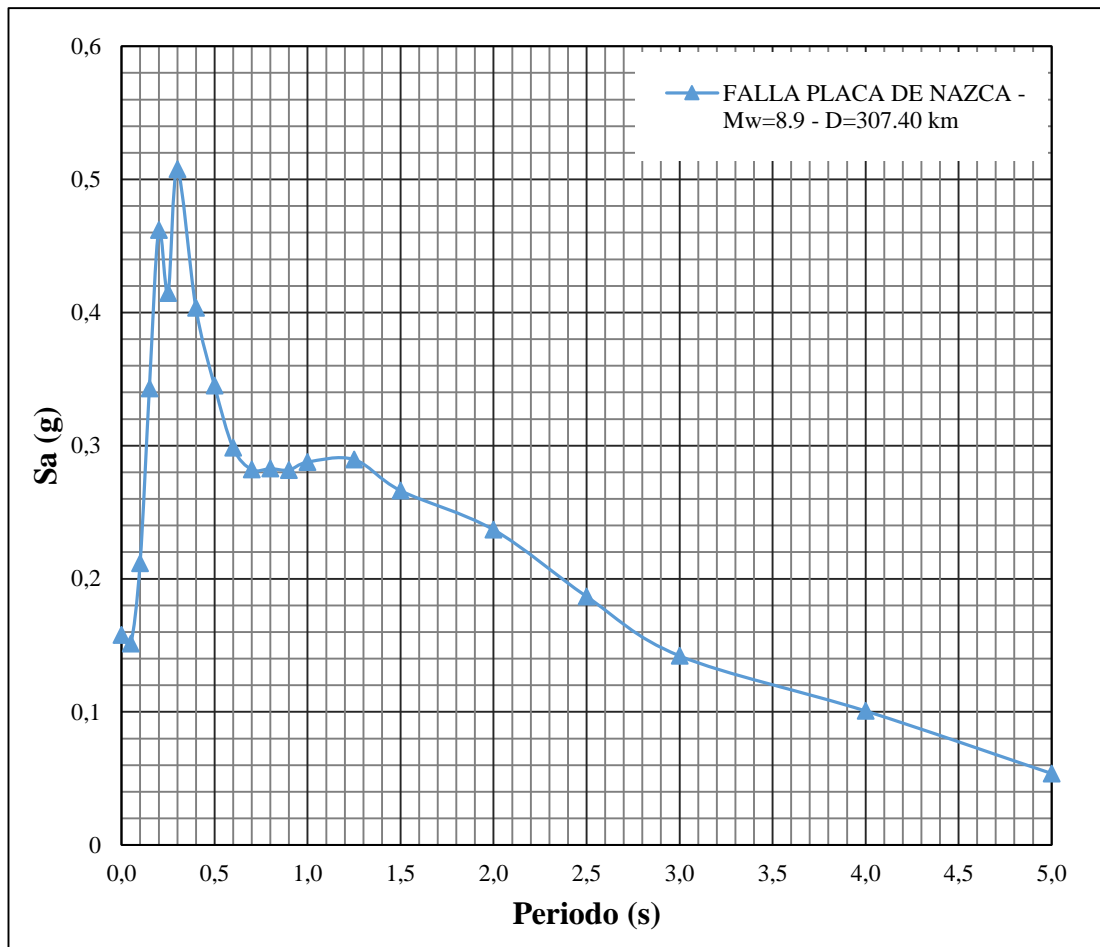
Gráfica 16. Espectro de aceleración obtenidos con el modelo de Kanno

Elaborado: William Mise

La gráfica 16, muestra que la falla de Ambato tiene un valor máximo de aceleración en un periodo de **0.3 seg**, mientras que las fallas de Huachi, Totoras y Samanga tienen aceleraciones máximas en un periodo de **0.20 seg**, posterior a esos periodos los valores de aceleración de cada falla van decreciendo hasta un periodo límite de **5.0 seg**. Los valores máximos de aceleración para las fallas de Huachi, Ambato, Totoras y Samanga son de **1.28 g**, **1.55 g**, **1.31 g** y **1.18 g** respectivamente. Estos valores demuestran que la falla de Ambato es la que predomina en el modelo de Kanno.

El valor de aceleración máxima de la falla Huachi en relación con la falla Ambato posee un decremento del **17.42%**, la falla Huachi tiene una disminución del **2.29%** respecto a la falla Totoras, la falla Huachi comparada con la falla Samanga tiene un incremento del **7.81%**, la falla Ambato tiene un aumento del **17.08%** en relación a la falla Totoras, la falla Ambato con respecto a la falla Samanga tiene un incremento del **23.87%**, y finalmente la aceleración máxima de la falla Totoras supera en un **9.92%** a la falla Samanga.

4.2.1.4 Espectros calculados con el Modelo de Zhao

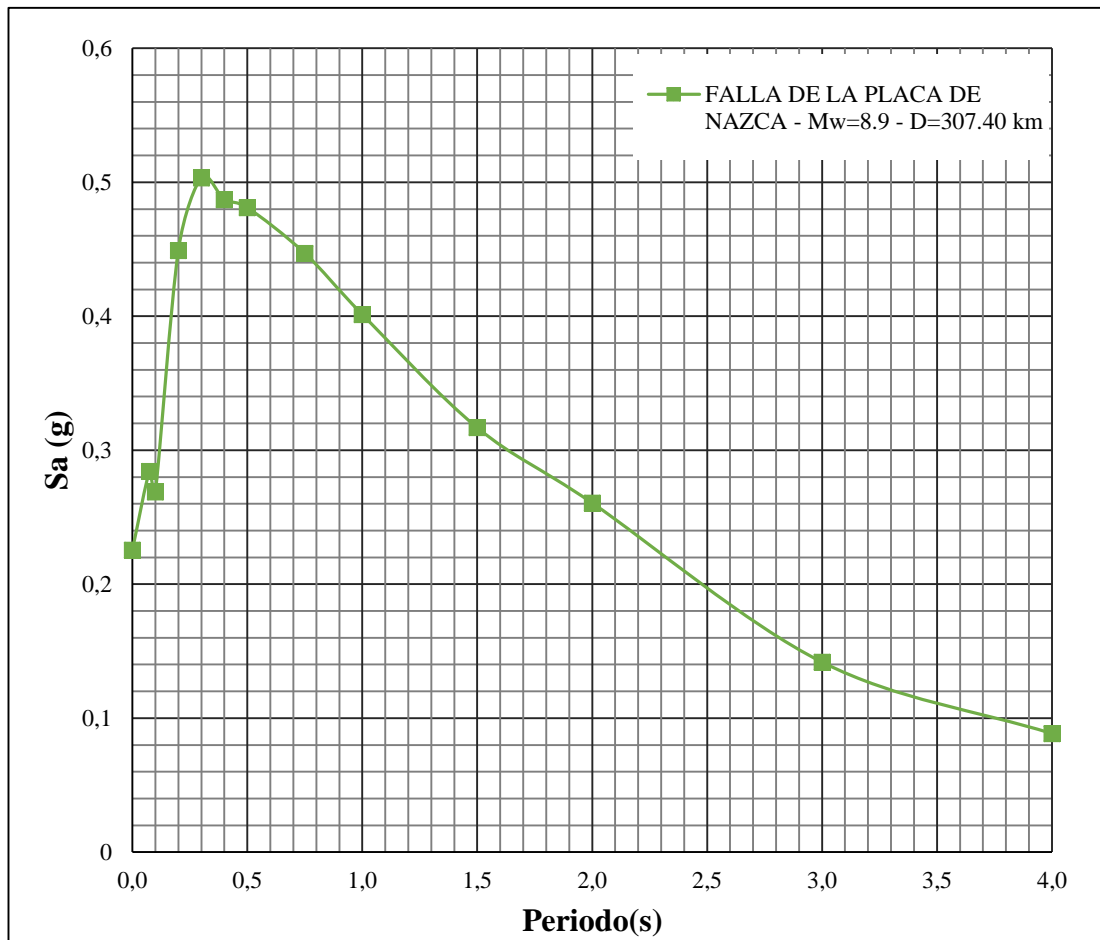


Gráfica 17. Espectro de aceleración conseguido con el modelo de Zhao

Elaborado: William Mise

En la gráfica 17 se muestra al espectro de la falla de la placa de nazca, donde los valores de aceleración van creciendo significativamente desde el periodo **0.0 seg** hasta un periodo de **0.2 seg** que corresponde a un primer valor pico de aceleración de **0.46 g**, luego la aceleración decrece momentáneamente y vuelve a subir hasta un valor máximo de aceleración de **0.51 g** en un periodo de **0.3 seg**, posteriormente los valores disminuyen drásticamente hasta un periodo de **0.7 seg**, después la aceleración sigue decreciendo pero de manera más conservadora hasta llegar a un periodo límite de **5.0 seg** con una aceleración de **0.05 g**.

4.2.1.5 Espectros calculados con el Modelo de Youngs

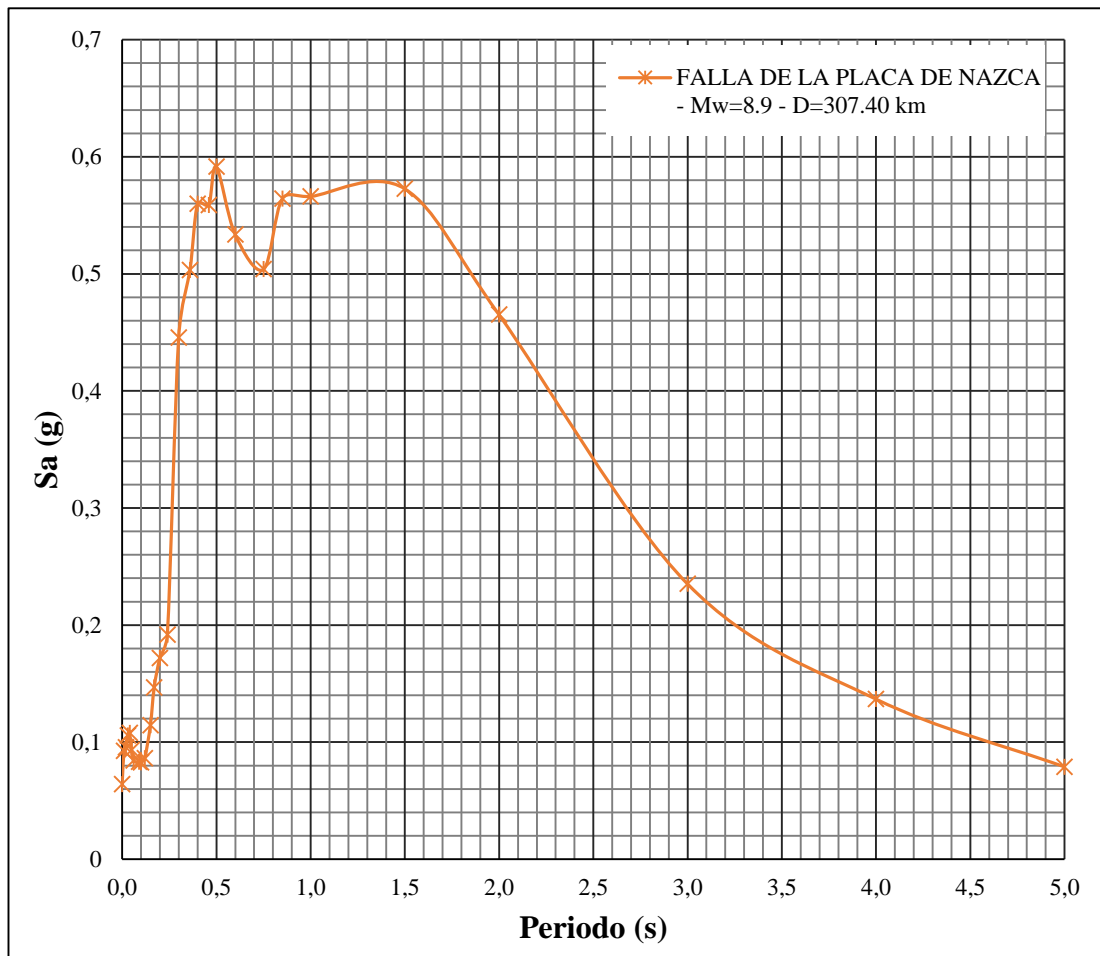


Gráfica 18. Espectro de aceleración conseguido con el modelo de Youngs

Elaborado: William Mise

La gráfica 18, presenta otro espectro de la falla de Subducción, el cual es diferente al anterior tanto en su forma como en sus valores. En la gráfica se observa que las aceleraciones tienen un aumento drástico durante los periodos iniciales partiendo desde **0.0 seg** hasta **0.3 seg**, periodo en el cual se tiene el valor máximo de aceleración correspondiente a **0.50 g**, seguido del periodo de **0.3 seg** los valores de aceleración van decreciendo conforme el periodo va aumentando hasta llegar a un periodo límite de **4.0 seg** con una aceleración de **0.08 g**.

4.2.1.6 Espectros calculados con el Modelo de Lin y Lee



Gráfica 19. Espectro de aceleración conseguido con el modelo de Lin y Lee

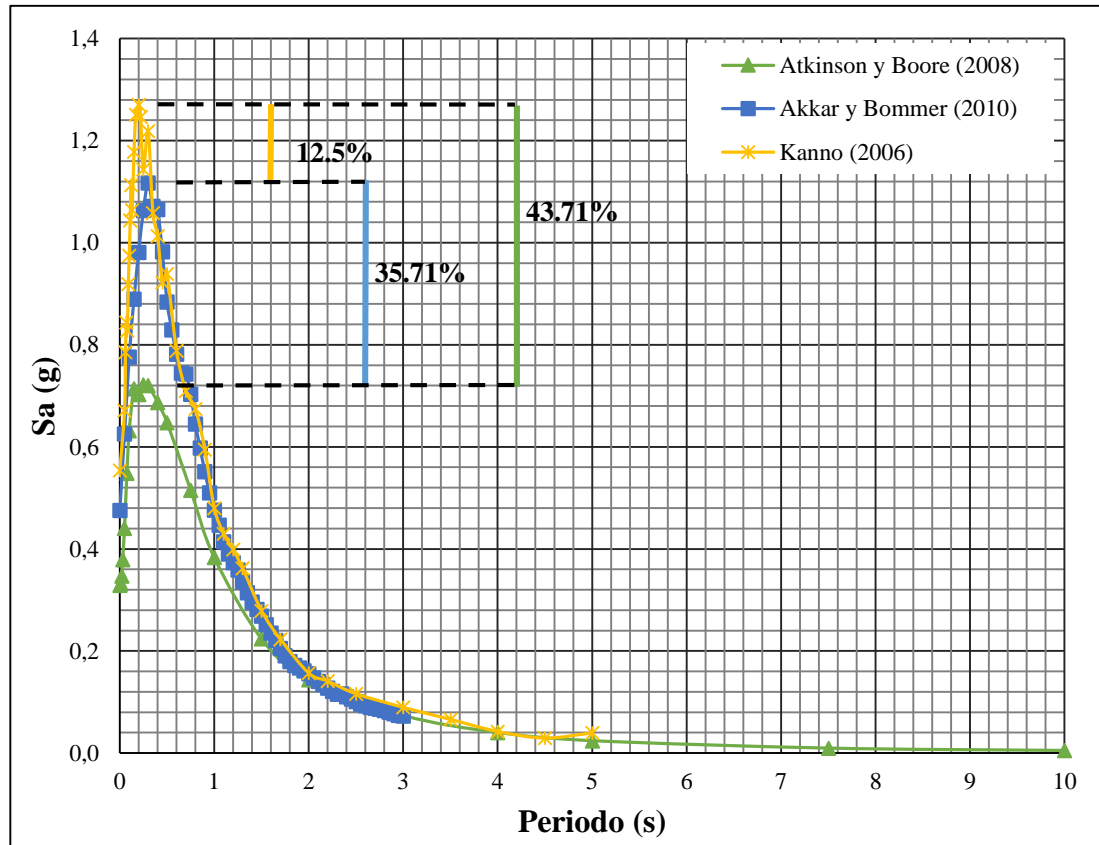
Elaborado: William Mise

La gráfica 19, muestra un espectro distinto para la falla de Subducción, pero al igual que los 2 espectros anteriores, los valores de aceleración van creciendo de manera significativa en un primer tramo de periodo partiendo desde **0.0 seg** hasta **0.5 seg**, en este último periodo se encuentra el valor de aceleración máximo que corresponde a **0.59g**, posteriormente la aceleración decrece hasta un periodo de **0.75s**, luego y a diferencia de los 2 espectros anteriores los valores de aceleración vuelven a crecer formando una especie de curva cóncava hasta un periodo de **1.5s**, posterior a ese periodo los valores de aceleración van disminuyendo hasta llegar a un periodo final de **5.0s** con una aceleración final de **0.07g**.

4.2.2 Espectros con los modelos para una falla

Falla Huachi

La falla de Huachi está situada a una distancia de 2.73 km en dirección Oeste con respecto al área de estudio.



Gráfica 20. Espectros de aceleración con los modelos de Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Huachi

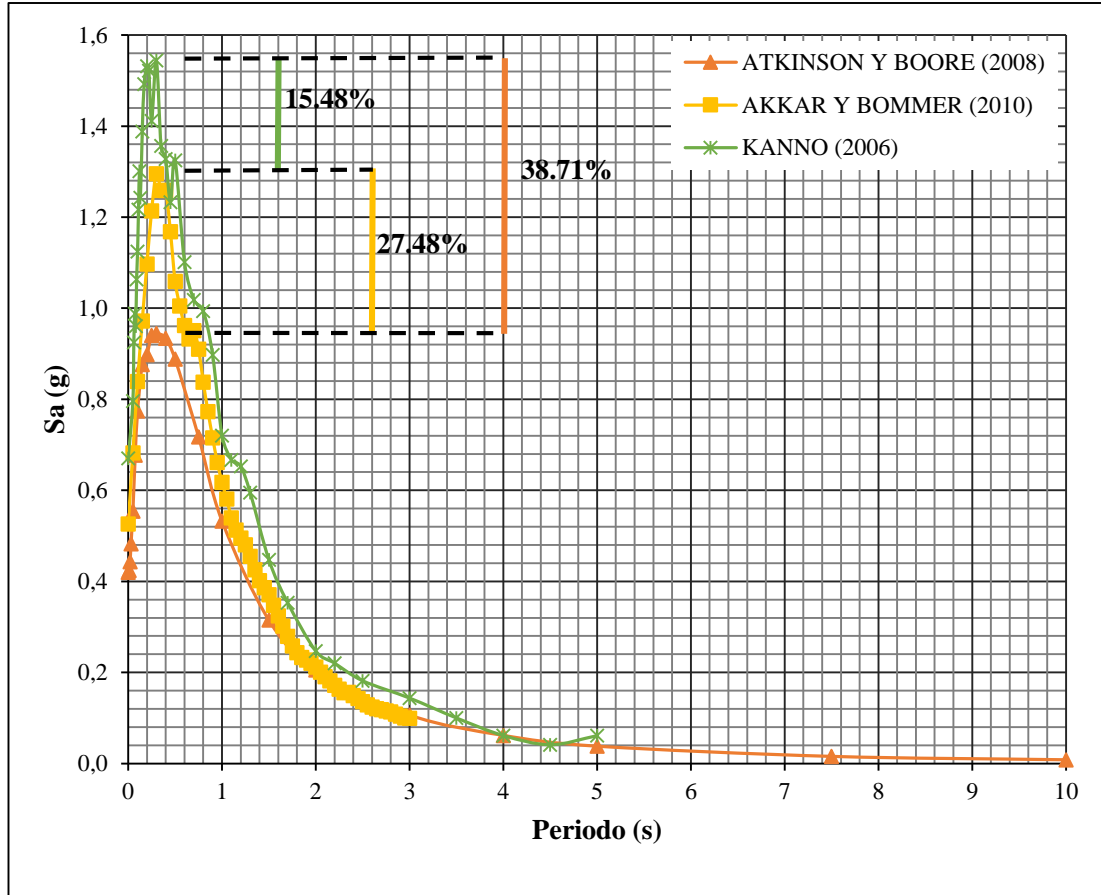
Elaborado: William Mise

La gráfica 20, presenta al modelo de Atkinson-Boore el cual tiene una aceleración máxima de **0.72 g** en un periodo de **0.3 s**, al modelo de Akkar-Bommer que posee un **Sa** máximo de **1.12 g** en un periodo de **0.3 s** y finalmente al modelo de Kanno el mismo que dispone de un valor máximo de aceleración de **1.28 g** en el periodo de **0.2 s**.

El valor de **Sa** máximo del modelo de Kanno presenta un aumento del **12.50%** en relación al modelo de Akkar-Bommer y un incremento del **43.75%** en relación al modelo de Atkinson-Boore, finalmente el modelo de Atkinson-Boore tiene un decrecimiento del **35.71%** frente al valor de Sa máximo del modelo de Akkar-Bommer.

Falla Ambato

La falla de Ambato está situada a una distancia de 1.54 km en dirección Oeste con respecto al área de estudio siendo la falla más cercana.



Gráfica 21. Espectros de aceleración con los modelos de Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Ambato

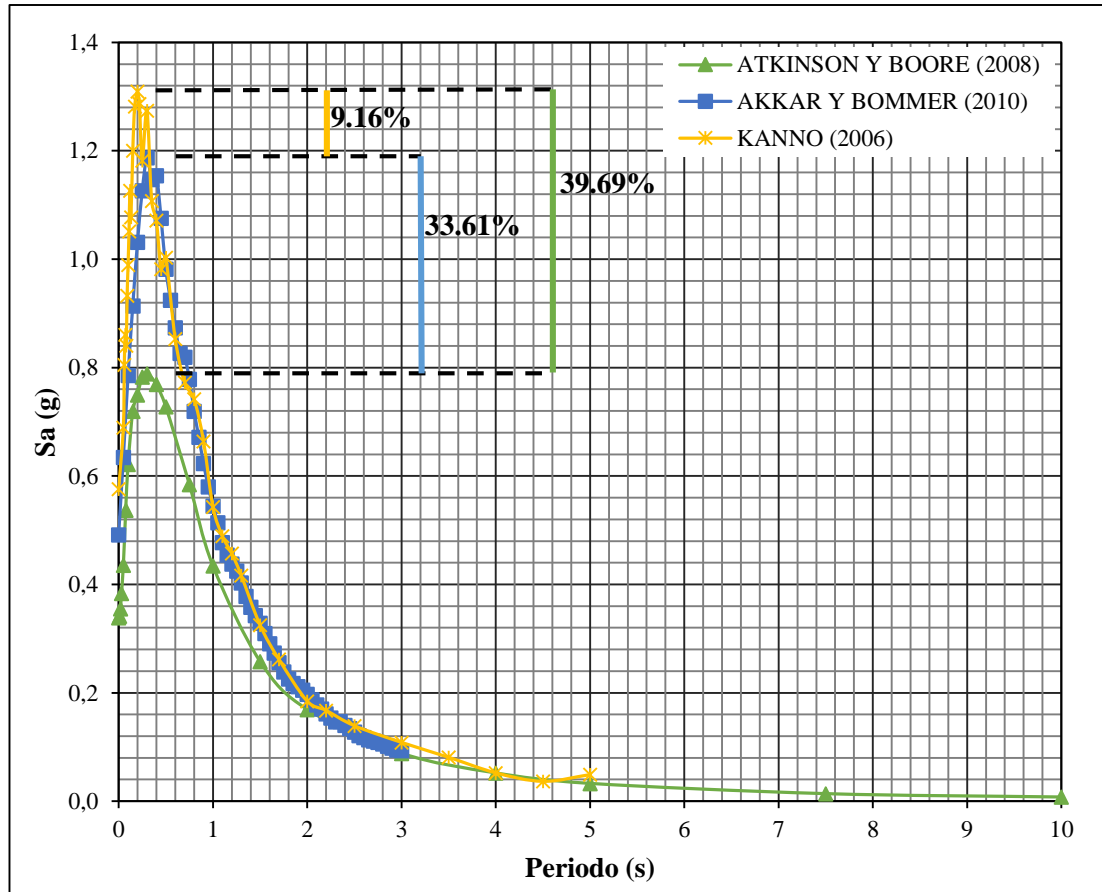
Elaborado: William Mise

La gráfica 21, muestra al modelo de Atkinson-Boore con un Sa máximo de **0.95 g**, al modelo de Akkar-Bommer el cual posee un valor máximo de aceleración de **1.31 g** y al modelo de Kanno que tiene un valor de Sa máximo de **1.55 g**, los 3 espectros manifiestan su aceleración máxima en el periodo de **0.3 s**.

El modelo de Kanno manifiesta un incremento en su aceleración máxima del **38.71%** con respecto al modelo de Atkinson-Boore y un aumento del **15.4%** en relación al modelo de Akkar-Bommer, mientras que, el modelo de Atkinson-Boore muestra un decremento del **27.48%** en su Sa máxima en comparación con el modelo de Akkar-Bommer.

Falla Totoras

La falla de Totoras está situada a una distancia de 3.30 km en dirección Este con respecto al área de estudio.



Gráfica 22. Espectros de aceleración con los modelos de Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Totoras

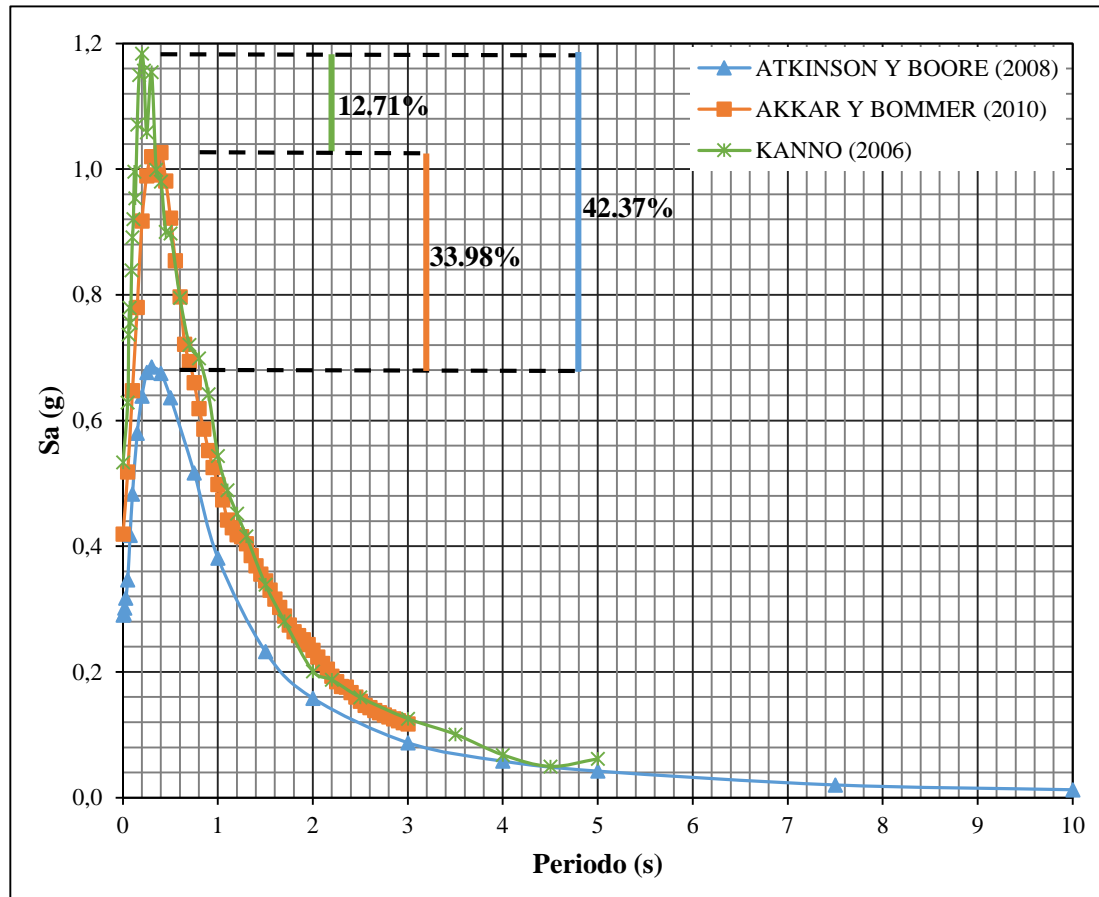
Elaborado: William Mise

La gráfica 22, presenta al modelo de Atkinson-Boore que tiene un valor máximo de aceleración de **0.79 g** en un periodo de **0.3 s**, al modelo de Akkar-Bommer el cual posee un *Sa* máximo de **1.19 g** en un periodo de **0.3 s** y al modelo de Kanno el cual ostenta un valor de aceleración máximo de **1.31 g** en un periodo de **0.2 s**.

El *Sa* máximo del modelo de Atkinson-Boore expresa un decremento del **33.61%** en relación al valor del modelo de Akkar-Bommer, mientras que, el modelo de Kanno frente al modelo de Atkinson-Boore muestra un incremento del **36.69%**, finalmente el modelo de Akkar-Bommer en comparación con el modelo de Kanno tiene un decremento del **9.16%** entre sus aceleraciones máximas.

Falla Samanga

La falla de Samanga está situada a una distancia de 7.46 km en dirección Nor-Este con respecto al área de estudio siendo una falla que esta fuera de la ciudad de Ambato.



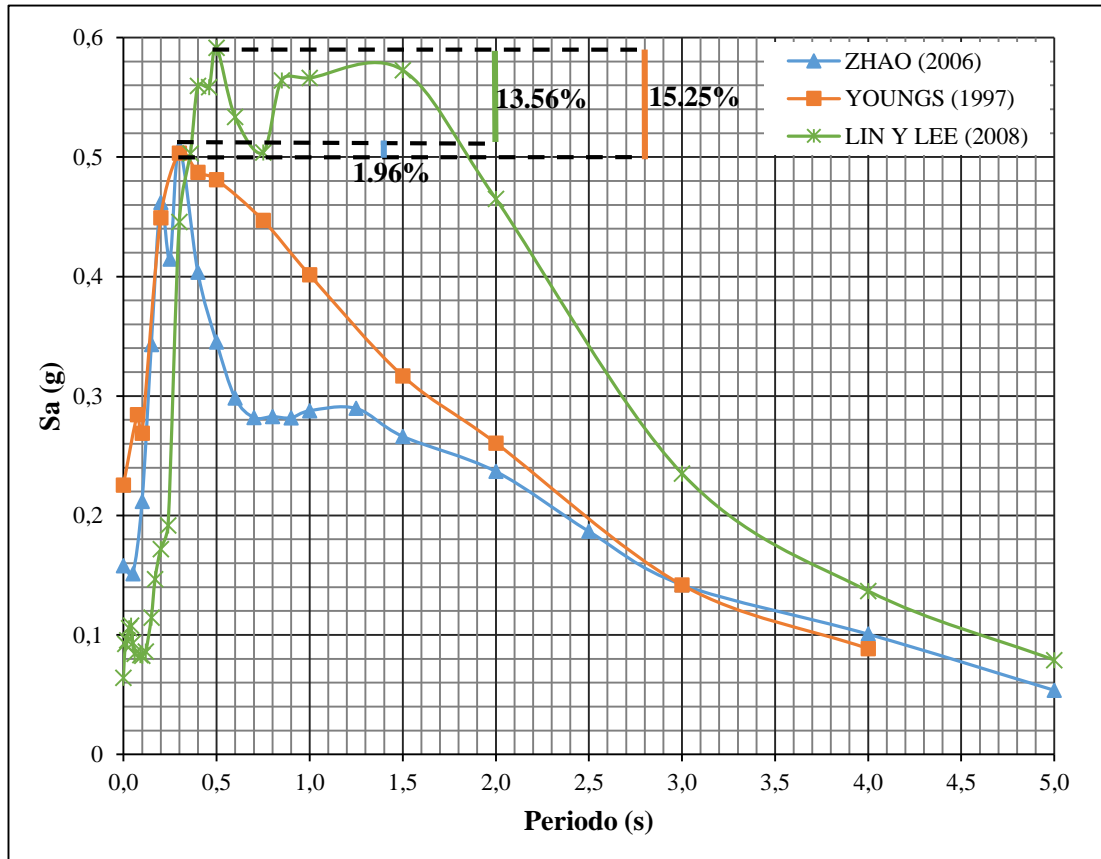
Gráfica 23. Espectros de aceleración con los modelos de Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Samanga

Elaborado: William Mise

La gráfica 23, exhibe al modelo de Kanno el cual posee un Sa máximo de **1.18 g** en el periodo **0.2 s**, al modelo de Akkar-Bommer que tiene un valor máximo de aceleración de **1.03 g** en un periodo de **0.4 s**, y al modelo de Atkinson-Boore el cual tiene una aceleración máxima de **0.68 g** en el periodo de **0.3 s**.

El modelo de Akkar-Bommer tiene un incremento del **33.98%** en su aceleración máxima con respecto al modelo de Atkinson-Boore y un decremento del **12.71%** frente al modelo de Kanno, y por último el modelo de Kanno presenta un incremento del Sa máximo del **42.37%** en relación con el modelo de Atkinson-Boore.

Falla de Subducción



Gráfica 24. Espectros de aceleración utilizando los modelos de Zhao, Youngs y Lin-Lee para la falla de Subducción

Elaborado: William Mise

La gráfica 24, presenta 3 modelos de espectros; Zhao que tiene un valor de aceleración máximo de **0.51 g**, Youngs el cual tiene un Sa máximo de **0.50 g**, estas 2 aceleraciones se manifiestan en un periodo de **0.3 s**, y finalmente Lin-Lee que posee una aceleración máxima de **0.59 g** en el periodo de **0.5 s**.

Zhao y Youngs presentan una pequeña variación del **1.96%** entre sus aceleraciones máximas, en cambio Lin-Lee muestra un incremento del **13.56%** con respecto a Zhao y también un incremento del **15.25%** en relación a Youngs.

El modelo de Lin-Lee presenta un espectro peculiar, debido a que sus aceleraciones en periodos medios y largos son altos, por lo que sus valores de Sa en función de T se alejan en relación a la teoría expuesta por Zhao y Youngs. Por ello para análisis posteriores el modelo de Lin-Lee no será considerado, pero será discutido en el apartado de conclusiones de este trabajo.

A continuación, se presenta un cuadro que resume las aceleraciones máximas y las variaciones porcentuales de cada modelo para cada una de las fallas:

Tabla 25. Valores de las aceleraciones máximas para cada falla y porcentajes de las diferencias de aceleración entre los modelos

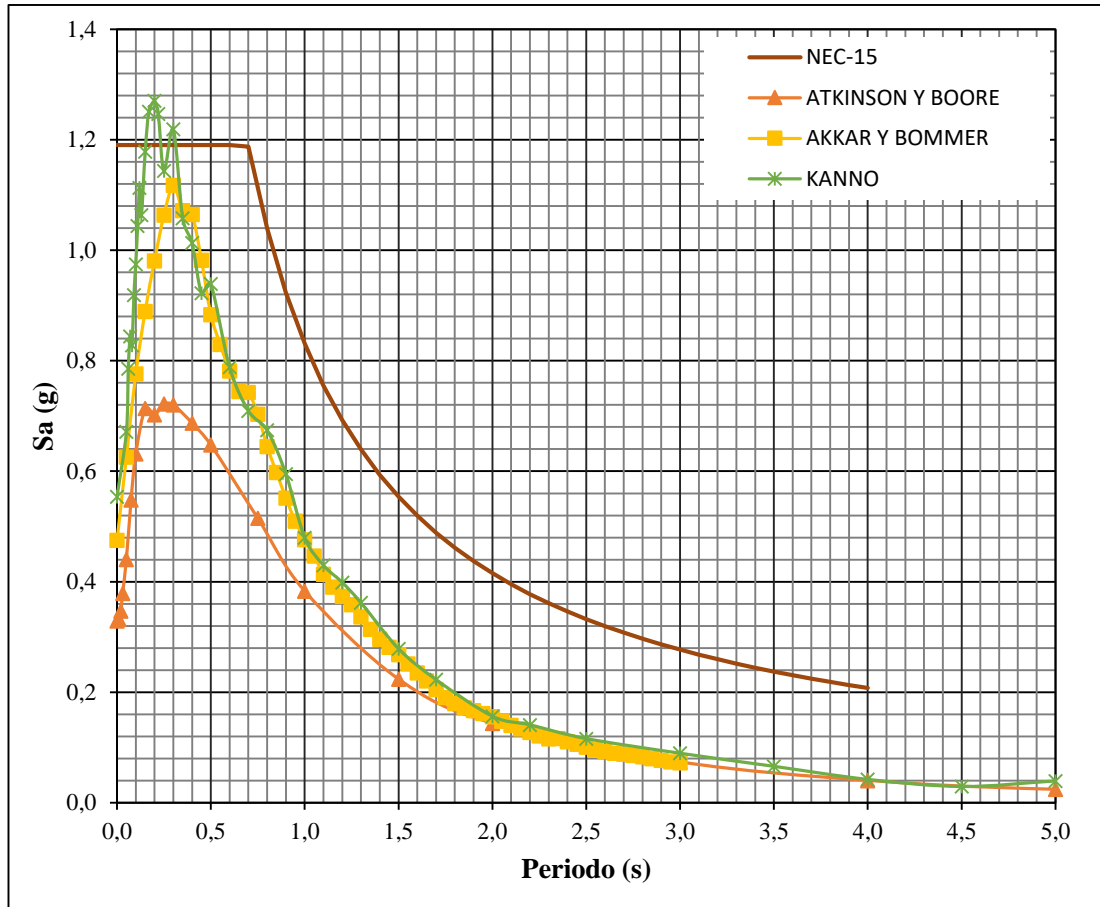
FALLA DE HUACHI				
Modelo	Aceleración max.	Periodo T	Variación % de la Aceleración	
Atkinson y Boore	0.72g	0.3s	Atkinson-B y Akkar-B	35.71%
Akkar y Bommer	1.12g	0.3s	Akkar-B y Kanno	12.50%
Kanno	1.28g	0.2s	Atkinson-B y Kanno	43.75%
FALLA DE AMBATO				
Modelo	Aceleración max.	Periodo T	Variación % de la Aceleración	
Atkinson y Boore	0.95g	0.3s	Atkinson-B y Akkar-B	27.48%
Akkar y Bommer	1.31g	0.3s	Akkar-B y Kanno	15.48%
Kanno	1.55g	0.3s	Atkinson-B y Kanno	38.71%
FALLA DE TOTORAS				
Modelo	Aceleración max.	Periodo T	Variación % de la Aceleración	
Atkinson y Boore	0.79g	0.3s	Atkinson-B y Akkar-B	33.61%
Akkar y Bommer	1.19g	0.3s	Akkar-B y Kanno	9.16%
Kanno	1.31g	0.2s	Atkinson-B y Kanno	39.69%
FALLA DE SAMANGA				
Modelo	Aceleración max.	Periodo T	Variación % de la Aceleración	
Atkinson y Boore	0.68g	0.3s	Atkinson-B y Akkar-B	33.98%
Akkar y Bommer	1.03g	0.4s	Akkar-B y Kanno	12.71%
Kanno	1.18g	0.2s	Atkinson-B y Kanno	42.37%
FALLA DE SUBDUCCIÓN				
Modelo	Aceleración max.	Periodo T	Variación % de la Aceleración	
Zhao	0.51g	0.3s	Zhao y Youngs	1.96%
Youngs	0.50g	0.3s	Youngs y Lin-Lee	15.25%
Lin y Lee	0.59g	0.5s	Zhao y Lin-Lee	13.56%

Elaborado: William Mise

La tabla 32 muestra que 10 de las 15 aceleraciones máximas ocurrieron en un periodo de **0.3 s** que corresponde a un **66.67%**, 4 de las 15 *Sa* máximas se presentaron en un periodo de **0.2 s** lo que se traduce en un **26.67%**, y finalmente solo 1 de las 15 *Sa* máximas se manifestó en el periodo de **0.5 s**, es decir, solo un **6.66%**.

4.2.3 Comparación de los Espectros Obtenidos con el de la Nec-15

Falla Huachi



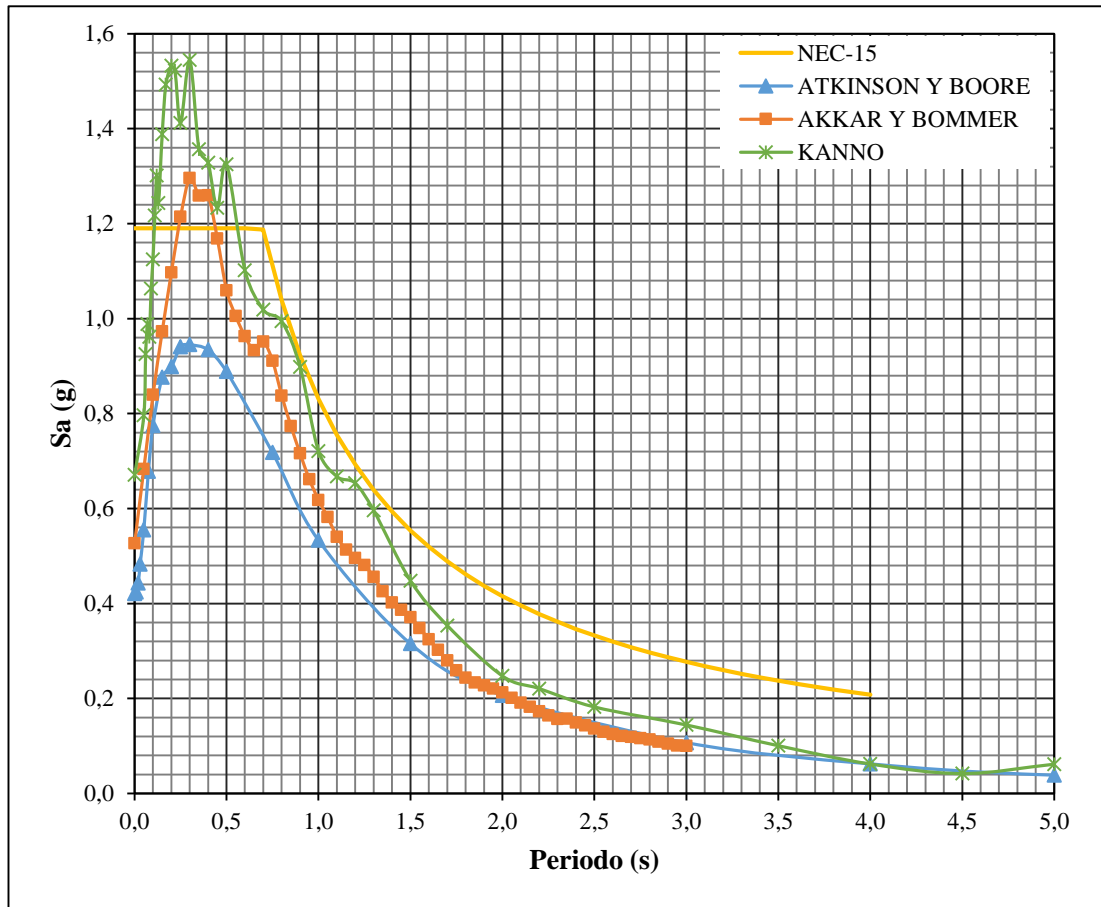
Gráfica 25. Espectros de aceleración con los modelos de la NEC-15, Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Huachi

Elaborado: William Mise

La gráfica 25 muestra que los espectros de Atkinson-Boore y Akkar-Bommer están totalmente dentro del rango de los valores de aceleración del espectro de la NEC-15, mientras que el modelo de Kanno lo sobrepasa durante un breve intervalo de periodo, pero luego vuelven a estar dentro del rango de la NEC-15.

El espectro de la NEC-15 tiene un valor máximo de aceleración de **1.19g** durante un periodo de **0.0 s a 0.6 s**, este valor supera al obtenido con el modelo de Atkinson-Boore (0.72 g) en un **39.50%** y también supera al valor máximo conseguido con el modelo de Akkar-Bommer (1.12 g) en un **5.88%**, en cambio el modelo de Kanno supera al modelo de la NEC-15 durante un periodo de **0.16 s a 0.23 s**, donde la aceleración pico del modelo de Kanno (1.28 g) es mayor en un **7.03%**.

Falla Ambato



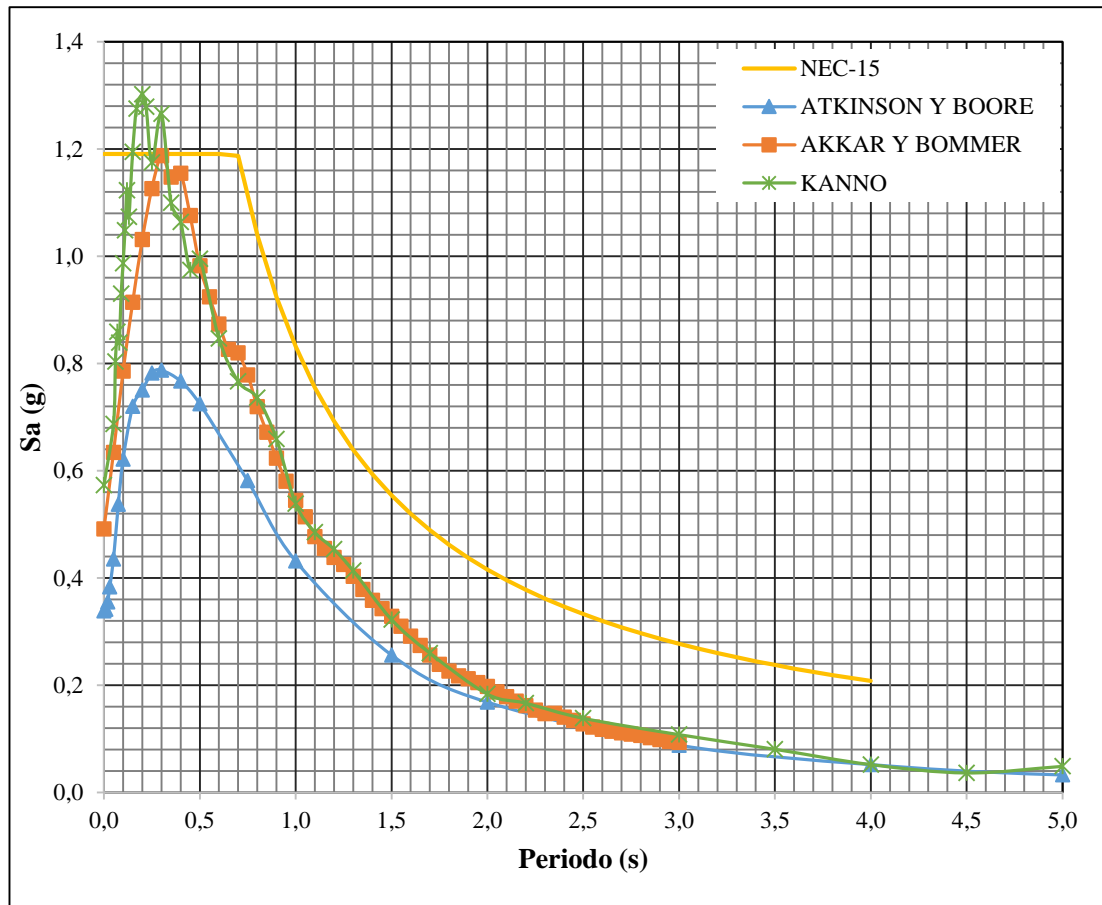
Gráfica 26. Espectros de aceleración con los modelos de la NEC-15, Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Ambato

Elaborado: William Mise

En la gráfica 26 se observa que el espectro de Atkinson-Boore están totalmente dentro del rango de los valores de Sa del espectro de la NEC-15, mientras que el modelo de Akkar-Bommer y el modelo de Kanno lo sobrepasan durante breves intervalos de periodo, pero luego vuelven a estar dentro del rango.

Durante un periodo de **0.0 s a 0.6 s** el espectro de la NEC-15 posee un Sa máximo de **1.19 g**, este valor supera al obtenido con el modelo de Atkinson-Boore (0.95 g) en un **20.17%**, por otro lado el espectro de Akkar-Bommer supera al de la NEC-15 durante un periodo de **0.25s a 0.43s** en donde la aceleración máxima del modelo de Akkar-Bommer (1.31 g) es mayor en un **9.16%**, y por último el espectro de Kanno también supera al de la NEC-15 en un periodo de **0.11s a 0.56s**, donde la aceleración máxima del espectro de Kanno (1.55g) es mayor en un **23.22%**.

Falla Totoras



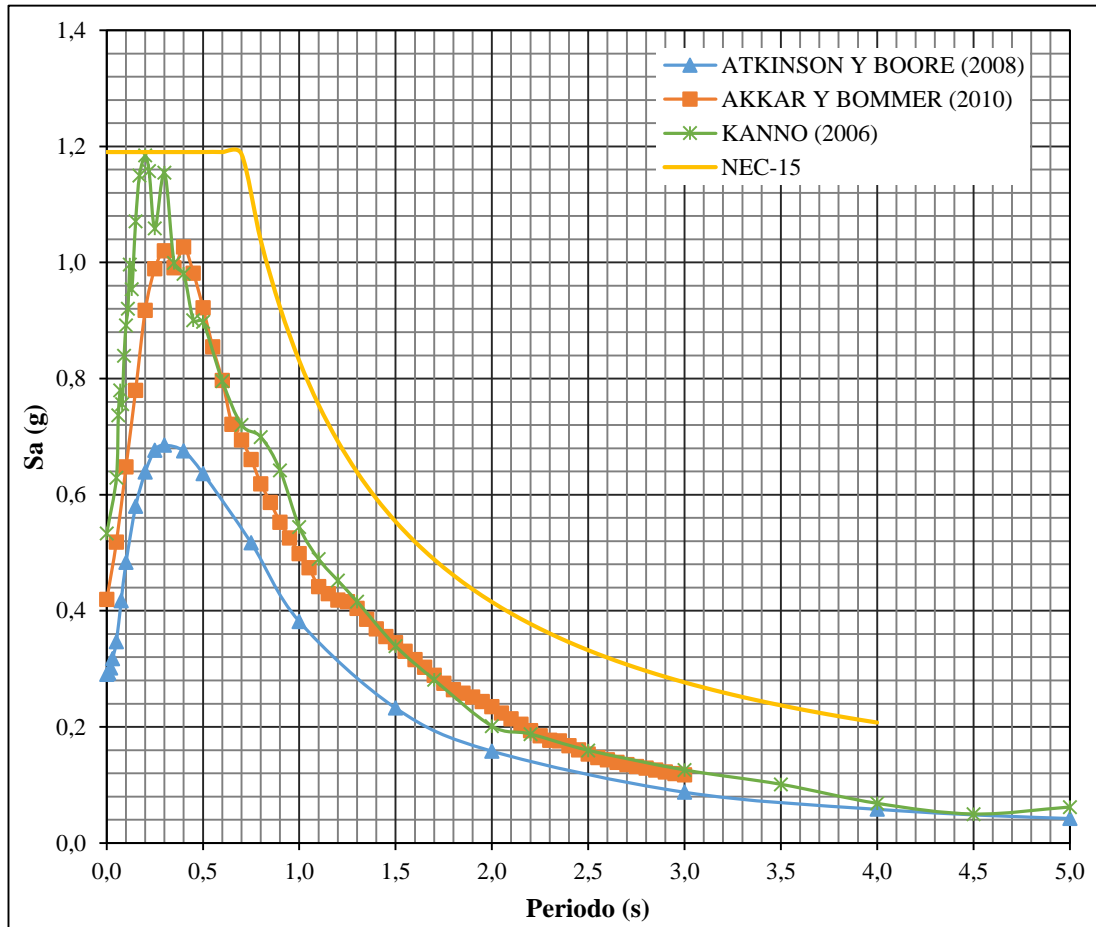
Gráfica 27. Espectros de aceleración con los modelos de la NEC-15, Atkinson - Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Totoras

Elaborado: William Mise

La gráfica 27 muestra que el espectro de Atkinson-Boore y el espectro de Akkar-Bommer están completamente en el interior del rango de aceleración dadas por el espectro de la NEC-15, mientras que el modelo de Kanno rebasa durante un breve intervalo de periodo, y posteriormente vuelve a estar dentro del rango.

El espectro de la NEC-15 durante un periodo **0.0 s a 0.6 s** tiene un **Sa** máximo de **1.19 g**, valor que supera al conseguido con el espectro de Atkinson-Boore (0.79 g) en un **36.61%**, en cambio el espectro de Akkar-Bommer (1.19 g) posee el mismo **Sa** máximo que el de la NEC-15, y finalmente el espectro de Kanno vence al espectro de la NEC-15 durante un periodo de **0.15s a 0.24s**, en el cual la aceleración máxima del modelo de Kanno (1.31 g) es mayor en un **9.16%**.

Falla Samanga



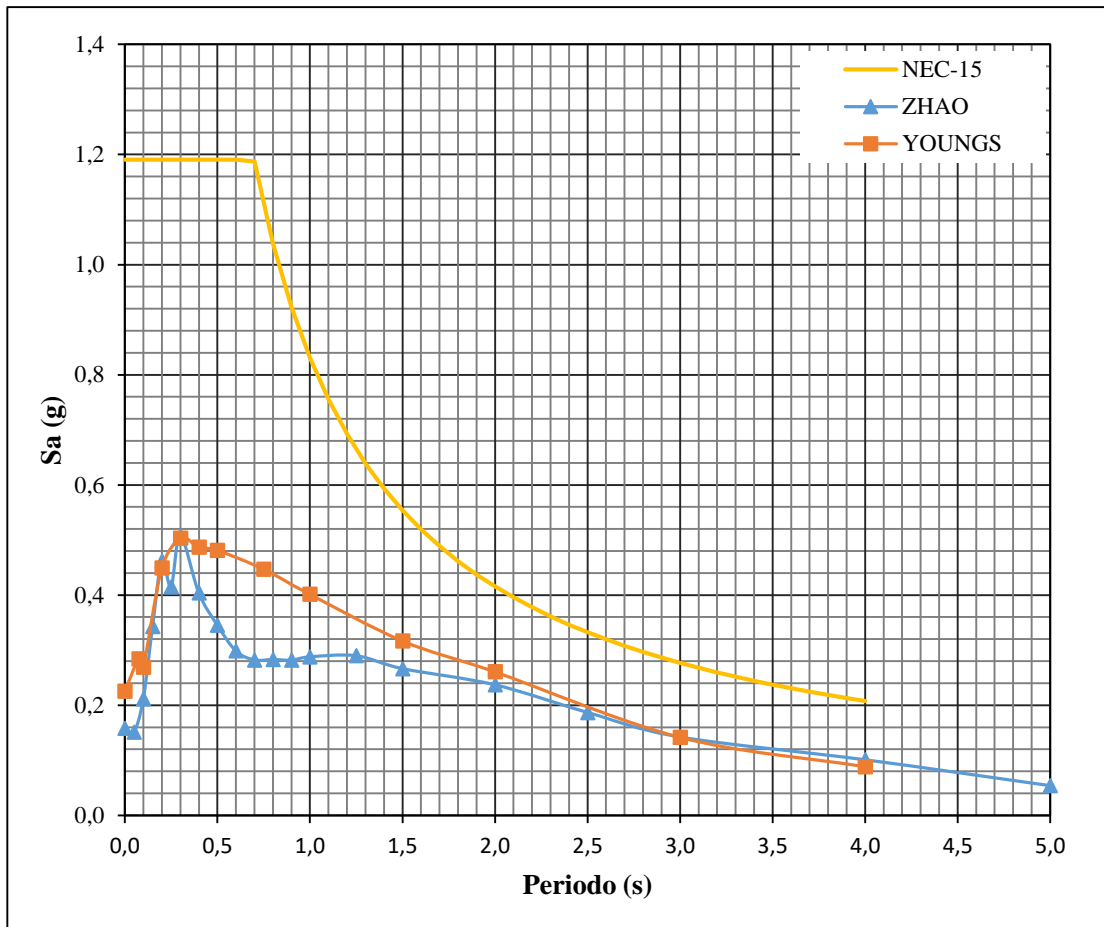
Gráfica 28. Espectros de aceleración con los modelos de la NEC-15, Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Samanga

Elaborado: William Mise

La gráfica 28 muestra que los 3 espectros (Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno) están absolutamente dentro de los valores de aceleración dados por el espectro de la NEC-15.

La aceleración máxima del espectro de la NEC-15 es de **1.19 g** durante un periodo de **0.0 s a 0.6s**. Este valor de aceleración rebasa al conseguido con el modelo de Atkinson-Boore (0.79 g) en un **33.61%**, superando también al valor máximo conseguido con el modelo de Akkar-Bommer (1.02 g) en un **14.29%**, y finalmente la aceleración máxima del modelo de Kanno (1.18 g) es menor en un **0.84%** en relación al valor de aceleración máxima de la NEC-15.

Falla de Subducción



Gráfica 29. Espectros de aceleración con los modelos de la NEC-15, Atkinson - Boore, Akkar-Bommer y Kanno para la falla de Subducción

Elaborado: William Mise

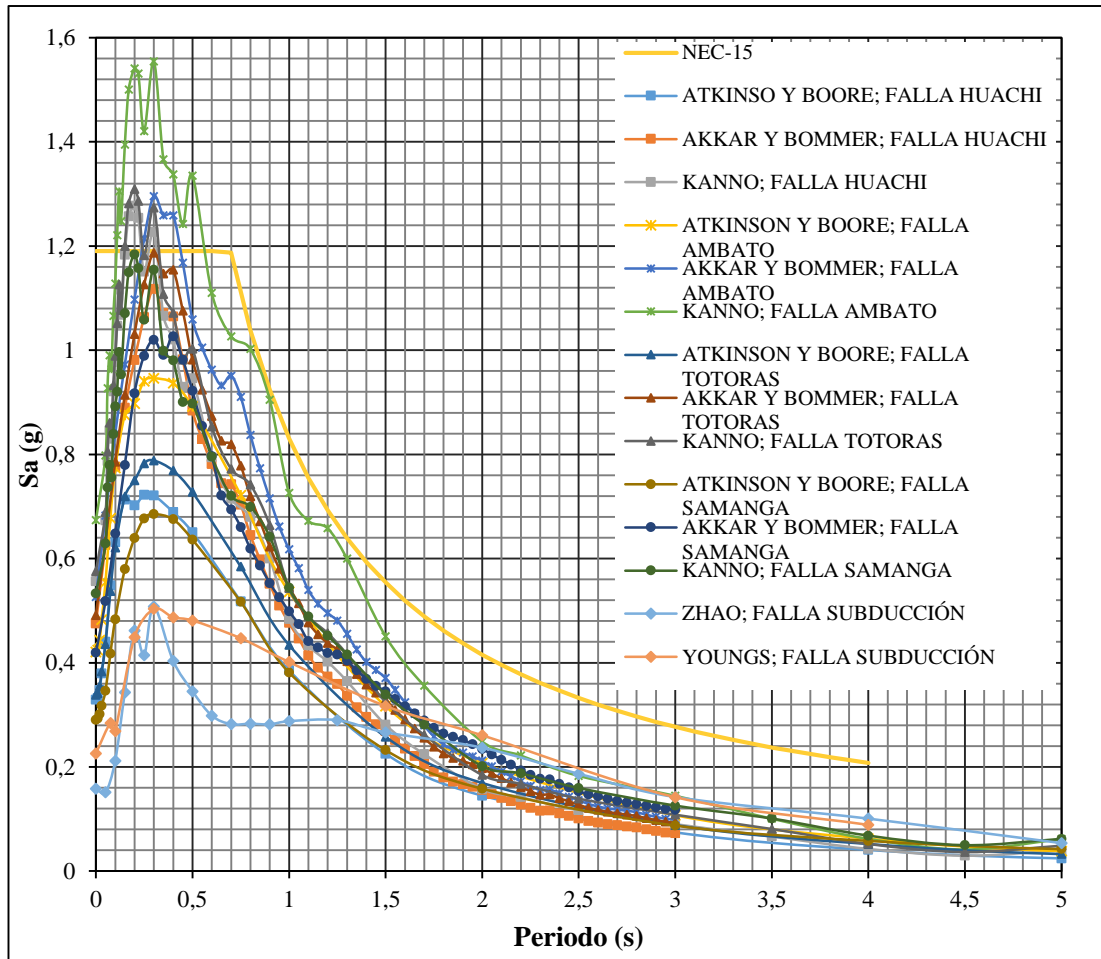
En la gráfica 29 se observa que el espectro de Zhao y el espectro de Youngs están plenamente dentro del rango de las aceleraciones dadas por el espectro de la NEC-15.

Durante un periodo de **0.0 s a 0.6 s** el espectro de la NEC-15 posee un valor máximo de aceleración de **1.19 g**, dicho valor supera al obtenido con el espectro de Zhao (0.51 g) en un **57.14%**, igualmente supera a la aceleración máxima conseguida con el espectro de Youngs (0.50 g) en un **57.98%**.

Al realizar una comparación general de los espectros, se ve que tanto el modelo de Zhao como el modelo de Youngs poseen valores de aceleración muy conservadoras en relación al espectro de la Nec-15.

4.2.4 Espectros de Todos los Modelos con el espectro de la NEC-15

Se englobará todos los espectros usados en esta investigación para las distintas fallas elegidas.



Gráfica 30. Conjunto de espectros de aceleración para las fallas Corticales y para la falla de Subducción

Elaborado: William Mise

En la gráfica 30 se aprecia a los 14 espectros generados, donde las fallas corticales predominan en periodos cortos y afectan a estructuras pequeñas, como las que se encuentran dentro del área de estudio. En cambio, los espectros producidos por la falla de subducción prevalecen en periodos largos afectando a estructuras de gran altura. Con respecto a los modelos, el de Kanno es el que más sobresale, debido a que supera al espectro dado por la NEC-15 en más de una ocasión con las fallas de Huachi, Ambato y Totoras. Los espectros de subducción son conservadores en comparación con el espectro de la NEC-15.

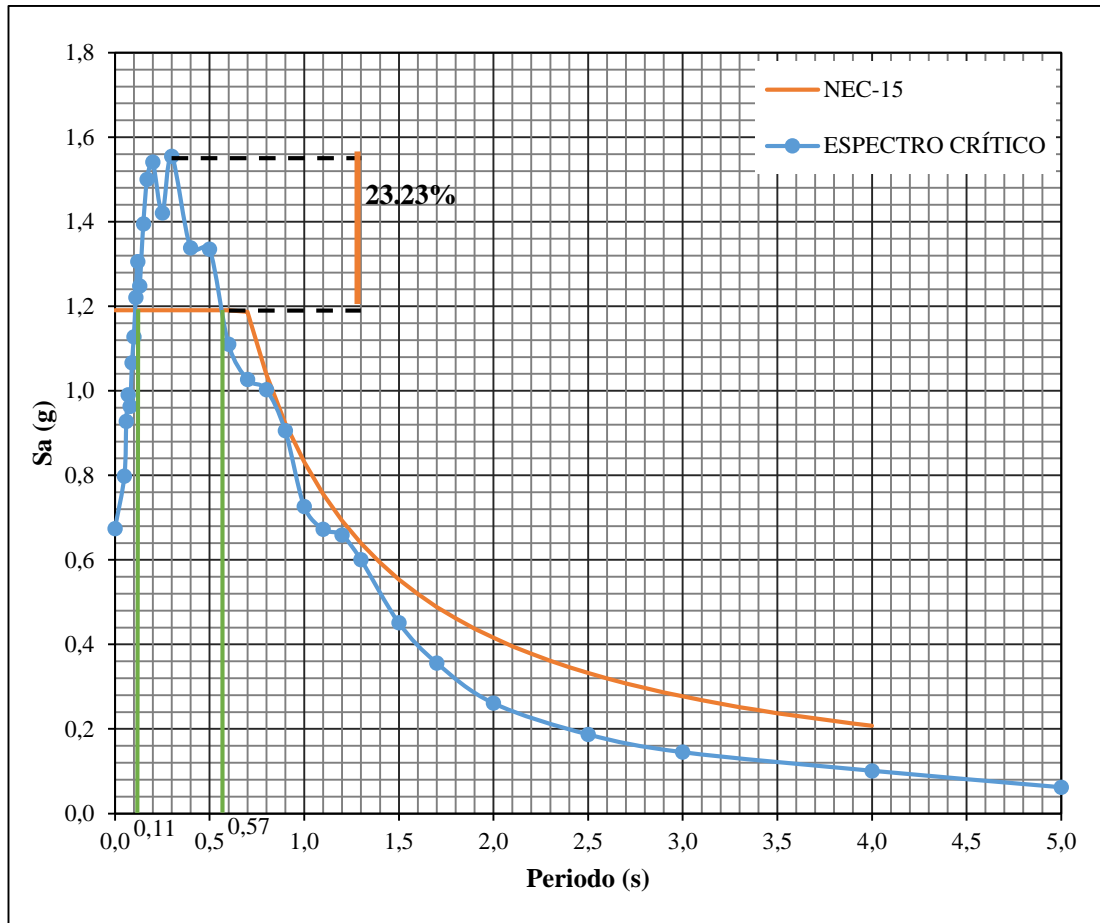
4.2.5 Espectro Crítico comparado con el espectro de la NEC-15

Para determinar el espectro específico de aceleración de la zona del proyecto se trabajó con la envolvente de los 14 espectros generados en esta investigación, seleccionando el valor máximo en cada periodo, obteniendo los valores de la siguiente tabla:

Tabla 26. Valores de aceleraciones y periodos para el espectro determinístico

Periodo T (s)	Sa (g)	Periodo T (s)	Sa (g)
0,00	0,67	0,50	1,34
0,05	0,80	0,60	1,11
0,06	0,93	0,70	1,03
0,07	0,99	0,80	1,00
0,08	0,96	0,90	0,91
0,09	1,07	1,00	0,73
0,10	1,13	1,10	0,67
0,11	1,22	1,20	0,66
0,12	1,31	1,30	0,60
0,13	1,25	1,50	0,45
0,15	1,39	1,70	0,36
0,17	1,50	2,00	0,26
0,20	1,54	2,50	0,19
0,25	1,42	3,00	0,14
0,30	1,55	4,00	0,10
0,40	1,34	5,00	0,06

Elaborado: William Mise



Gráfica 31. Espectro Crítico para el área de estudio VS Espectro de la NEC-15

Elaborado: William Mise

La grafica 31 muestra al espectro especifico o crítico obtenido para el área de estudio, el cual tiene un valor de aceleración máximo de **1.55 g** en un periodo de **0.3 seg**, también muestra al espectro de la NEC-15 que tiene un valor *Sa* máximo de **1.19 g** durante un periodo de **0.0 seg a 0.6seg**, donde la aceleración máxima del espectro especifico en relación con el espectro de la NEC-15 tiene un incremento del **23.23%**.

En la gráfica se aprecia que el espectro determinístico predomina durante un periodo de **0.11s a 0.57s** sobre el espectro de la NEC-15, pasado estos periodos el espectro determinístico desciende y se ubica por debajo del espectro NEC. En base a estos resultados se puede decir que el espectro especifico generado en este estudio perjudica especialmente a estructuras de baja altura, mientras que el espectro proporcionado por la NEC-15 afecta a edificaciones de mayor altura.

4.2.6 Comportamiento estructural de 3 edificaciones tipo del sitio de estudio

En el área de estudio se realizó un análisis del comportamiento estructural para 3 edificaciones con diferentes niveles (1, 3 y 5 pisos) mediante la modelación de cada una de ellas en un programa especializado, en el cual se introdujo el espectro determinístico de la zona.

4.2.6.1 Datos estructurales recolectados de las 3 edificaciones

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

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

Tabla 27. Datos de columnas, vigas y losas de las 3 edificaciones

	EDIFICACIÓN DE 1 PISO	EDIFICACIÓN DE 3 PISOS	EDIFICACIÓN DE 5 PISOS
COLUMNA	25*25 cm	30*30 cm	45*45 cm (1er, 2do piso) 35*35 cm (3er, 4to piso) Tubo Estructural (5to piso) D= 5" y e= 5 mm
VIGAS	20*20 cm	25*20 cm	25*30 cm (1er al 4to piso) Perfil Estructural "U" (5to piso) h=150mm, b=80mm y e=5mm
LOSA	15 cm	20 cm	20 cm (1er al 4to piso) fibrocemento (5to piso)
ALTURA TOTAL	2.50 m	7.70 m	13.00 m

Elaborado: William Mise

4.2.6.2 Espectro elástico reducido

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

$$C = \frac{I * S_a}{R * \phi_P * \phi_E} \quad (30)$$

Donde:

C = Coeficiente de reducción sísmico.

I = Factor de importancia.

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

R = Factor de reducción de resistencia sísmica.

ϕ_P = Coeficiente de configuración en planta.

ϕ_E = Coeficiente de configuración en elevación.

Tabla 28. Factores y Coeficientes obtenidos para la reducción de los espectros elásticos.

	I	R	ϕ_P	ϕ_E
Edificación de 1 piso	1	8	0.9	1
Edificación de 3 pisos	1	8	0.9	0.9
Edificación de 5 pisos	1	8	0.9	1

Elaborado: William Mise

4.2.6.3 Calculo de los periodos de vibración de las estructuras tipo

❖ Periodo Fundamental de Vibración

El periodo de vibración aproximado para las estructuras se determina con la ecuación del método 1 descrita en la sección 6.3.3 de la NEC_SE_DS 2015 y que se presenta a continuación:

$$T = C_t * h_n^a \quad (31)$$

Donde:

T = Periodo de vibración

C_t = Coeficiente que depende del tipo de edificio

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

Los valores de C_t y α que se utilizaron para el cálculo del periodo fundamental también se especifican en la sección 6.3.3 de la NEC_SE_DS 2015, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 29. Valores C_t y α

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

Fuente: NEC_SE_DS 2015

- Cálculo de T₁ para la edificación de 1 piso

$$T_1 = 0.055 * 2.5^{0.9}$$

$$T_1 = 0.13 \text{ seg}$$

- Cálculo de T₁ para la edificación de 3 pisos

$$T_1 = 0.055 * 7.7^{0.9}$$

$$T_1 = 0.35 \text{ seg}$$

- Cálculo de T₁ para la edificación de 5 pisos

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

$$T_1 = 0.55 \text{ seg}$$

❖ Periodos Límites de Vibración

Los límites para el periodo de vibración T_o y T_c se encuentran en la sección 3.3 de la NEC_SE_DS 2015, y se obtienen de las siguientes ecuaciones:

$$T_o = 0.1 * F_s * \frac{F_d}{F_a} \quad (32)$$

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

Donde:

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

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

F_s = Comportamiento no lineal de los suelos.

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

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

Tabla 30. Valores de F_a , F_d y F_s considerando los efectos de sitio

Zona Sísmica	V
Valor factor Z	0.40
Tipo de Perfil	D
F_a	1.2
F_d	1.19
F_s	1.28

Fuente: NEC_SE_DS 2015

- Cálculo del periodo T_o

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

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

- Cálculo del periodo T_c

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

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

4.2.6.4 Análisis Estático

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

❖ Periodo de Vibración

El periodo fundamental T_2 se determinó mediante un análisis modal como sugiere el método 2 de la sección 6.3.3 de la NEC_SE_DS 2015.

En la siguiente tabla se muestra una comparativa del valor calculado del periodo T_1 con el método 1 de la NEC-15 y el periodo T_2 obtenido con el programa. Además, se verificó si estos 2 periodos se encuentran dentro de los periodos límites T_o y T_c .

Tabla 31. Valores de Periodos T_1 y T_2

EDIFICACIONES TIPO	Periodos Limite		Método 1	Método 2	Diferencia % entre T_1 y T_2
	T_o	T_c	T_1	T_2	
Edificación de 1 piso	0.127	0.698	0.13	0.192	32.29%
Edificación de 3 pisos	0.127	0.698	0.35	0.466	24.89%
Edificación de 5 pisos	0.127	0.698	0.55	0.608	9.53%

Elaborado: William Mise

En la tabla 31 se puede observar que los valores entre T_1 y T_2 son diferentes, pesar a eso, ambos permanecen dentro del rango de los periodos limites calculados. Además, el periodo T_2 mostro el mismo valor tanto para el espectro determinístico como para el espectro de la NEC-15, esto se debe particularmente a que el periodo fundamental depende de los elementos estructurales mas no de las aceleraciones espectrales.

la sección 6.3.3 – Literal (b) de la NEC_SE_DS 2015 establece que el valor calculado T_2 según el método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de T_1 calculado con el método 1, cumpliendo la siguiente expresión:

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

- Estructura de 1 piso

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

$$0.13 \leq 0.192 > 0.169$$

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

- Estructura de 3 pisos

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

$$0.35 \leq 0.466 > 0.455$$

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

- Estructura de 5 pisos

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

$$0.55 \leq 0.635 > 0.715$$

El valor de T_2 está dentro del rango establecido

❖ Modos de Vibración de la Estructura

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

Las tablas 32 – 34, presentan los valores obtenidos del programa para realizar la verificación de cada estructura:

Tabla 32. Valores de U_x , U_y y R_z para la estructura de 1 piso

Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period sec	U_x	U_y	R_z
Modal	1	0,192	0,99	0,0003	0,0107
Modal	2	0,186	0,0004	0,9992	0,0005
Modal	3	0,156	0,0096	0,0005	0,9888

Fuente: ETBAS 2016

Tabla 33. Valores de U_x , U_y y R_z para la estructura de 3 pisos

Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period sec	U_x	U_y	R_z
Modal	1	0,466	0,215	0,3183	0,3682
Modal	2	0,413	0,678	0,108	0,0996
Modal	3	0,313	0,0001	0,4357	0,4088

Fuente: ETBAS 2016

Tabla 34. Valores de U_x , U_y y R_z para la estructura de 5 pisos

Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period sec	U_x	U_y	R_z
Modal	1	0,608	0,3086	0,2636	0,1709
Modal	2	0,536	0,0846	0,4707	0,1683
Modal	3	0,437	0,0118	0,0001	0,0647

Fuente: ETABS 2016

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

$$\frac{R_z}{U_x; U_y} * 100 < 30\%$$

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

A continuación, se presenta un cuadro de las tres estructuras donde se especifica si los primeros modos de vibración son traslacionales o rotaciones.

Tabla 35. Modos de vibración de las 3 estructuras

	Modo	Dirección Horizontal	Rz	%	Tipo
Estructura de 1 piso	1	$U_x = 0.9900$	0.0107	1.08	Traslacional
	2	$U_y = 0.9992$	0.0005	0.05	Traslacional
	3	$U_x = 0.0096$	0.9888	10030	Rotacional
	Modo	Dirección Horizontal	Rz	%	Tipo
Estructura de 3 pisos	1	$U_y = 0.3183$	0.3682	115	Rotacional
	2	$U_x = 0.6780$	0.0996	14.69	Traslacional
	3	$U_y = 0.4357$	0.4088	93.83	Rotacional
	Modo	Dirección Horizontal	Rz	%	Tipo
Estructura de 5 pisos	1	$U_x = 0.3086$	0.1709	55.38	Rotacional
	2	$U_y = 0.4707$	0.1683	35.76	Rotacional
	3	$U_x = 0.0118$	0.0647	548.31	Rotacional

Elaborado: William Mise

En la tabla 34 se verifica que solo la estructura de 1 piso cumple con los parámetros establecidos, es decir, que los 2 primeros modos de vibración son traslacionales y tan solo el 3ro es rotacional, lo que resulta ideal. Mientras que la estructura de 3 pisos presenta rotación en el 1er y 3er modo de vibración y es traslacional en el 2do modo. Lo que deriva en una ineficiente disipación de energía en la dirección horizontal Y.

Finalmente, la estructura de 5 pisos resulto tener rotación en los 3 modos de vibración. Teniendo un desempeño aun peor que la estructura de 3 pisos.

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

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

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

- Todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas. [11]

Las tablas 36 – 38, muestran los modos de vibración necesarios para acumular el 90% de la masa de las 3 edificaciones obtenidas del programa especializado.

Tabla 36. Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en la estructura de 1 piso

Modal Participating Mass Ratios			
Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,99	0,0003
Modal	2	0,9904	0,9995
Modal	3	1	1

Fuente: ETABS 2016

Tabla 37. Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en la estructura de 3 pisos

Modal Participating Mass Ratios			
Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,215	0,3183
Modal	2	0,8929	0,4263
Modal	3	0,893	0,862
Modal	4	0,9126	0,9204

Fuente: Etabs 2016

Tabla 38. Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en la estructura de 5 pisos

Modal Participating Mass Ratios			
Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.3086	0.2636
Modal	2	0.3932	0.7343
Modal	3	0.4049	0.7344
Modal	4	0.4215	0.7599
Modal	5	0.6289	0.7881
Modal	6	0.8063	0.7932
Modal	7	0.8552	0.8372
Modal	8	0.8737	0.9212
Modal	9	0.9307	0.9218

Fuente: ETABS 2016

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

Tabla 39. Modos de Vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones horizontales X y Y, para cada edificación

EDIFICACIÓN DE 1 PISO		Espectros Empleados
MODO	2	<ul style="list-style-type: none"> Espectro de la NEC-15 reducido Espectro determinista reducido
Sum UX %	99.04	
Sum UY %	99.95	
EDIFICACIÓN DE 3 PISOS		Comentario
MODO	4	En cada una de las estructuras se cumplió la acumulación del 90% de la masa. Cabe recalcar que se obtuvieron los mismos resultados al utilizar los 2 espectros reducidos.
Sum UX %	91.26	
Sum UY %	92.04	
EDIFICACIÓN DE 5 PISOS		
MODO	9	
Sum UX %	93.07	
Sum UY %	92.18	

Elaborado: William Mise

❖ Derivas de Piso (Derivas Estáticas)

Se verifica si la estructura presenta deformaciones inelásticas controlables en las direcciones horizontales, según lo dispuesto en la sección 6.3.9 de la NEC_SE_DS 2015.

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

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E \quad (34)$$

Donde:

Δ_M = Deriva máxima inelástica.

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

R = Factor de reducción de resistencia.

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

Tabla 40. Valores de Δ_M máximos

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02

Fuente: NEC_SE_DS 2015

Para este caso se utilizó un coeficiente sísmico perteneciente al espectro de la NEC – 15 y otro correspondiente al espectro determinístico, este último se obtuvo utilizando los valores de aceleración de los periodos de vibración de cada estructura calculados por el programa ETABS 2016.

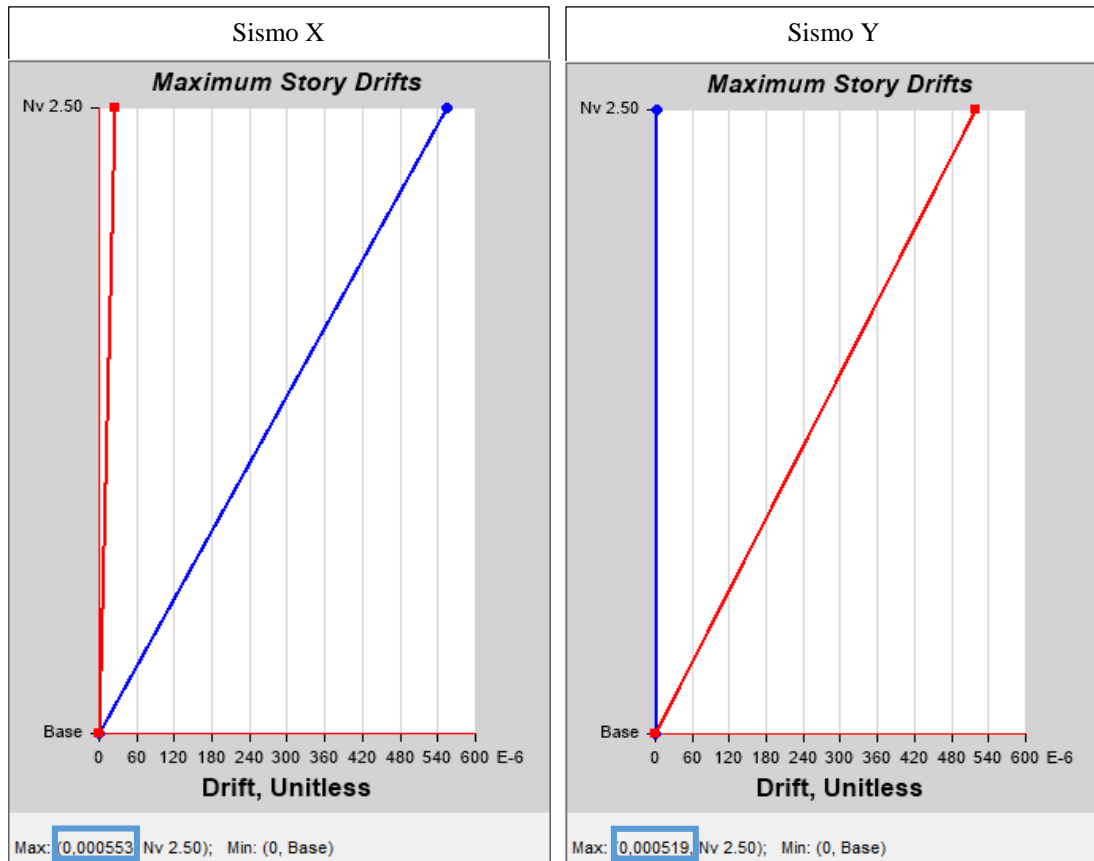
Tabla 41. Valores de aceleración y coeficientes sísmicos obtenidos del espectro determinístico.

ESTRUCTURA	T (ETABS 16)	Sa (%g)	C	K
1 Piso	0.192	1.53	0.213	1.00
3 Pisos	0.466	1.34	0.186	1.00
5 Pisos	0.608	1.10	0.153	1.05

Elaborado: William Mise

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

Derivas Elásticas Estáticas (NEC-15)



Gráfica 32. Valores máximos de Δ_E para la estructura de 1 piso (NEC-15)

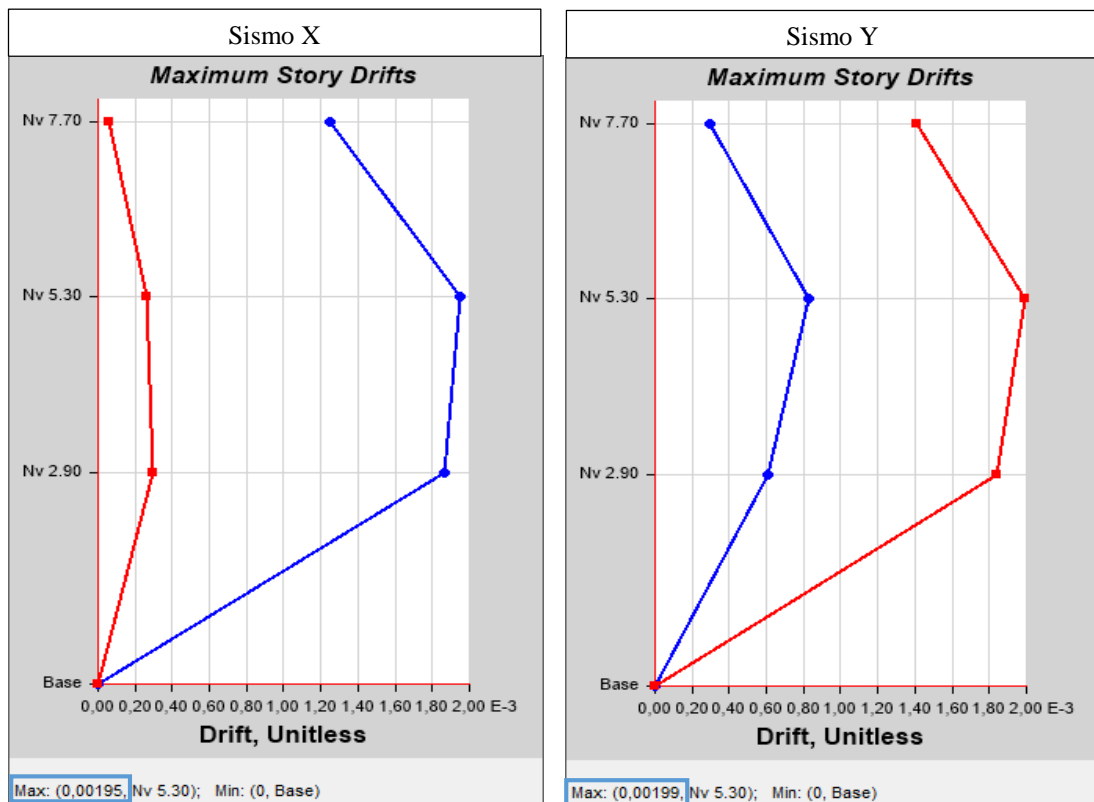
Fuente: ETABS 2016

Tabla 42. Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la edificación de 1 piso utilizando el coeficiente sísmico de la NEC-15

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Nv 2.50	Sx	X	0,000553
Nv 2.50	Sy	Y	0,000519

Fuente: ETABS 2016

Derivas Elásticas Estáticas (NEC-15)



Gráfica 33. Valores máximos de Δ_E para la estructura de 3 pisos (NEC-15)

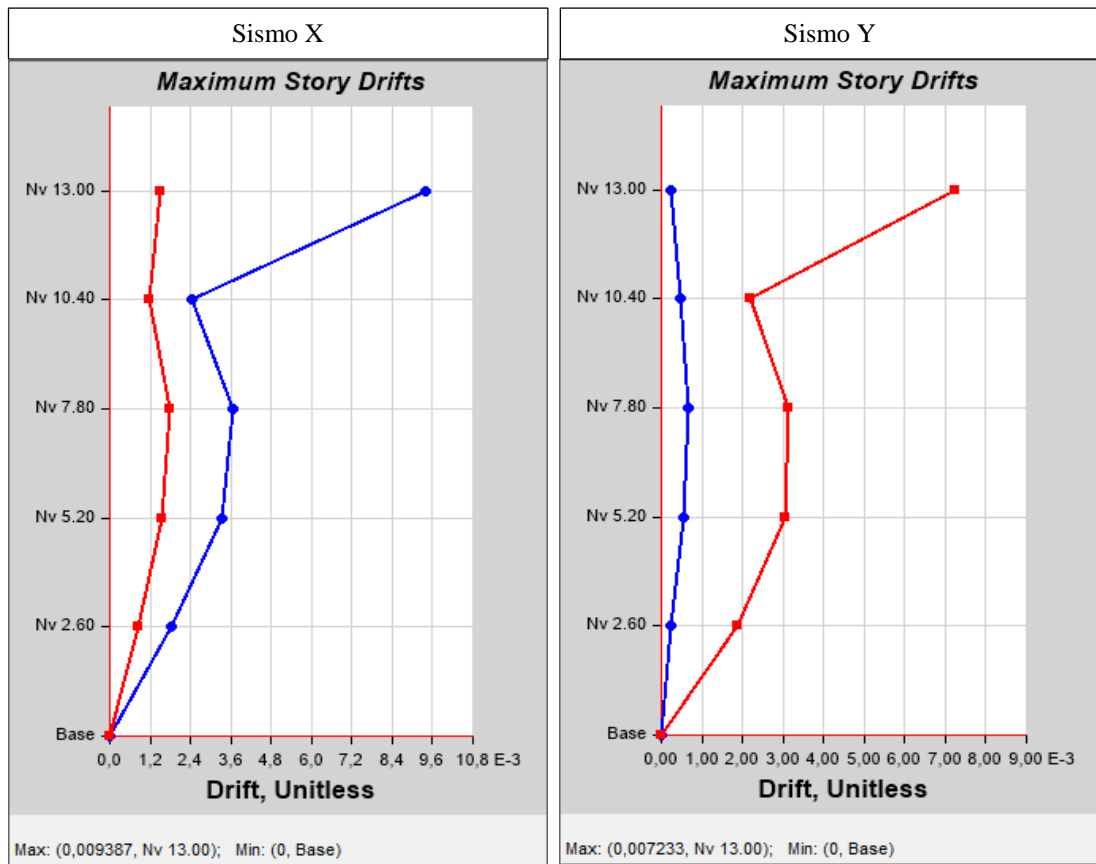
Fuente: ETABS 2016

Tabla 43. Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la edificación de 3 pisos utilizando el coeficiente sísmico de la NEC-15

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Nv 5.30	Sx	X	0,00195
Nv 5.30	Sy	Y	0,00199

Fuente: ETABS 2016

Derivas Elásticas Estáticas (NEC-15)



Gráfica 34. Valores máximos de Δ_E para la estructura de 5 pisos (NEC-15)

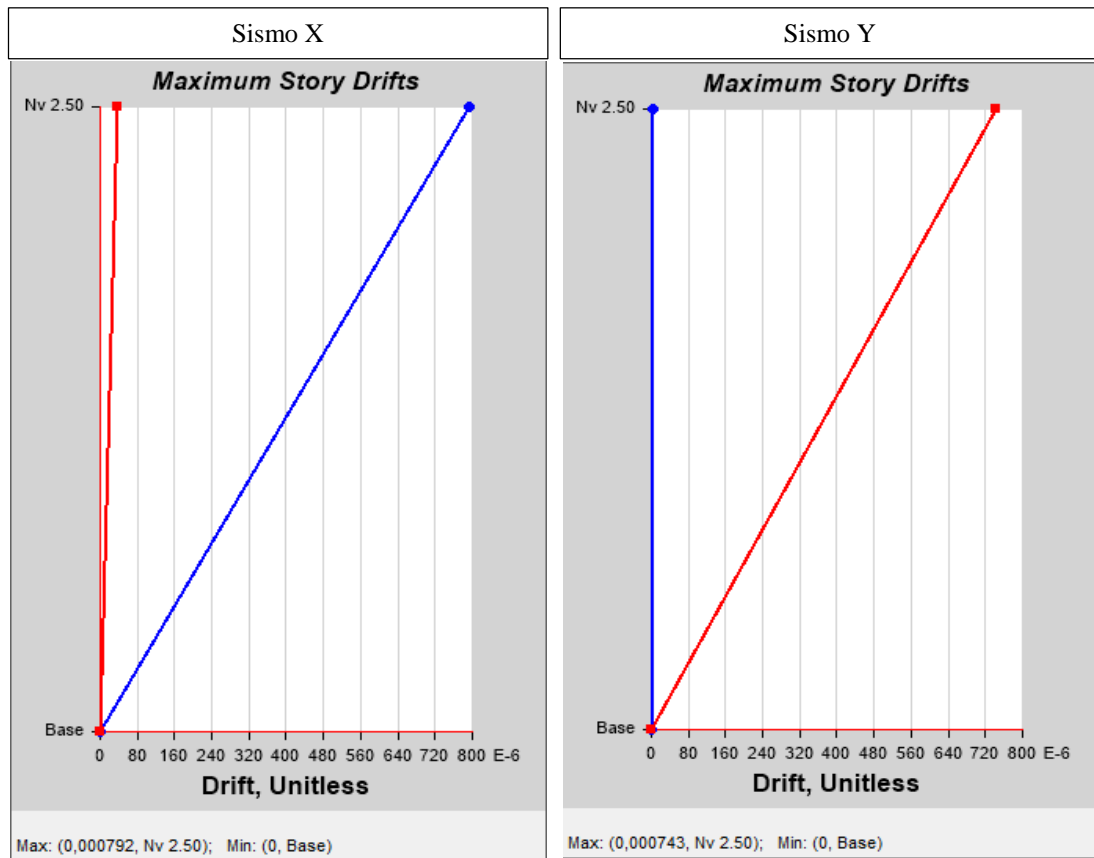
Fuente: ETABS 2016

Tabla 44. Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la edificación de 5 pisos utilizando el coeficiente sísmico de la NEC-15

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Nv 13.00	sx	X	0,009387
Nv 13.00	sy	Y	0,007233
Nv 7.80	sx	X	0,003654
Nv 7.80	sy	Y	0,003146

Fuente: ETABS 2016

Derivas Elásticas Estáticas (DETERMINISTICO)



Gráfica 35. Valores máximos de Δ_E para la estructura de 1 pisos (Determinístico)

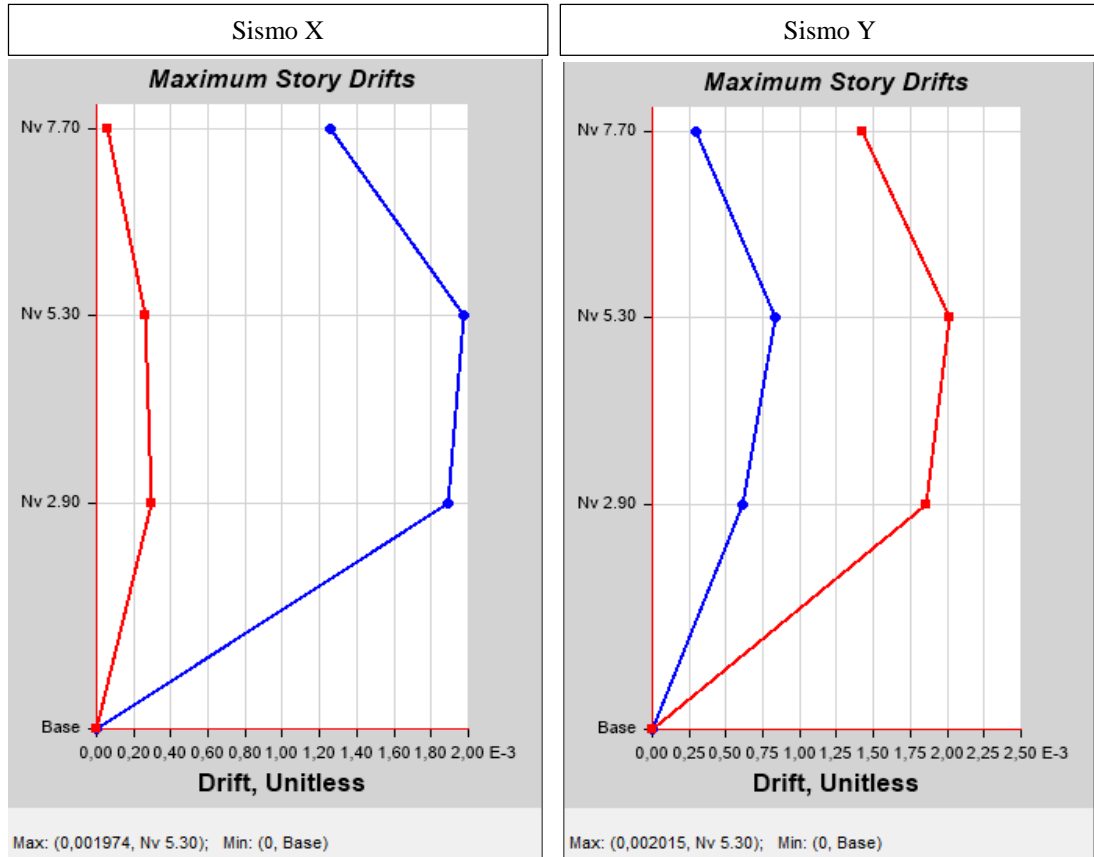
Fuente: ETABS 2016

Tabla 45. Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la edificación de 1 piso utilizando el coeficiente sísmico del espectro determinístico

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Nv 2.50	Sx	X	0,000792
Nv 2.50	Sy	Y	0,000743

Fuente: ETABS 2016

Derivas Elásticas Estáticas (DETERMINISTICO)



Gráfica 36. Valores máximos de Δ_E para la estructura de 3 pisos (Determinístico)

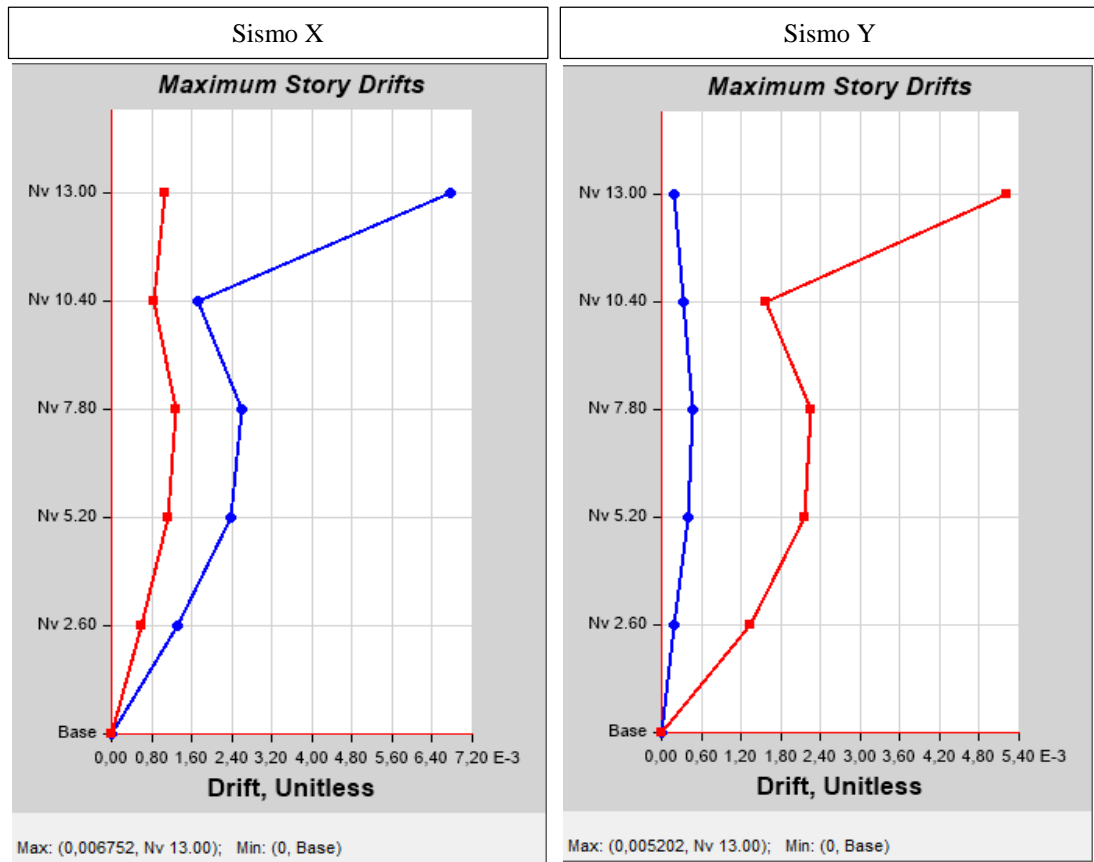
Fuente: ETABS 2016

Tabla 46. Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la edificación de 3 pisos utilizando el coeficiente sísmico del espectro determinístico

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Nv 5.30	Sx	X	0,001974
Nv 5.30	Sy	Y	0,002015

Fuente: ETABS 2016

Derivas Elásticas Estáticas (DETERMINISTICO)



Gráfica 37. Valores máximos de Δ_E para la estructura de 5 pisos (Determinístico)

Fuente: ETABS 2016

Tabla 47. Valores de las derivas estáticas en las direcciones X y Y para la edificación de 5 pisos utilizando el coeficiente sísmico del espectro determinístico

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Nv 13.00	sx	X	0,006752
Nv 13.00	sy	Y	0,005202
Nv 7.80	sx	X	0,002609
Nv 7.80	sy	Y	0,002246

Fuente: ETABS 2016

Tabla 48. Resumen de los valores de las derivas estáticas y derivas inelásticas calculadas en los niveles más críticos de cada estructura

ESTRUCTURA 1 PISO					
NIVEL	SISMO	NEC-15		DETERMINÍSTICO	
		Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
2.50 m	X	0,000553	0,32	0,000792	0,47
	Y	0,000519	0,31	0,000743	0,44
ESTRUCTURA 3 PISOS					
NIVEL	SISMO	NEC-15		DETERMINÍSTICO	
		Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
5.30 m	X	0,00195	1,17	0,001974	1,18
	Y	0,00199	1,19	0,002015	1,21
ESTRUCTURA 5 PISOS					
NIVEL	SISMO	NEC-15		DETERMINÍSTICO	
		Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
7.80 m	X	0,003654	2,19	0,002609	1,56
	Y	0,003146	1,89	0,002244	1,34
13.00 m	X	0,009387	5,63	0,006752	4,05
	Y	0,007233	4,33	0,005202	3,12

Elaborado: William Mise

4.2.6.5 Análisis Dinámico

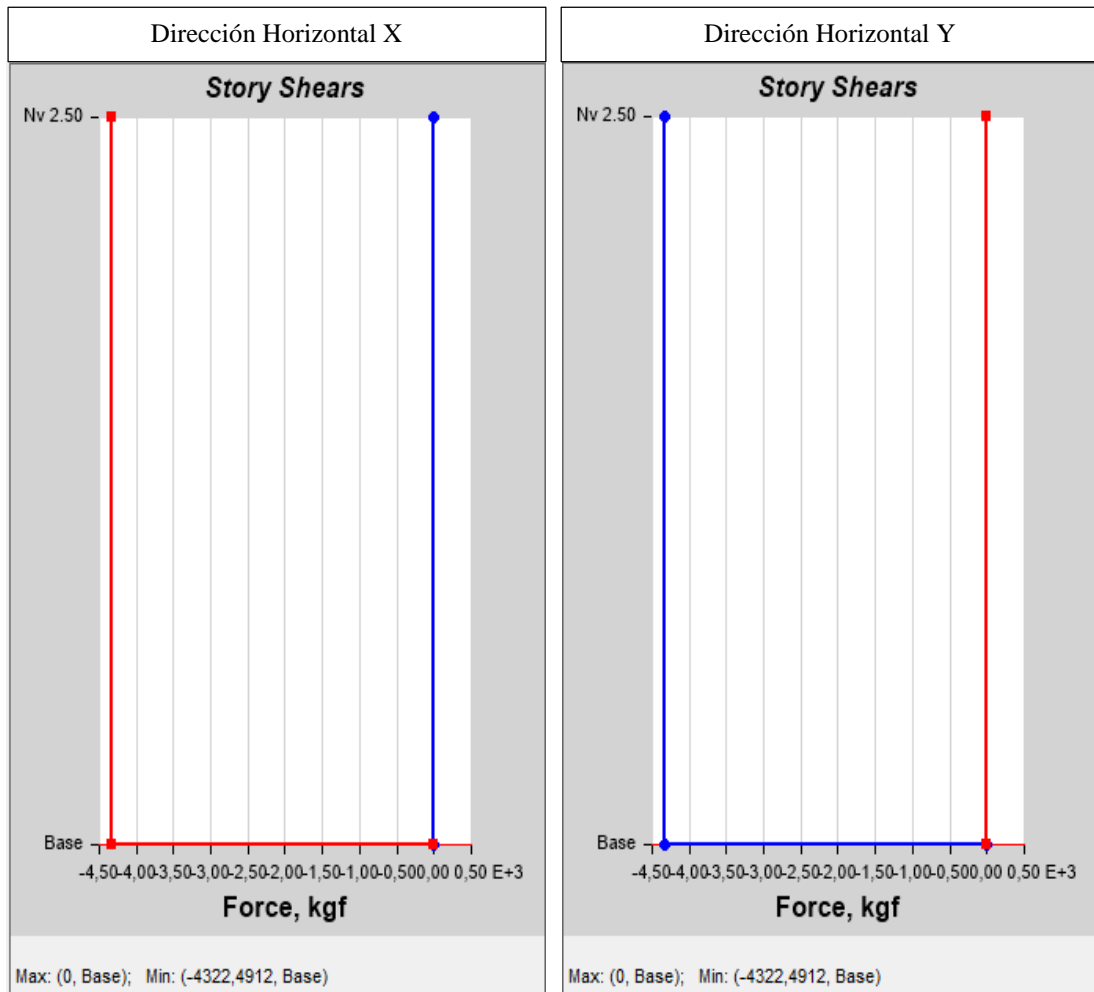
❖ Validación del Análisis Dinámico

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

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

Los valores de los cortantes estáticos y dinámicos obtenidos en el programa para la estructura de 1 piso se muestran en las siguientes gráficas y tablas.

CORTANTES ESTÁTICOS (NEC-15)



Gráfica 38. Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 1 piso
(Espectro NEC-15)

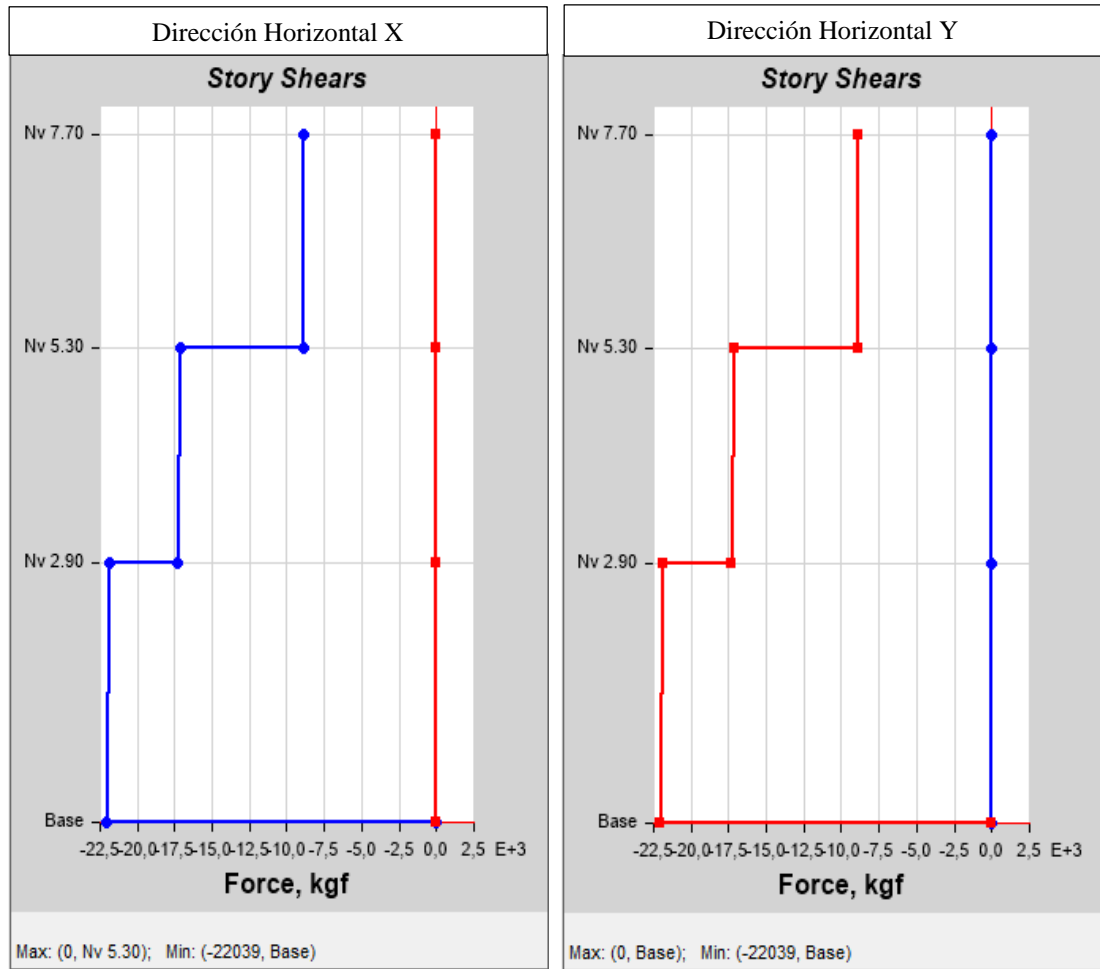
Fuente: ETABS 2016

Tabla 49. Valores máximos de los cortantes estáticos (NEC-15) para la estructura de
1 piso

Story Stiffness			
Story	Load Case	Shear X kgf	Shear Y kgf
Nv 2.50	Sx	4322,49	0
Nv 2.50	Sy	0	4322,49

Fuente: ETABS 2016

CORTANTES ESTÁTICOS (NEC-15)



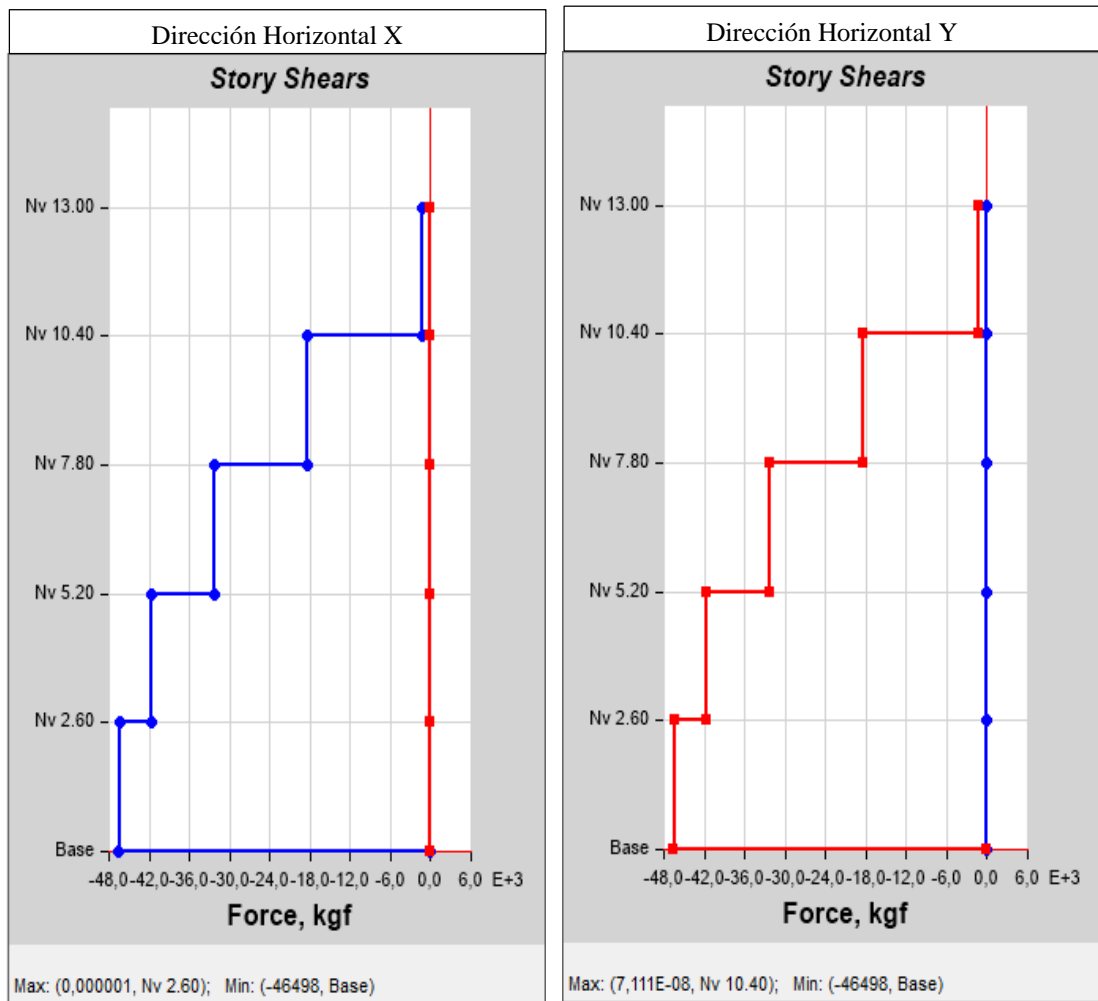
Gráfica 39. Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 3 pisos (Espectro NEC-15)
Fuente: ETABS 2016

Tabla 50. Valores máximos de los cortantes estáticos (NEC-15) para la estructura de 3 pisos

Story Stiffness			
Story	Load Case	Shear X kgf	Shear Y kgf
Nv 2.90	Sx	22039,34	0
Nv 2.90	Sy	0	22039,34

Fuente: ETABS 2016

CORTANTES ESTÁTICOS (NEC-15)



Gráfica 40. Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 5 pisos
(Espectro NEC-15)

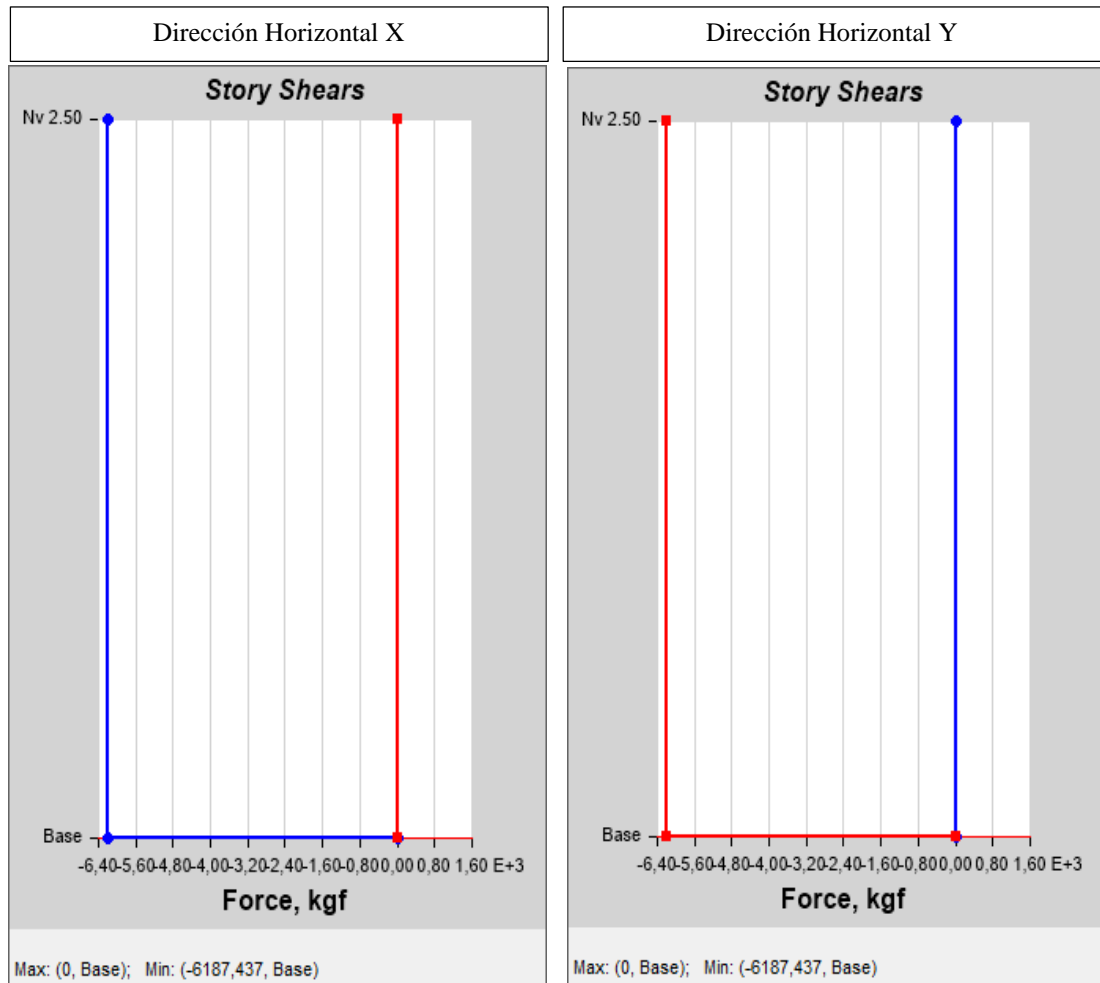
Fuente: ETABS 2016

Tabla 51. Valores máximos de los cortantes estáticos (NEC-15) para la estructura de
5 pisos

Story Stiffness			
Story	Load Case	Shear X kgf	Shear Y kgf
Nv 2.60	sx	46497,83	0
Nv 2.60	sy	0	46497,83

Fuente: ETABS 2016

CORTANTES ESTÁTICOS (Determinístico)



Gráfica 41. Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 1 piso
(Espectro Determinístico)

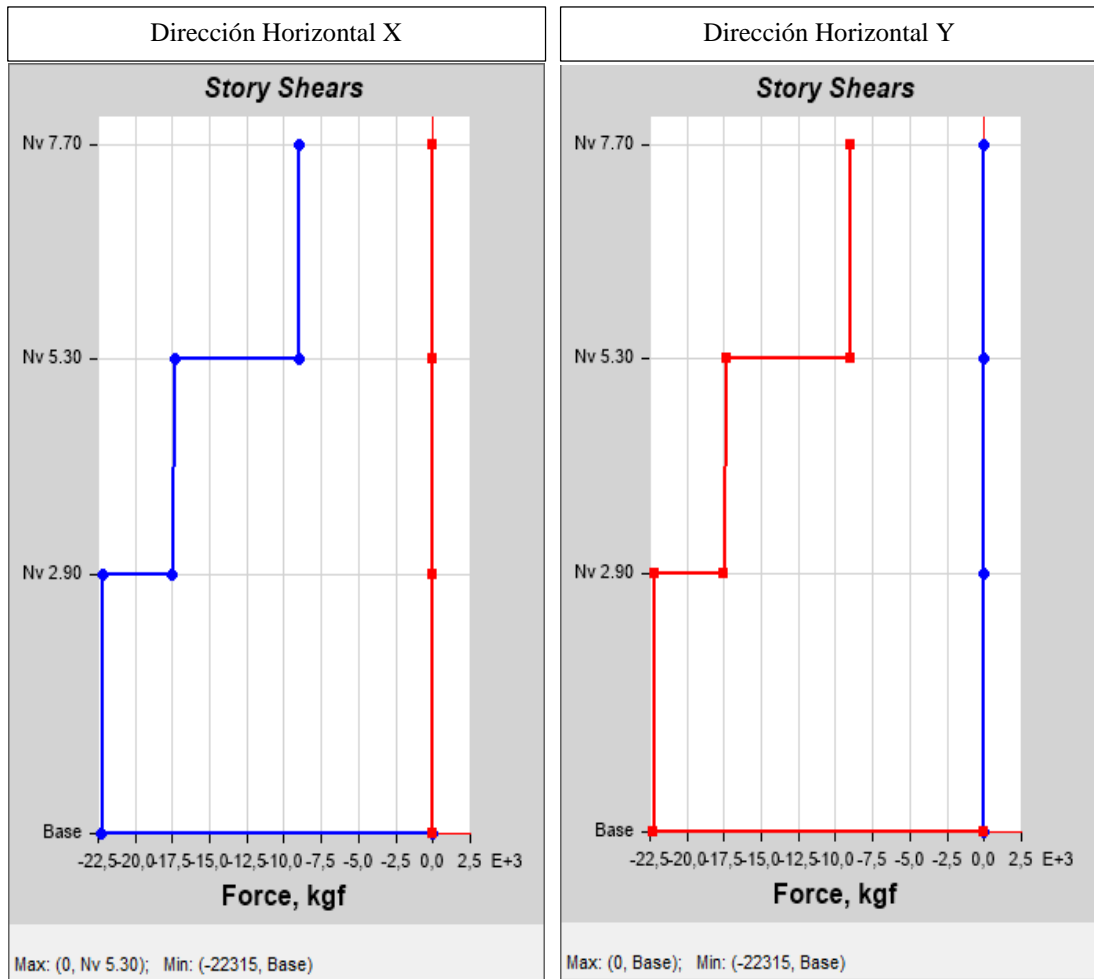
Fuente: ETABS 2016

Tabla 52. Valores máximos de los cortantes estáticos (Determinístico) para la
estructura de 1 piso

Story Stiffness			
Story	Load Case	Shear X kgf	Shear Y kgf
Nv 2.50	Sx	6187,44	0
Nv 2.50	Sy	0	6187,44

Fuente: ETABS 2016

CORTANTES ESTÁTICOS (Determinístico)



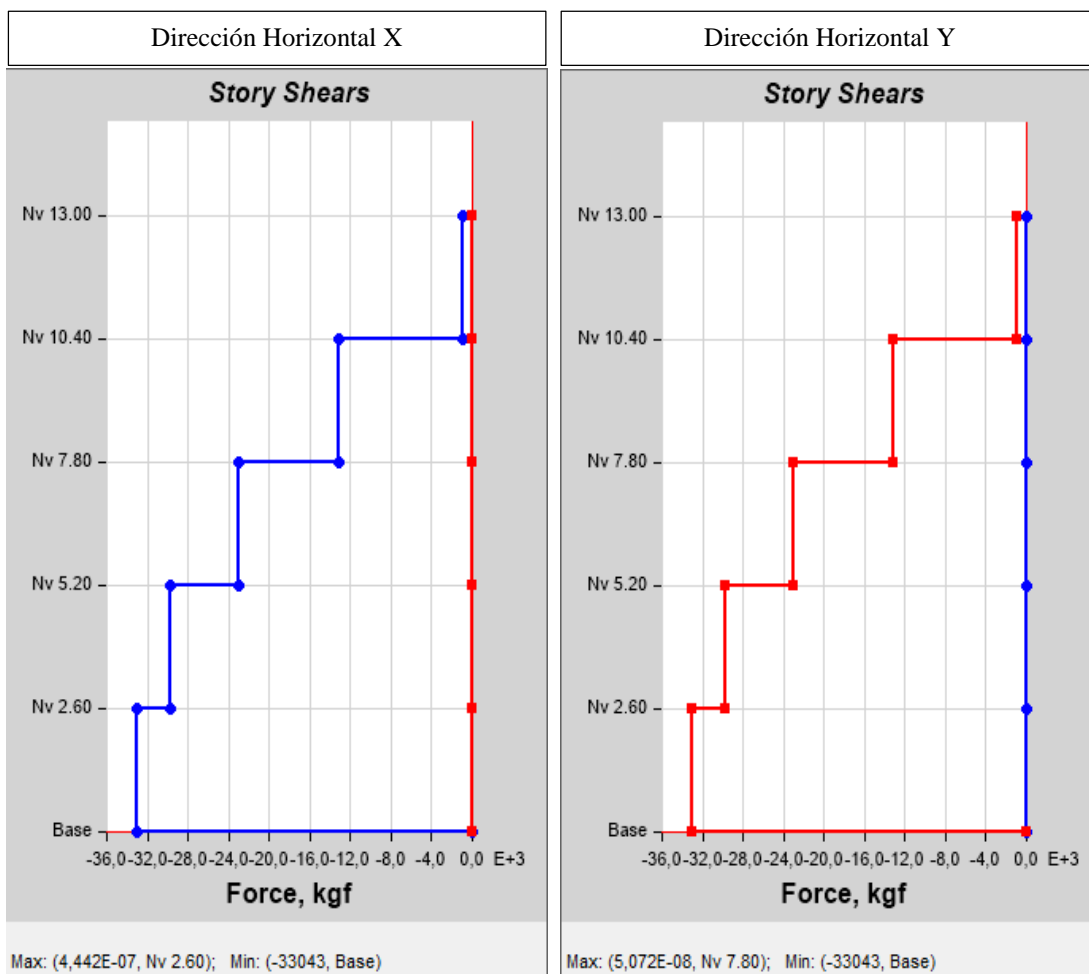
Gráfica 42. Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 3 pisos (Espectro Determinístico)
Fuente: ETABS 2016

Tabla 53. Valores máximos de los cortantes estáticos (Determinístico) para la estructura de 3 pisos

Story Stiffness			
Story	Load Case	Shear X kgf	Shear Y kgf
Nv 2.90	Sx	22315,29	0
Nv 2.90	Sy	0	22315,29

Fuente: ETABS 2016

CORTANTES ESTÁTICOS (Determinístico)



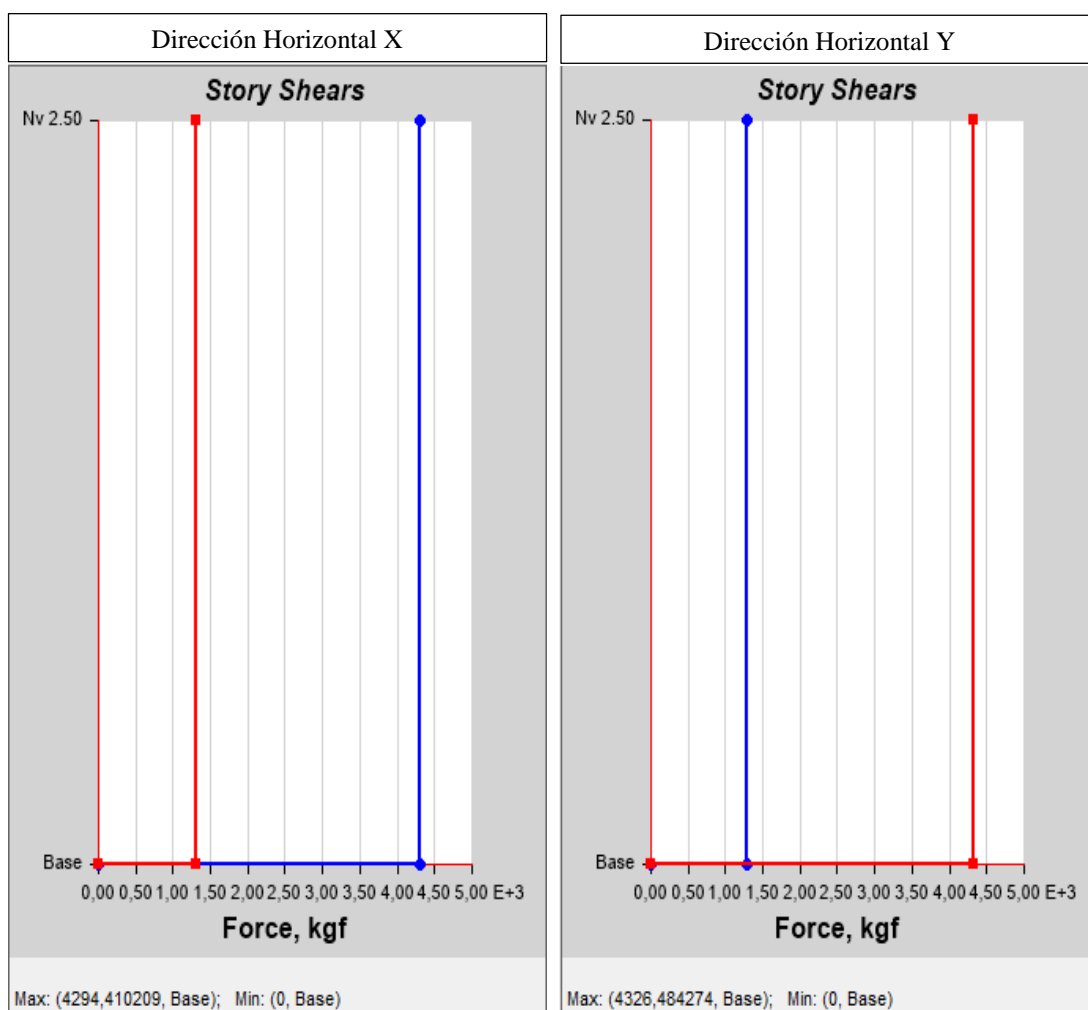
Gráfica 43. Cortante estático en las direcciones X y Y para la estructura de 5 pisos
(Espectro Determinístico)
Fuente: ETABS 2016

Tabla 54. Valores máximos de los cortantes estáticos (Determinístico) para la
estructura de 5 pisos

Story Stiffness			
Story	Load Case	Shear X kgf	Shear Y kgf
Nv 2.60	sx	33043,05	0
Nv 2.60	sy	0	33043,05

Fuente: ETABS 2016

CORTANTES DINÁMICOS (NEC-15)



Gráfica 44. Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro reducido de la NEC-15 para la estructura de 1 piso

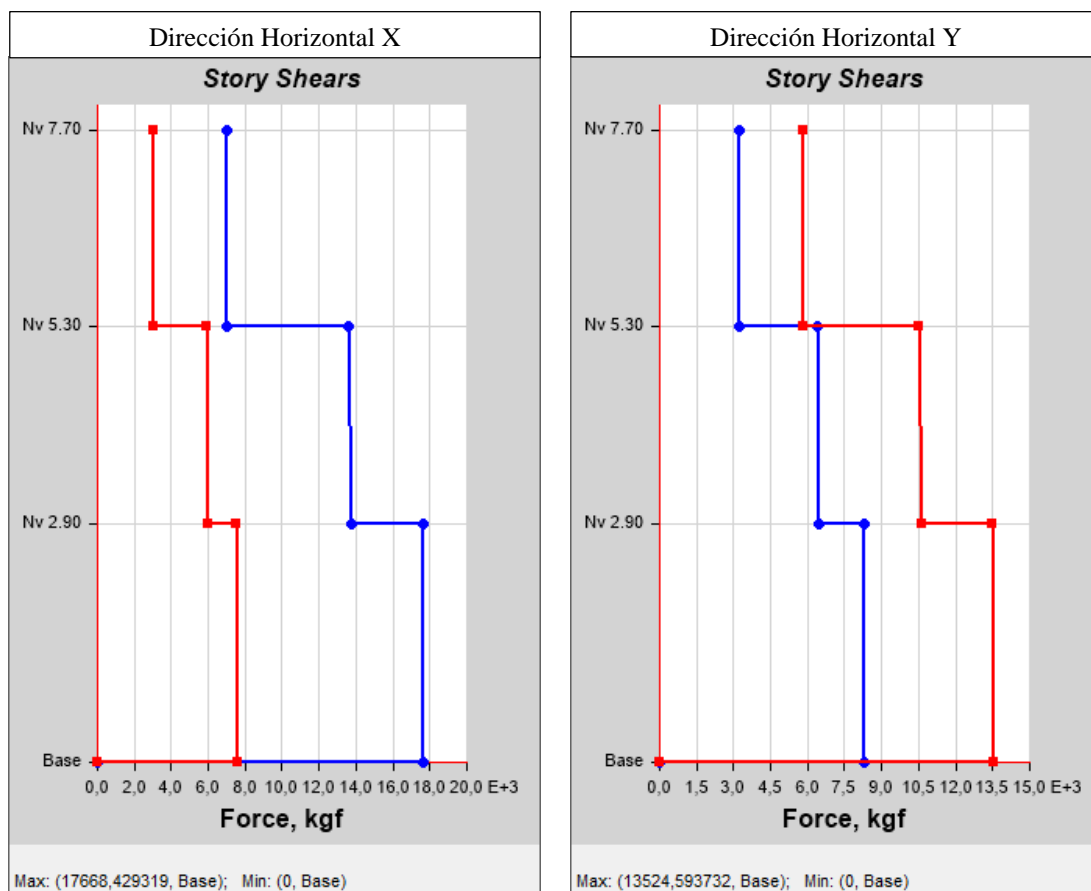
Fuente: ETABS 2016

Tabla 55. Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro de la NEC-15 reducido, para la estructura de 1 piso

Story Forces				
Story	Load Case/Combo	Location	VX kgf	VY kgf
Nv 2.50	Spectro Critico X ...	Top	4294,41	1298,35
Nv 2.50	Spectro Critico X ...	Bottom	4294,41	1298,35
Nv 2.50	Spectro Critico Y ...	Top	1288,74	4326,48
Nv 2.50	Spectro Critico Y ...	Bottom	1288,74	4326,48

Fuente: ETABS 2016

CORTANTES DINÁMICOS (NEC-15)



Gráfica 45. Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro reducido de la NEC-15 para la estructura de 3 pisos

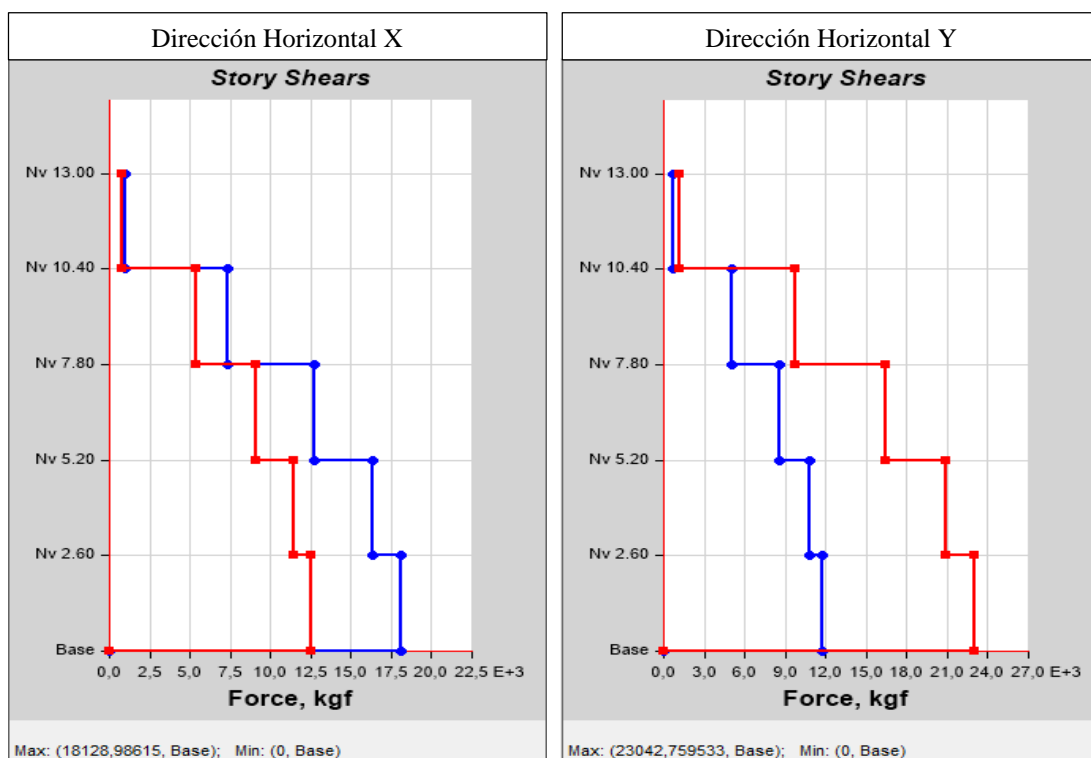
Fuente: ETABS 2016

Tabla 56. Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro de la NEC-15 reducido, para la estructura de 3 pisos

Story	Load Case/Combo	Location	VX kgf	VY kgf
Nv 7.70	Spectro X Max	Top	7031,92	3073,49
Nv 7.70	Spectro X Max	Bottom	7031,92	3073,49
Nv 7.70	Spectro Y Max	Top	3250,94	5812,78
Nv 7.70	Spectro Y Max	Bottom	3250,94	5812,78
Nv 5.30	Spectro X Max	Top	13570,71	5947,05
Nv 5.30	Spectro X Max	Bottom	13741,26	5977,51
Nv 5.30	Spectro Y Max	Top	6396,94	10525,83
Nv 5.30	Spectro Y Max	Bottom	6465,34	10656,22
Nv 2.90	Spectro X Max	Top	17603,24	7551,56
Nv 2.90	Spectro X Max	Bottom	17668,43	7562,79
Nv 2.90	Spectro Y Max	Top	8269,93	13474,19
Nv 2.90	Spectro Y Max	Bottom	8296,33	13524,59

Fuente: ETABS

CORTANTES DINÁMICOS (NEC-15)



Gráfica 46. Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro reducido de la NEC-15 para la estructura de 5 pisos

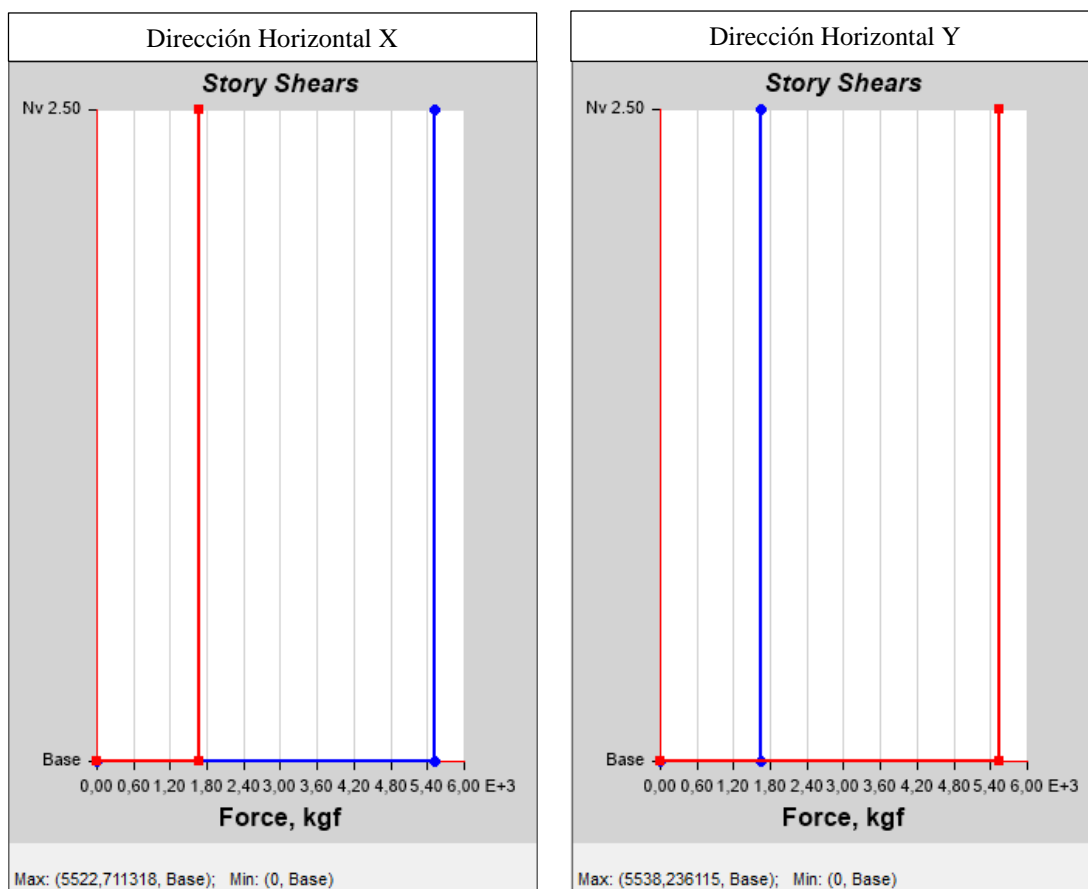
Fuente: ETABS 2016

Tabla 57. Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro de la NEC-15 reducido, para la estructura de 5 pisos

Story Forces				
Story	Load Case/Combo	Location	VX kgf	VY kgf
Nv 13.00	SpX Max	Top	935,93	746,23
Nv 13.00	SpX Max	Bottom	935,93	746,23
Nv 13.00	SpY Max	Top	731,89	1211,72
Nv 13.00	SpY Max	Bottom	731,89	1211,72
Nv 10.40	SpX Max	Top	7320,36	5394,45
Nv 10.40	SpX Max	Bottom	7329,49	5402,18
Nv 10.40	SpY Max	Top	5079,89	9695,77
Nv 10.40	SpY Max	Bottom	5082,48	9709,32
Nv 7.80	SpX Max	Top	12722,2	9066,67
Nv 7.80	SpX Max	Bottom	12742,95	9080,13
Nv 7.80	SpY Max	Top	8529,49	16453,94
Nv 7.80	SpY Max	Bottom	8534,25	16481,69
Nv 5.20	SpX Max	Top	16329,4	11447,6
Nv 5.20	SpX Max	Bottom	16341,49	11453,7
Nv 5.20	SpY Max	Top	10759,32	20920,57
Nv 5.20	SpY Max	Bottom	10762	20934,35
Nv 2.60	SpX Max	Top	18127,52	12531,74
Nv 2.60	SpX Max	Bottom	18128,99	12531,91
Nv 2.60	SpY Max	Top	11782,81	23041,06
Nv 2.60	SpY Max	Bottom	11783,08	23042,76

Fuente: ETABS 2016

CORTANTES DINÁMICOS (Determinístico)



Gráfica 47. Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro determinístico reducido, para la estructura de 1 piso

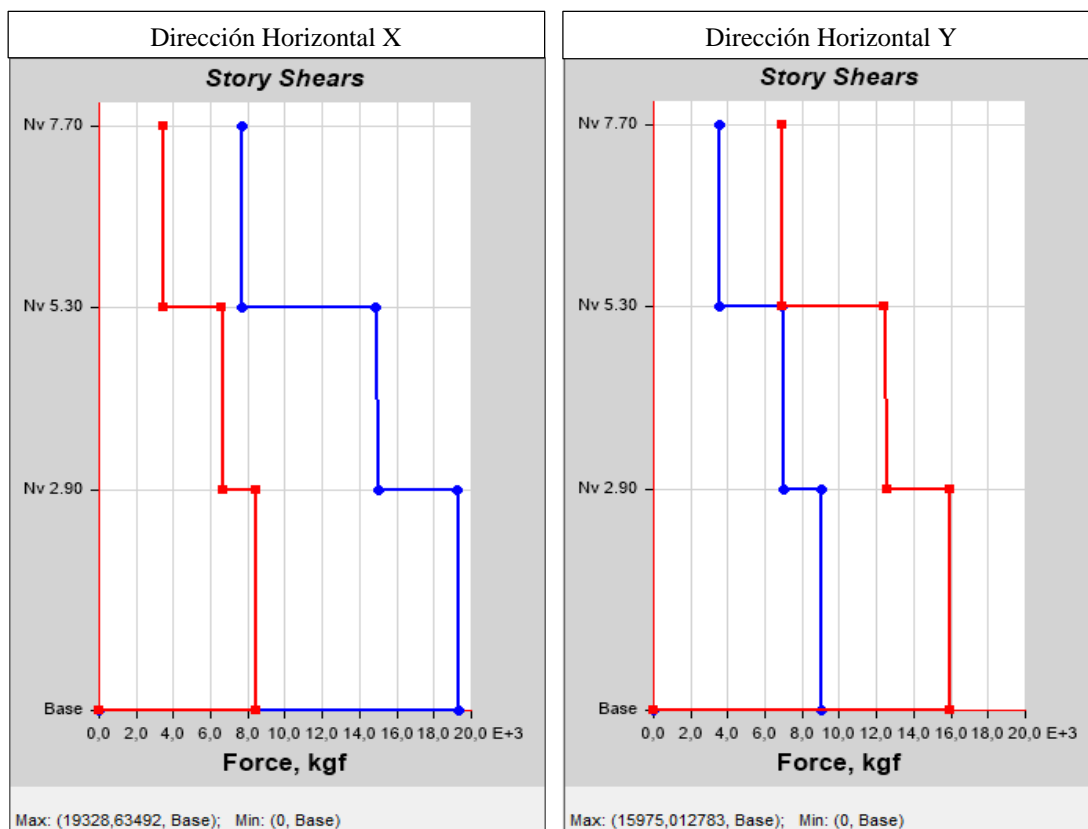
Fuente: ETABS 2016

Tabla 58. Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro determinístico reducido, para la estructura de 1 piso

Story Forces				
Story	Load Case/Combo	Location	VX kgf	VY kgf
Nv 2.50	Spectro Critico X ...	Top	5522,71	1661,99
Nv 2.50	Spectro Critico X ...	Bottom	5522,71	1661,99
Nv 2.50	Spectro Critico Y ...	Top	1657,34	5538,24
Nv 2.50	Spectro Critico Y ...	Bottom	1657,34	5538,24

Fuente: ETABS 2016

CORTANTES DINÁMICOS (Determinístico)



Gráfica 48. Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro determinístico reducido para la estructura de 3 pisos

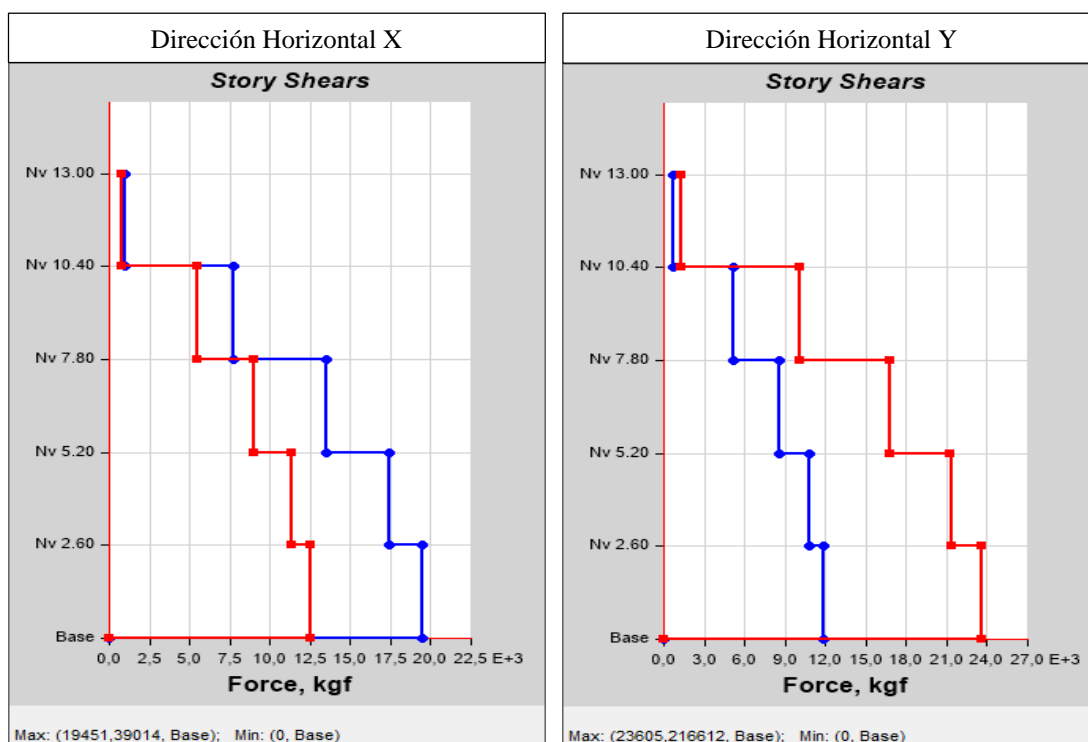
Fuente: ETABS 2016

Tabla 59. Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro determinístico reducido, para la estructura de 3 pisos

Story	Load Case/Combo	Location	VX kgf	VY kgf
Nv 7.70	Spectro X Max	Top	7694,19	3436,67
Nv 7.70	Spectro X Max	Bottom	7694,19	3436,67
Nv 7.70	Spectro Y Max	Top	3542,06	6881,86
Nv 7.70	Spectro Y Max	Bottom	3542,06	6881,86
Nv 5.30	Spectro X Max	Top	14838,45	6620,08
Nv 5.30	Spectro X Max	Bottom	15025,81	6659,16
Nv 5.30	Spectro Y Max	Top	6959,62	12444,33
Nv 5.30	Spectro Y Max	Bottom	7035,51	12614,95
Nv 2.90	Spectro X Max	Top	19257,16	8406,12
Nv 2.90	Spectro X Max	Bottom	19328,63	8420,27
Nv 2.90	Spectro Y Max	Top	9001,78	15911,08
Nv 2.90	Spectro Y Max	Bottom	9030,86	15975,01

Fuente: ETABS 2016

CORTANTES DINÁMICOS (Determinístico)



Gráfica 49. Cortante Dinámico en las direcciones X y Y empleando el espectro determinístico reducido para la estructura de 5 pisos
Fuente: ETABS 2016

Tabla 60. Valores máximos de los cortantes dinámicos utilizando el espectro determinístico reducido, para la estructura de 5 pisos

Story Forces				
Story	Load Case/Combo	Location	VX kgf	VY kgf
Nv 13.00	SpX Max	Top	982,53	801,66
Nv 13.00	SpX Max	Bottom	982,53	801,66
Nv 13.00	SpY Max	Top	746,8	1284,82
Nv 13.00	SpY Max	Bottom	746,8	1284,82
Nv 10.40	SpX Max	Top	7726,04	5485,95
Nv 10.40	SpX Max	Bottom	7738,04	5493,38
Nv 10.40	SpY Max	Top	5156,32	10059,51
Nv 10.40	SpY Max	Bottom	5159,25	10072,93
Nv 7.80	SpX Max	Top	13473,32	9031,41
Nv 7.80	SpX Max	Bottom	13501,98	9043,64
Nv 7.80	SpY Max	Top	8520,17	16764,32
Nv 7.80	SpY Max	Bottom	8526,22	16791,56
Nv 5.20	SpX Max	Top	17428,23	11383,54
Nv 5.20	SpX Max	Bottom	17444,57	11389,47
Nv 5.20	SpY Max	Top	10768,21	21301,79
Nv 5.20	SpY Max	Bottom	10771,68	21316,85
Nv 2.60	SpX Max	Top	19449,58	12535,34
Nv 2.60	SpX Max	Bottom	19451,39	12535,22
Nv 2.60	SpY Max	Top	11875,5	23603,44
Nv 2.60	SpY Max	Bottom	11875,83	23605,22

Fuente: ETABS 2016

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

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

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

A continuación, se muestra un cuadro con los valores obtenidos de la relación V_E/V_D de los 2 espectros, para cada estructura.

Tabla 61. Valores de los cortantes estáticos, dinámicos y la validación del análisis dinámico.

ESTRUCTURA DE 1 PISO						
Sentido	Espectro NEC – 15			Espectro Determinístico		
	$V_{\text{Estático}}$	$V_{\text{Dinámico}}$	$V_{\text{Din}} / V_{\text{Est}}$	$V_{\text{Estático}}$	$V_{\text{Dinámico}}$	$V_{\text{Din}} / V_{\text{Est}}$
X	4322.49	4294.41	99.35%	6187.44	5522.71	89.26%
Y	4322.49	4326.48	100%	6187.44	5538.24	89.51%
ESTRUCTURA DE 2 PISOS						
Sentido	Espectro NEC – 15			Espectro Determinístico		
	$V_{\text{Estático}}$	$V_{\text{Dinámico}}$	$V_{\text{Din}} / V_{\text{Est}}$	$V_{\text{Estático}}$	$V_{\text{Dinámico}}$	$V_{\text{Din}} / V_{\text{Est}}$
X	22039.34	17668.43	80.17%	22315.29	19328.63	86.61%
Y	22039.24	13524.59	61.37%	22315.29	15975.01	71.58%
ESTRUCTURA DE 3 PISOS						
Sentido	Espectro NEC – 15			Espectro Determinístico		
	$V_{\text{Estático}}$	$V_{\text{Dinámico}}$	$V_{\text{Din}} / V_{\text{Est}}$	$V_{\text{Estático}}$	$V_{\text{Dinámico}}$	$V_{\text{Din}} / V_{\text{Est}}$
X	46498.00	18128.99	38.99%	33043.05	19451.49	58.87%
Y	46498.00	23042.76	41.83%	33043.05	23605.22	71.43%

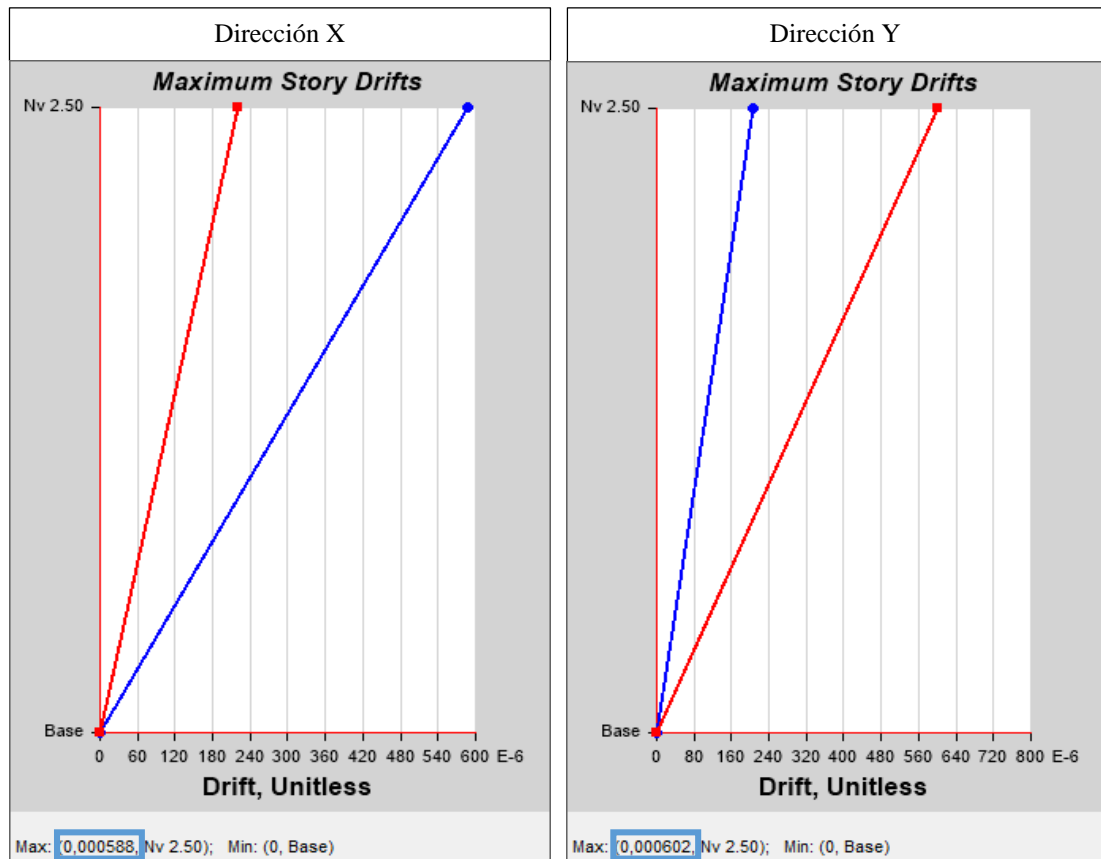
Elaborado: William Mise

En la estructura de 1 piso el cortante dinámico sobrepasa el 85% en las 2 direcciones horizontales con ambos espectros reducidos. Mientras que, la estructura de 3 pisos no supero el 85% en ninguna dirección con el espectro de la NEC-15, en cambio, la relación V_D/V_E del espectro determinístico rebaso el 85%, pero solo en la dirección X. Finalmente la estructura de 5 pisos tampoco excedió el 85% requerido para la verificación en ninguna dirección y con ningún espectro.

❖ **Derivas de Piso (Derivas Dinámicas)**

Se compara las derivas dinámicas obtenidas con los 2 espectros reducidos para las 3 edificaciones.

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



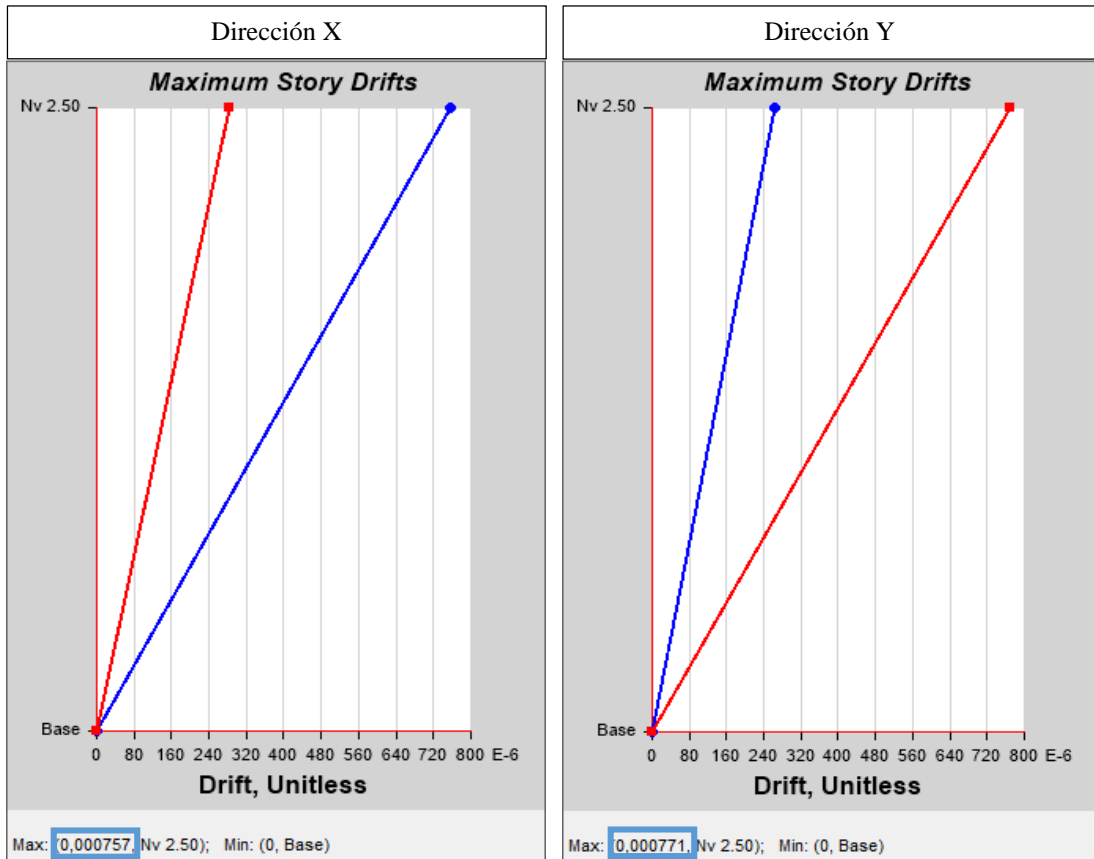
Gráfica 50. Valores máximos de Δ_E con el espectro de la NEC-15, para la estructura de 1 piso

Fuente: ETABS 2016

Tabla 62. Derivas elásticas dinámicas obtenidas con el espectro de la NEC-15, para la estructura de 1 piso

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv 2.50	2,5	Top	0,000588	0,000602

Fuente: ETABS 2016



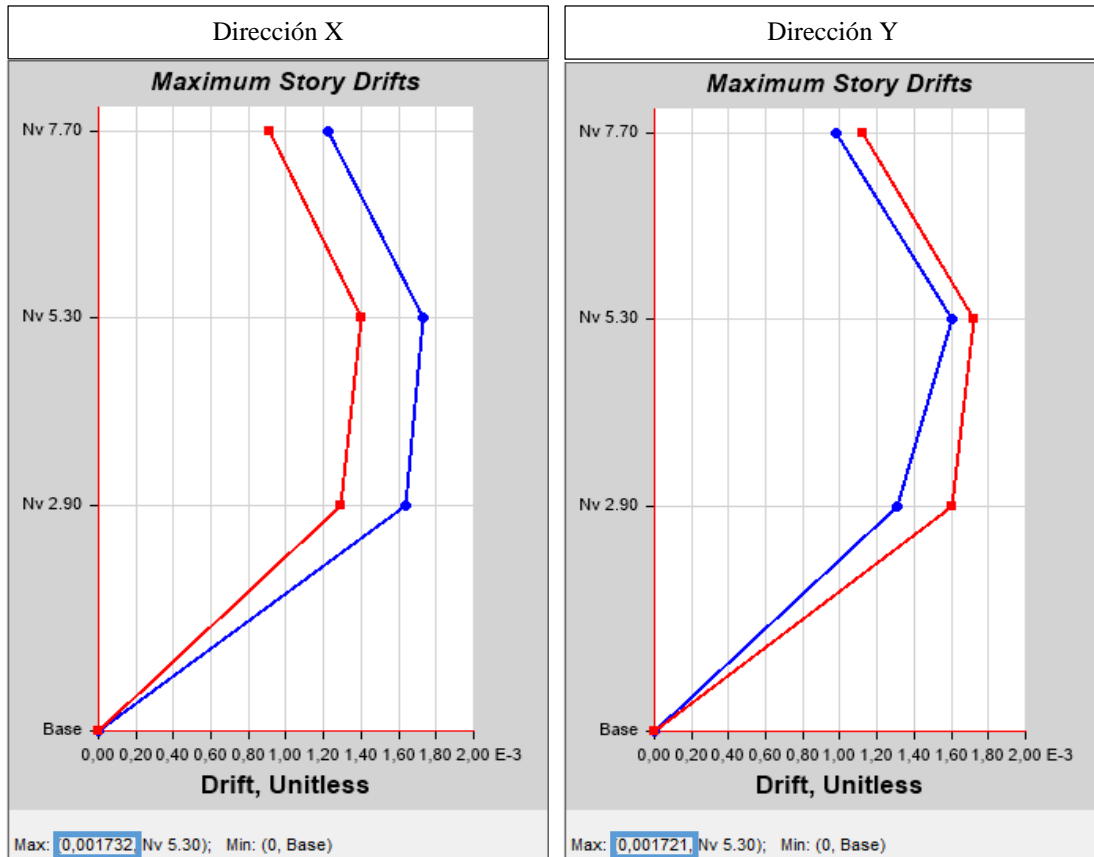
Gráfica 51. Valores máximos de Δ_E con el espectro determinístico, para la estructura de 1 piso

Fuente: ETABS 2016

Tabla 63. Derivas elásticas dinámicas obtenidas con el espectro determinístico, para la estructura de 1 piso

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv 2.50	2,5	Top	0,000757	0,000771

Fuente: ETABS 2016



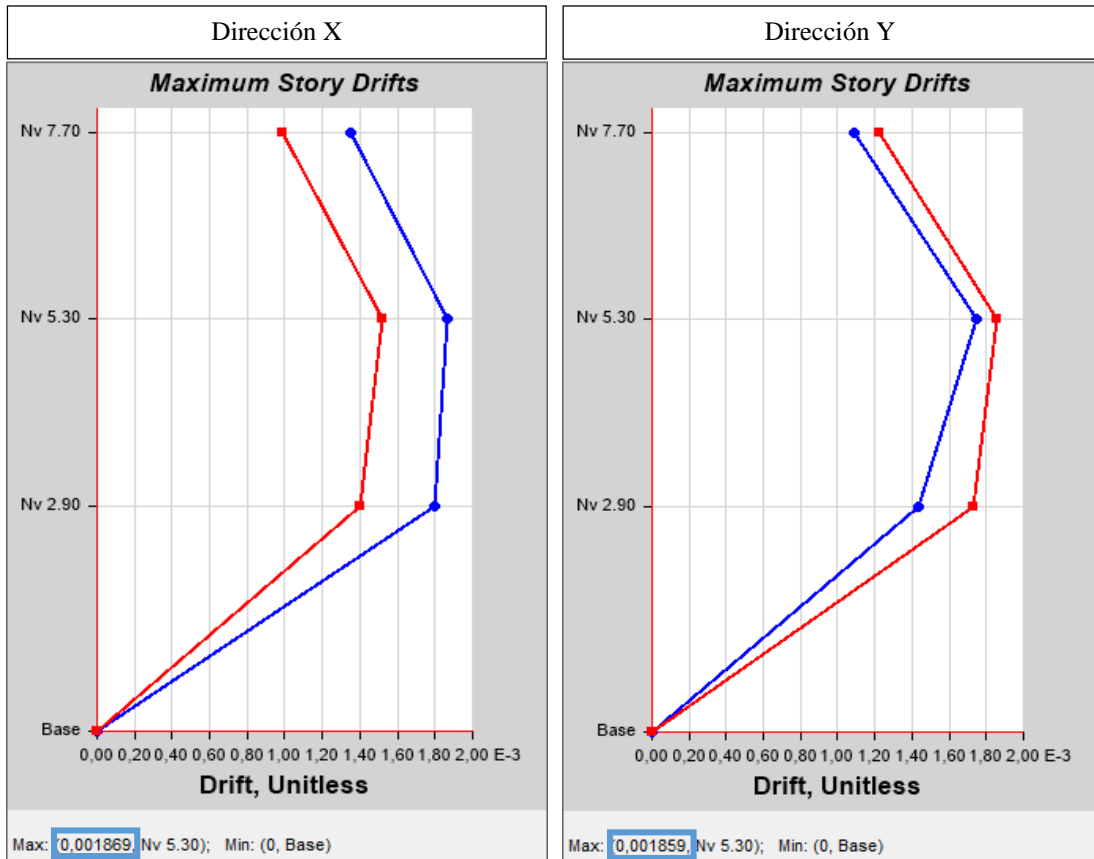
Gráfica 52. Valores máximos de Δ_E con el espectro de la NEC-15, para la estructura de 3 pisos

Fuente: ETABS 2016

Tabla 64. Derivas elásticas dinámicas obtenidas con el espectro de la NEC-15, para la estructura de 3 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv 7.70	7,7	Top	0,001225	0,001122
Nv 5.30	5,3	Top	0,001732	0,001721
Nv 2.90	2,9	Top	0,001633	0,001604

Fuente: ETABS 2016



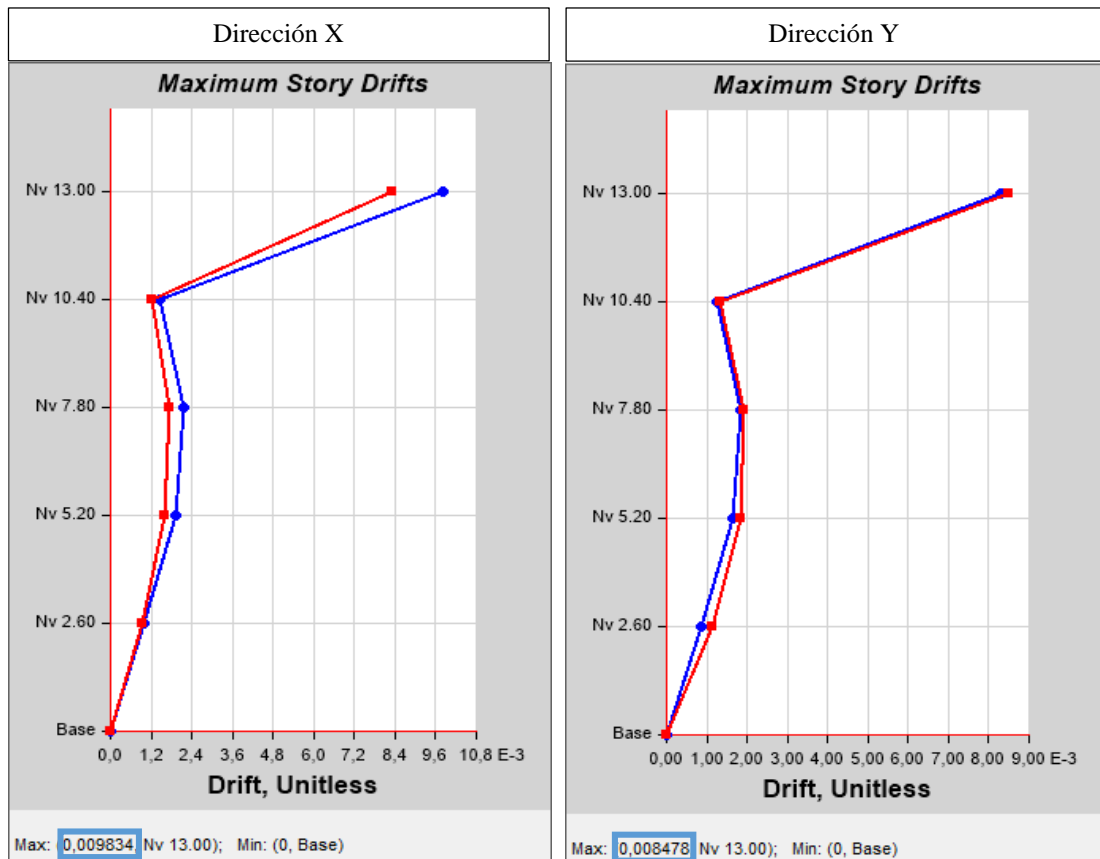
Gráfica 53. Valores máximos de Δ_E con el espectro determinístico, para la estructura de 3 pisos

Fuente: ETABS 2016

Tabla 65. Derivas elásticas dinámicas obtenidas con el espectro determinístico, para la estructura de 3 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv 7.70	7,7	Top	0,00135	0,00122
Nv 5.30	5,3	Top	0,001869	0,001859
Nv 2.90	2,9	Top	0,001797	0,001733

Fuente: ETABS 2016



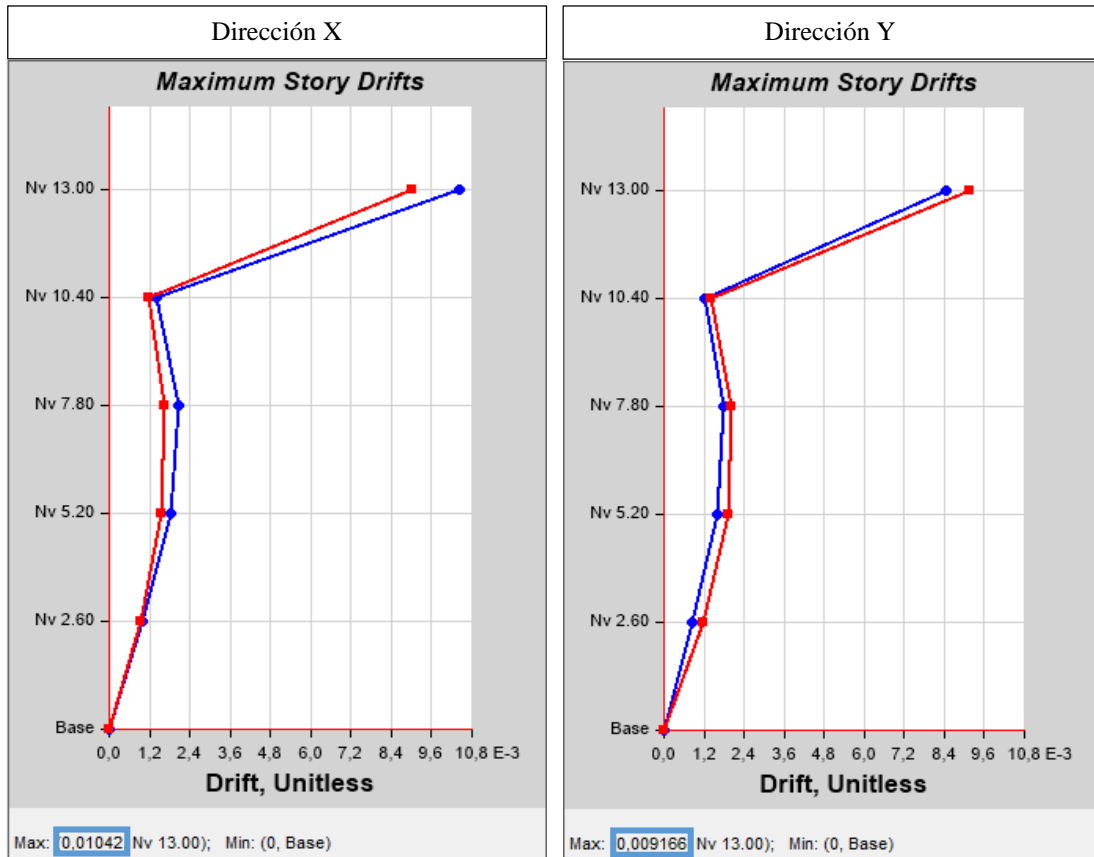
Gráfica 54. Valores máximos de Δ_E con el espectro de la NEC-16, para la estructura de 5 pisos

Fuente: ETABS 2016

Tabla 66. Derivas elásticas dinámicas obtenidas con el espectro de la NEC-15, para la estructura de 5 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv 13.00	13	Top	0,009834	0,008478
Nv 10.40	10,4	Top	0,001452	0,001318
Nv 7.80	7,8	Top	0,00215	0,001928
Nv 5.20	5,2	Top	0,001924	0,001835
Nv 2.60	2,6	Top	0,001001	0,001135

Fuente: ETABS 2016



Gráfica 55. Valores máximos de Δ_E con el espectro determinístico, para la estructura de 5 pisos

Fuente: ETABS 2016

Tabla 67. Derivas elásticas dinámicas obtenidas con el espectro determinístico, para la estructura de 5 pisos

Story Response				
Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv 13.00	13	Top	0,01042	0,009166
Nv 10.40	10,4	Top	0,00141	0,001393
Nv 7.80	7,8	Top	0,00206	0,002024
Nv 5.20	5,2	Top	0,001846	0,001923
Nv 2.60	2,6	Top	0,000966	0,001192

Fuente: ETABS 2016

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

Tabla 68. Derivas elásticas dinámicas obtenidas con los 2 espectros reducidos, para cada estructura

ESTRUCTURA DE 1 PISO				
NIVEL	Dirección Horizontal	NEC-15	Determinístico	Diferencia %
		Δ_D	Δ_D	
2.50 m	Dirección X	0.000588	0.000757	22.32
	Dirección Y	0.000602	0.000771	21.92
ESTRUCTURA DE 3 PISOS				
NIVEL	Dirección Horizontal	NEC-15	Determinístico	Diferencia %
		Δ_D	Δ_D	
5.30 m	Dirección X	0.001732	0.001869	7.33
	Dirección Y	0.001721	0.001859	7.42
ESTRUCUTURA DE 5 PISOS				
NIVEL	Dirección Horizontal	NEC-15	Determinístico	Diferencia %
		Δ_D	Δ_D	
7.80 m	Dirección X	0.002150	0.002060	4.37
	Dirección Y	0.001928	0.002024	4.74
13.00 m (E. Metálica)	Dirección X	0.009834	0.01042	5.62
	Dirección Y	0.008478	0.009166	7.51

Elaborado: William Mise

La estructura de 1 piso presenta una diferencia notable entre los valores de las derivas dinámicas obtenidas con los 2 espectros, mientras que, las estructuras de 3 y 5 pisos muestran una diferencia mucho menor.

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo a la hipótesis planteada en el capítulo 2 de esta investigación “El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras del cantón Ambato – sector Huachi Loreto – Barrio Oriente”. La verificación se lo hará considerando 2 aspectos de la investigación; el primero es el espectro crítico obtenido y el segundo es la evaluación del comportamiento de las estructuras.

Del espectro específico para el barrio Oriente, se determinó un intervalo de periodo crítico entre 0.11 seg a 0.57 seg, lo que significa que las edificaciones que se encuentren dentro de ese rango son las que tienen un nivel de amenaza significativo, debido a que las aceleraciones proporcionadas por la NEC-15 (con las que se calculan las estructuras) son menores a las aceleraciones esperadas del espectro específico.

La evaluación del comportamiento estructural de las edificaciones de 1, 3 y 5 pisos en función a los 2 espectros (NEC-15 y Determinístico) mostraron que: en el Análisis Estático existió una diferencia entre los valores de las derivas inelásticas obtenidos con ambos espectros, y en la validación del análisis dinámico se presentó una situación similar.

Estos 2 parámetros muestran que el espectro crítico o determinístico si influye en las estructuras existentes del barrio Oriente, presentando una mayor amenaza en estructuras de 3 a 5 pisos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El estudio de peligro sísmico determinista realizado en el barrio Oriente, reveló que los espectros obtenidos para las fallas corticales destacan en periodos cortos afectando a estructuras de baja altura, mientras que, los espectros generados para la falla de subducción prevalecen en periodos largos perjudicando a estructuras de gran altura. Por lo tanto, se estableció que las estructuras localizadas en el barrio Oriente están expuestas a sufrir daños en sus elementos estructurales y no estructurales ya que poseen una altura de entre 1 a 5 pisos correspondientes a periodos bajos.
- Las fallas activas Huachi, Totoras, Ambato, Samanga y de Subducción fueron elegidas por sus diferentes grados de afectación sobre la zona de estudio, teniendo magnitudes de momento de **6.9**, **6.5**, **6.5** y **8.9** respectivamente, siendo la falla de Ambato la que presentó mayor peligro para el barrio Oriente por ser la más cercana, y en base a los análisis realizados se puede decir que: mientras más cerca este un sitio de la falla es más propenso a sufrir riesgos durante un evento sísmico.
- En la investigación se desarrollaron 3 espectros propios para cada una de las 4 fallas corticales utilizando las ecuaciones de atenuación propuestas por Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno, obteniendo un total de 12 espectros los cuales presentaron un comportamiento similar en la forma de sus espectros, partiendo con aceleraciones iniciales crecientes durante los primeros periodos hasta llegar a sus respectivos valores picos de ***S_a*** dentro de un rango de periodo de **0.2 seg** a **0.4 seg**, luego los valores de cada espectro descendieron hasta

llegar a su periodo limite. De los 3 modelos utilizados es el de Kanno sin duda el que presento mayores aceleraciones en cada una de las fallas, teniendo valores críticos de Sa de **1.28 g**, **1.55 g**, **1.31 g** y **1.18 g** correspondientes a las fallas de Huachi, Ambato, Totoras y Samanga. Por otro lado, los valores máximos del modelo de Atkinson-Boore son los más bajos dentro del grupo. Mientras que los valores de Sa máximos del modelo de Akkar-Bommer están en un rango intermedio entre los 2 modelos anteriores. Además, se puede rescatar que la falla de Ambato es la que predomina por tener los mayores valores en cada uno de los modelos.

- Para la falla de Subducción se generaron 3 espectros empleando las ecuaciones propuestas por Zhao, Youngs y Lin-Lee, donde los 3 espectros mostraron un incremento significativo en los valores de las aceleraciones durante los periodos iniciales, en el cual Zhao y Youngs presentaron valores máximos de Sa de **0.51 g** y **0.50 g** respectivamente en un mismo periodo de **0.3 seg**, posterior a eso las aceleraciones decayeron mientras el periodo aumentaba, por otro lado, el modelo de Lin-Lee llego hasta un Sa máximo de **0.56 g** en un periodo de **0.5 seg**, luego decreció un poco hasta un periodo de **0.75 seg**, seguidamente volvió a crecer hasta el periodo de **1.5 seg**, posterior a eso los valores de aceleración fueron decreciendo hasta llegar a un periodo límite.
- En la presente investigación, para la determinación del espectro determinístico se descartó al espectro generado bajo la teoría de Lin-Lee, debido a la alta variabilidad de aceleraciones que presenta en periodos medios y largos en relación a la teoría expuesta por Zhao y Youngs, esta variabilidad se debe principalmente a que la ecuación de atenuación fue desarrollada basándose principalmente en tipologías de suelos con estratos profundos poco resistentes. Según se reporta en la investigación del artículo [18] la formulación del LIN – LEE está dada para una zona específica como lo es Taiwán, lo que denota la importancia de la utilización de ecuaciones acorde a las características de cada sitio. Cabe destacar que la NEC recomienda que esta ecuación sea utilizada para nuestro país.

- Al analizar la vivienda de 1 piso, esta solo presentó problemas en el periodo fundamental de la estructura debido a que las dimensiones que posee en sus elementos estructurales son menores a las recomendadas por la NEC-15 u otra norma vigente. Tomando como referencia los resultados conseguidos se establece que las estructuras de 1 piso al tener alturas bajas no presentan un riesgo significativo ante la presencia del espectro crítico, sin embargo, no están libres de sufrir daños en sus elementos no estructurales.

- En el análisis de la estructura de 3 pisos se encontró 3 problemas en los chequeos: el primero es el periodo fundamental el cual está relacionado directamente con el dimensionamiento de las columnas y vigas, el segundo es la validación del análisis dinámico donde el valor del cortante dinámico total en la base fue menor al 85% del cortante basal, y el tercero es la torsión en planta relacionado a una mala capacidad para disipar energía, estas fallas se deben generalmente al subdimensionamiento de los elementos estructurales en especial de los elementos periféricos, teniendo como resultado una estructura flexible y torsional con dificultades para liberar energía. Partiendo de estos resultados se determinó que las estructuras de 3 pisos presentan riesgos considerables frente al espectro crítico que posee su aceleración máxima exactamente en el periodo de 0.3 seg.

- Se analizó un edificio de 5 pisos donde los 4 primeros son de hormigón armado y el último de estructura metálica con una cubierta de fibrocemento, esta edificación presentó problemas en 4 de los 5 chequeos realizados; el primero es el periodo de vibración que fue afectado por sus elementos estructurales, el segundo es la deriva de piso en la dirección horizontal X al no poder resistir las cargas sísmicas aplicadas, el tercero es la validación del análisis dinámico en el que el valor del cortante dinámico total en la base fue menor al 85% del cortante basal y finalmente la torsión en planta que se debe a sus elementos periféricos. En resumen, se define que las columnas, vigas y perfiles estructurales no cuentan con dimensiones capaces de resistir las aceleraciones

dadas por el espectro crítico, entonces, se puede decir en base a estos resultados que las estructuras de 5 pisos localizadas en el área del proyecto están destinadas a sufrir daños en sus elementos estructurales y no estructurales.

- Mediante la envolvente de los 14 espectros generados en esta investigación se obtuvo un espectro crítico, mismo que supera al espectro dado por la NEC-15 en un **23.23%** al llegar a un S_a máximo de **1.55 g** en el periodo de **0.3 seg**. Además, se estableció que el espectro específico predomina durante un intervalo de periodo de **0.11seg a 0.57seg** denominado como crítico, resultando con aceleraciones mayores a las proporcionadas por el espectro de la NEC-15, posterior a ese intervalo de periodo el espectro de la NEC-15 vuelve a prevalecer hasta el final, determinando de esa manera que el espectro específico tiene mayor influencia en estructuras de baja y mediana altura, en cambio el espectro de la NEC-15 afecta más a estructuras con alturas superiores.

5.2 RECOMENDACIONES

- Implementar otros métodos para determinar la velocidad de la onda de corte, como el ensayo de reflexión sísmica o el ensayo de refracción de microtremores, con la finalidad de alcanzar profundidades mayores a 20m, ya que el ensayo de penetración estándar no abarca profundidades significativas.
- Considerar al espectro crítico obtenido en la investigación como un espectro para el diseño de futuras edificaciones en el barrio Oriente, en especial aquellas estructuras de 2 a 5 pisos.

- Realizar una investigación con las fallas activas que tengan mayor magnitud de momento, independientemente de cuán lejos estén de la zona de estudio, para verificar si estas tienen mayor o menor influencia en las estructuras.
- Emplear ecuaciones de predicción de movimiento de suelo (GMPE's) diferentes a las utilizadas en esta investigación, con la finalidad de verificar si existe alguna variación en los resultados obtenidos.

C. MATERIAL DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

[1] P. Ramírez y J. Vivallos, “Microzonificación sísmica de la ciudad de Concepción – Chile”, *XII Congreso Geológico Chileno*, 2009.

[2] B. E. González, “Utilización de los mapas de microzonificación sísmica en el análisis de la vulnerabilidad y la evaluación del riesgo sísmico de áreas urbanas en Cuba”, *Revista de la facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela*, vol. 21, no. 4, pp. 5-16, 2006.

[3] R. Aguiar y otros, “Microzonificación sísmica del centro norte de Quito”, Segunda Jornada de: Investigación científica desde las aulas, *Centro de investigación Científicas, Escuela politécnica del Ejército*, no. 1, 2013.

[4] O. C. Ortiz Panchi, “Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador”, Maestría, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas, 2013.

[5] “El Cinturón de Fuego del Pacífico, la amenaza sísmica de Iberoamérica”, Notimerica.com, 2017. [En Línea]. Disponible en: <http://www.notimerica.com/sociedad/noticia-cinturon-fuego-pacifico-amenaza-sismica-iberoamerica-20160418163956.html>.

[6] “Ambato necesita identificar zonas de alto riesgo”, La Hora Noticias de Ecuador, sus provincias y el mundo, 2002. [En Línea]. Disponible en: <https://lahora.com.ec/noticia/1000077460/ambato-necesita-identificar-zonas-de-alto-riesgo>.

[7] M. Chicaíza Morales, “¿QUE IMPACTO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA TIENE AMBATO?”, Observatorio-ambato.Blogspot.com, 2010. [En Línea]. Disponible en: http://observatorio-ambato.blogspot.com/2010/03/blog-post_18.html.

[8] G. H. Ortiz, “Conceptos básicos sobre terremotos y las causas que lo originan”, tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2012.

- [9] G. Sagripanti, A. Bettiol y C. Seitz, *Terremotos: nuestro planeta vibra bajo el poder de su energía*, 1ra ed. Córdoba, Agencia Córdoba Ciencia S.E., 2007.
- [10] Z. Aguilar Bardales, “Análisis de peligro sísmico y estimado del movimiento sísmico de diseño”, *CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería*, 2002.
- [11] *NEC_SE_DS: Peligro Sísmico y Diseño Sismo Resistente*, MIDUVI, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion>.
- [12] L. M. Taipe Acosta, “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”, Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2013.
- [13] D. Boore y G. Atkinson, “Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s”, *Earthquake Spectra*, vol. 24, no. 1, pp. 99-138, 2008.
- [14] S. Akkar y J. Bommer, “Empirical equations for the prediction of PGA, PGV and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean region and the Middle East”, *Seismological Research Letters*, vol. 81, no. 2, pp. 195-206, 2010.
- [15] T. Kanno, “A new attenuation relation for strong ground motion in Japan based on recorded data”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 96, no. 3, pp. 879-897, 2006.
- [16] R. Youngs y otros, “Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes”, *Seismological Research Letters*, vol. 68, no. 1, pp. 58-73, 1997.
- [17] J. Zhao, “Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 96, no. 3, pp. 898-913, 2006.
- [18] P. Lin y C. Lee, “Ground-motion attenuation relationships for subduction-zone earthquakes in northeastern Taiwan”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 98, no. 1, pp. 220-240, 2008.

[19] E. Juárez y A. Rico, *Mecánica de suelos*, 3ra ed. México: Limusa, 1976, pp. 112-119.

[20] *Mecánica de Suelos. Ensayo de penetración estándar*, NTE INEN 0689, 1982

[21] D. Wells y K. Coppersmith, “New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 84, no. 4, pp. 974-1002, 1994.

[22] Y. Ohta y N. Goto, “Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 6, no. 2, pp. 167-187, 1978.

2. ANEXOS

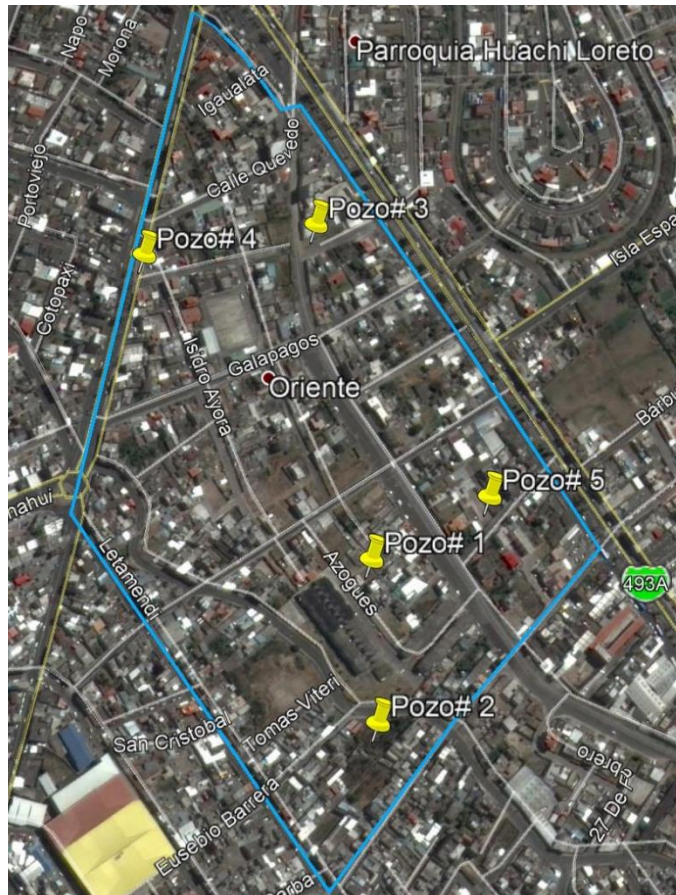
ANEXO A



Fotografía 1. Equipo empleado para el SPT



Fotografía 2. Motor utilizado para el SPT



Fotografía 3. Sector donde se realizó la investigación



Fotografía 4. Primer sitio donde se realizó el ensayo SPT



Fotografía 5. Segundo sitio donde se realizó el ensayo SPT



Fotografía 6. Tercer sitio donde se realizó el ensayo SPT



Fotografía 7. Cuarto sitio donde se realizó el ensayo SPT



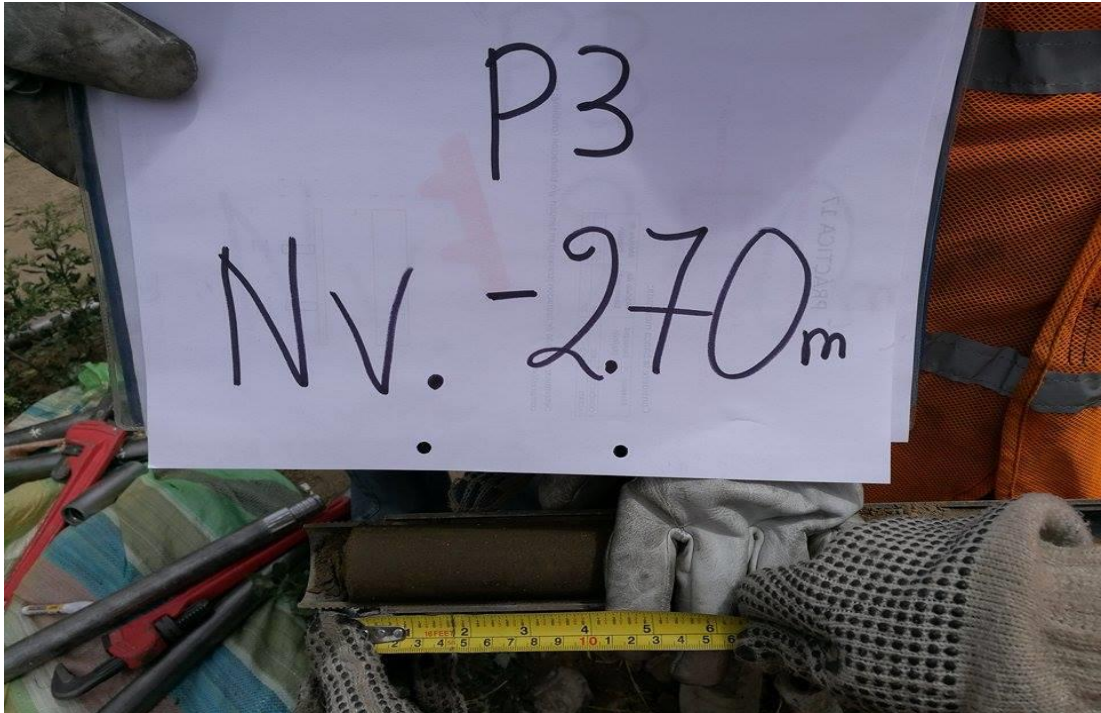
Fotografía 8. Quinto sitio donde se realizó el ensayo SPT



Fotografía 9. Muestra obtenida a la máxima profundidad permitida – Pozo 1



Fotografía 10. Muestra obtenida a la máxima profundidad permitida – Pozo 2



Fotografía 11. Muestra obtenida a la máxima profundidad permitida – Pozo 3



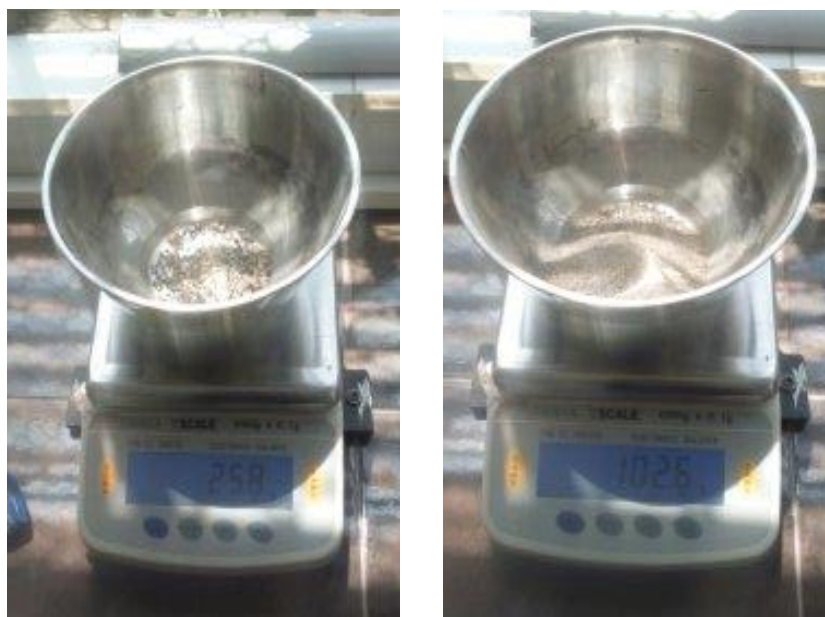
Fotografía 12. Muestra para realizar el ensayo de granulometría



Fotografía 13. Muestra colocadas en el horno durante 24 horas



Fotografía 14. Tamizado de las muestras



Fotografía 15. Peso de la muestra retenida en la malla # 10 y # 40 perteneciente al primer metro del pozo # 4



Fotografía 16. Peso de la muestra retenida en la malla # 60 y # 100 perteneciente al primer metro del pozo # 4



Fotografía 17. Peso de la muestra retenida en la malla # 200 y peso de la muestra que paso la malla # 200 perteneciente al primer metro del pozo # 4



Fotografía 18. Edificación de 1 piso



Fotografía 19. Edificación de 3 pisos



Fotografía 20. Edificación de 5 pisos

ANEXO B

Coefficientes empleados para generar los espectros correspondientes al modelo de Atkinson y Boore (2008)

B – 1. Coeficientes de amplificación de sitio en función al periodo

Periodo	blin	b1	b2
0,00	-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
0,08	-0,23	-0,64	-0,11
0,10	-0,25	-0,60	-0,13
0,15	-0,28	-0,53	-0,18
0,20	-0,31	-0,52	-0,19
0,25	-0,39	-0,52	-0,16
0,30	-0,44	-0,52	-0,14
0,40	-0,50	-0,51	-0,10
0,50	-0,60	-0,50	-0,06
0,75	-0,69	-0,47	0,00
1,00	-0,70	-0,44	0,00
1,50	-0,72	-0,40	0,00
2,00	-0,73	-0,38	0,00
3,00	-0,74	-0,34	0,00
4,00	-0,75	-0,31	0,00
5,00	-0,75	-0,29	0,00
7,50	-0,69	-0,25	0,00
10,00	-0,65	-0,22	0,00

Fuente: Boore y Atkinson (2008)

B – 2. Coeficientes escalares de la distancia ($M_{ref} = 4.5$ y $R_{ref} = 1.0$ km para todos los periodos, excepto $R_{ref} = 5.0$ km para pga4nl)

Periodo	c1	c2	c3	h
0,00	-0,66050	0,1197	-0,01151	1,35
0,01	-0,66220	0,1200	-0,01151	1,35
0,02	-0,66600	0,1228	-0,01151	1,35
0,03	-0,69010	0,1283	-0,01151	1,35
0,05	-0,71700	0,1317	-0,01151	1,35
0,08	-0,72050	0,1237	-0,01151	1,55
0,10	-0,70810	0,1117	-0,01151	1,68
0,15	-0,69610	0,0988	-0,01113	1,86
0,20	-0,58300	0,0427	-0,00952	1,98
0,25	-0,57260	0,0298	-0,00837	2,07
0,30	-0,55430	0,0196	-0,00750	2,14
0,40	-0,64430	0,0439	-0,00626	2,24
0,50	-0,69140	0,0608	-0,00540	2,32
0,75	-0,74080	0,0752	-0,00409	2,46
1,00	-0,81830	0,1027	-0,00334	2,54
1,50	-0,83030	0,0979	-0,00255	2,66
2,00	-0,82850	0,0943	-0,00217	2,73
3,00	-0,78440	0,0728	-0,00191	2,83
4,00	-0,68540	0,0376	-0,00191	2,89
5,00	-0,50960	-0,0239	-0,00191	2,93
7,50	-0,37240	-0,0657	-0,00191	3,00
10,00	-0,09824	-0,1380	-0,00191	3,04

Fuente: Boore y Atkinson (2008)

B – 3. Coeficientes escalares de Magnitud

Periodo	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	Mh
0,00	-0,53804	-0,50350	-0,75472	-0,50970	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
0,08	0,00767	0,04912	-0,20578	0,02706	0,01170	-0,17051	0	6,75
0,10	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	0,17990	-0,14539	0	6,75
0,20	0,57180	0,59253	0,40860	0,61472	0,52729	-0,12964	0,00102	6,75
0,25	0,51884	0,53496	0,33880	0,57747	0,60880	-0,13843	0,08607	6,75
0,30	0,43825	0,44516	0,25356	0,51990	0,64472	-0,15694	0,10601	6,75
0,40	0,39220	0,40602	0,21398	0,46080	0,78610	-0,07843	0,02262	6,75
0,50	0,18957	0,19878	0,00967	0,26337	0,76837	-0,09054	0	6,75
0,75	-0,21338	-0,19496	-0,49176	-0,10813	0,75179	-0,14053	0,10302	6,75
1,00	-0,46896	-0,43443	-0,78465	-0,39330	0,67880	-0,18257	0,05393	6,75
1,50	-0,86271	-0,79593	-1,20902	-0,88085	0,70689	-0,25950	0,19082	6,75
2,00	-1,22652	-1,15514	-1,57697	-1,27669	0,77989	-0,29657	0,29888	6,75
3,00	-1,82979	-1,74690	-2,22584	-1,91814	0,77966	-0,45384	0,67466	6,75
4,00	-2,24656	-2,15906	-2,58228	-2,38168	1,24961	-0,35874	0,79508	6,75
5,00	-1,28408	-1,21270	-1,50904	-1,41093	0,14271	-0,39006	0	8,5
7,50	-1,43145	-1,31632	-1,81022	-1,59217	0,52407	-0,37578	0	8,5
10,00	-2,15446	-2,53323	-2,53323	-2,14635	0,40387	-0,48492	0	8,5

Fuente: Boore y Atkinson (2008)

ANEXO C

Coeficientes empleados para generar los espectros correspondientes al modelo de Akkar y Bommer (2010)

**C – 1. Coeficientes de la ecuación para predecir la aceleración pseudo-espectral –
Parte 1**

Periodo T(s)	b1	b2	b3	b4	b5
0	1,04159	0,91333	-0,0814	-2,92728	0,2812
0,05	2,11528	0,72571	-0,07351	-3,33201	0,33534
0,1	2,11994	0,75179	-0,07448	-3,10538	0,30253
0,15	1,64489	0,83683	-0,07544	-2,75848	0,2549
0,2	0,92065	0,96815	-0,07903	-2,49264	0,2179
0,25	0,13978	1,13068	-0,08761	-2,33824	0,20089
0,3	-0,84006	1,37439	-0,10349	-2,19123	0,18139
0,35	-1,32207	1,47055	-0,10873	-2,12993	0,17485
0,4	-1,7032	1,5593	-0,11388	-2,12718	0,17137
0,45	-1,97201	1,61645	-0,11742	-2,16619	0,177
0,5	-2,76925	1,83268	-0,13202	-2,12969	0,16877
0,55	-3,51672	2,02523	-0,14495	-2,04211	0,15617
0,6	-3,92759	2,08471	-0,14648	-1,88144	0,13621
0,65	-4,4949	2,21154	-0,15522	-1,79031	0,12916
0,7	-4,62925	2,21764	-0,15491	-1,798	0,13495
0,75	-4,95053	2,29142	-0,15983	-1,81321	0,1392
0,8	-5,32863	2,38389	-0,16571	-1,77273	0,13273
0,85	-5,75799	2,50635	-0,17479	-1,77068	0,13096
0,9	-5,82689	2,50287	-0,17367	-1,76295	0,13059
0,95	-5,90592	2,51405	-0,17417	-1,79854	0,13535
1	-6,17066	2,58558	-0,17938	-1,80717	0,13599
1,05	-6,60337	2,69584	-0,18646	-1,73843	0,12485
1,1	-6,90379	2,77044	-0,19171	-1,71109	0,12227
1,15	-6,9618	2,75857	-0,1889	-1,66588	0,11447
1,2	-6,99236	2,73427	-0,18491	-1,5912	0,10265
1,25	-6,74613	2,62375	-0,17392	-1,52886	0,09129
1,3	-6,51719	2,51869	-0,1633	-1,46527	0,08005
1,35	-6,55821	2,52238	-0,16307	-1,48223	0,08173

1,4	-6,61945	2,52611	-0,16274	-1,48257	0,08213
1,45	-6,62737	2,49858	-0,1591	-1,4331	0,07577
1,5	-6,71787	2,49486	-0,15689	-1,35301	0,06379
1,55	-6,80776	2,50291	-0,15629	-1,31227	0,05697
1,6	-6,83632	2,51009	-0,15676	-1,3326	0,0587
1,65	-6,88684	2,54048	-0,15995	-1,40931	0,0686
1,7	-6,946	2,57151	-0,16294	-1,47676	0,07672
1,75	-7,09166	2,62938	-0,16794	-1,54037	0,08428
1,8	-7,22818	2,66824	-0,17057	-1,54273	0,08325
1,85	-7,29772	2,67565	-0,17004	-1,50936	0,07663
1,9	-7,35522	2,67749	-0,16934	-1,46988	0,07065
1,95	-7,40716	2,68206	-0,16906	-1,43816	0,06525
2	-7,50404	2,71004	-0,1713	-1,44395	0,06602
2,05	-7,55598	2,72737	-0,17291	-1,45794	0,06774
2,1	-7,53463	2,71709	-0,17221	-1,46662	0,0694
2,15	-7,50811	2,71035	-0,17212	-1,49679	0,07429
2,2	-8,09168	2,91159	-0,1892	-1,55644	0,08428
2,25	-8,11057	2,92087	-0,19044	-1,59537	0,09052
2,3	-8,16272	2,93325	-0,19155	-1,60461	0,09284
2,35	-7,94704	2,85328	-0,18539	-1,57428	0,09077
2,4	-7,96679	2,85363	-0,18561	-1,57833	0,09288
2,45	-7,97878	2,849	-0,18527	-1,57728	0,09428
2,5	-7,88403	2,81817	-0,1832	-1,60381	0,09887
2,55	-7,68101	2,7572	-0,17905	-1,65212	0,1068
2,6	-7,72574	2,82043	-0,18717	-1,88782	0,14049
2,65	-7,53288	2,74824	-0,18142	-1,89525	0,14356
2,7	-7,41587	2,69012	-0,17632	-1,87041	0,14283
2,75	-7,34541	2,65352	-0,17313	-1,86079	0,1434
2,8	-7,24561	2,61028	-0,16951	-1,85612	0,14444
2,85	-7,07107	2,56123	-0,16616	-1,90422	0,15127
2,9	-6,99332	2,52699	-0,16303	-1,89704	0,15039
2,95	-6,95669	2,51006	-0,16142	-1,90132	0,15081
3	-6,92924	2,45899	-0,15513	-1,76801	0,13314

Fuente: Akkar y Bommer (2010)

C – 1. Coeficientes de la ecuación para predecir la aceleración pseudo-espectral –

Parte 2

Periodo T(s)	b6	b7	b8	b9	b10
0	7,86638	0,08753	0,01527	-0,04189	0,08015
0,05	7,74734	0,04707	-0,02426	-0,0426	0,08649
0,1	8,21405	0,02667	-0,00062	-0,04906	0,0791
0,15	8,31786	0,02578	0,01703	-0,04184	0,0784
0,2	8,21914	0,06557	0,02105	-0,02098	0,08438
0,25	7,20688	0,0981	0,03919	-0,04853	0,08577
0,3	6,54299	0,12847	0,0434	-0,05554	0,09221
0,35	6,24751	0,16213	0,06695	-0,04722	0,09003
0,4	6,57173	0,21222	0,09201	-0,05145	0,09903
0,45	6,78082	0,24121	0,11675	-0,05202	0,09943
0,5	7,17423	0,25944	0,13562	-0,04283	0,08579
0,55	6,7617	0,26498	0,14446	-0,04259	0,06945
0,6	6,10103	0,27718	0,15156	-0,03853	0,05932
0,65	5,19135	0,28574	0,15239	-0,03423	0,05111
0,7	4,46323	0,30348	0,15652	-0,04146	0,04661
0,75	4,27945	0,31516	0,16333	-0,0405	0,04253
0,8	4,37011	0,32153	0,17366	-0,03946	0,03373
0,85	4,62192	0,3352	0,1848	-0,03786	0,02867
0,9	4,65393	0,34849	0,19061	-0,02884	0,02475
0,95	4,8454	0,35919	0,19411	-0,02209	0,02502
1	4,97596	0,36619	0,19519	-0,02269	0,02121
1,05	5,04489	0,37278	0,19461	-0,02613	0,01115
1,1	5,00975	0,37756	0,19423	-0,02655	0,0014
1,15	5,08902	0,38149	0,19402	-0,02088	0,00148
1,2	5,03274	0,3812	0,19309	-0,01623	0,00413
1,25	5,08347	0,38782	0,19392	-0,01826	0,00413
1,3	5,14423	0,38862	0,19273	-0,01902	-0,00369
1,35	5,29006	0,38677	0,19082	-0,01842	-0,00897
1,4	5,3349	0,38625	0,19285	-0,01607	-0,00876
1,45	5,19412	0,38285	0,19161	-0,01288	-0,00564
1,5	5,1575	0,37867	0,18812	-0,01208	-0,00215

1,55	5,27441	0,37267	0,18568	-0,00845	-0,00047
1,6	5,54539	0,36952	0,18149	-0,00533	-0,00006
1,65	5,93828	0,36531	0,17617	-0,00852	-0,00301
1,7	6,36599	0,35936	0,17301	-0,01204	-0,00744
1,75	6,82292	0,35284	0,16945	-0,01386	-0,01387
1,8	7,11603	0,34775	0,16743	-0,01402	-0,01492
1,85	7,31928	0,34561	0,1673	-0,01526	-0,01192
1,9	7,25988	0,34142	0,16325	-0,01563	-0,00703
1,95	7,25344	0,3372	0,16171	-0,01848	-0,00351
2	7,26059	0,33298	0,15839	-0,02258	-0,00486
2,05	7,4032	0,3301	0,15496	-0,02626	-0,00731
2,1	7,46168	0,32645	0,15337	-0,0292	-0,00871
2,15	7,51273	0,32439	0,15264	-0,03484	-0,01225
2,2	7,77062	0,31354	0,1443	-0,03985	-0,01927
2,25	7,87702	0,30997	0,1443	-0,04155	-0,02322
2,3	7,91753	0,30826	0,14412	-0,04238	-0,02626
2,35	7,61956	0,32071	0,14321	-0,04963	-0,02342
2,4	7,59643	0,31801	0,14301	-0,0491	-0,0257
2,45	7,50338	0,31401	0,14324	-0,04812	-0,02643
2,5	7,53947	0,31104	0,14332	-0,0471	-0,02769
2,55	7,61893	0,30875	0,14343	-0,04607	-0,02819
2,6	8,12248	0,31122	0,14255	-0,05106	-0,02966
2,65	7,92236	0,30935	0,14223	-0,05024	-0,0293
2,7	7,49999	0,30688	0,14074	-0,04887	-0,02963
2,75	7,26668	0,30635	0,14052	-0,04743	-0,02919
2,8	7,11861	0,30534	0,13923	-0,04731	-0,02751
2,85	7,36277	0,30508	0,13933	-0,04522	-0,02776
2,9	7,45038	0,30362	0,13776	-0,04203	-0,02615
2,95	7,60234	0,29987	0,13584	-0,03863	-0,02487
3	7,2195	0,29772	0,13198	-0,03855	-0,02469

Fuente: Akkar y Bommer (2010)

ANEXO D

D – 1. Coeficientes de regresión para el modelo de Kanno para un evento superficial y espectro de respuesta de aceleración atenuado 5%

Periodo T(s)	a1	b1	c1	d1	ε1
0,00	0,56	0,00	0,26	0,01	0,37
0,05	0,54	0,00	0,48	0,01	0,37
0,06	0,54	0,00	0,57	0,01	0,38
0,07	0,53	0,00	0,67	0,01	0,38
0,08	0,52	0,00	0,75	0,01	0,39
0,09	0,52	0,00	0,80	0,01	0,40
0,10	0,52	0,00	0,85	0,01	0,40
0,11	0,50	0,00	0,96	0,01	0,40
0,12	0,51	0,00	0,93	0,01	0,40
0,13	0,51	0,00	0,91	0,01	0,40
0,15	0,52	0,00	0,89	0,01	0,41
0,17	0,53	0,00	0,84	0,01	0,41
0,20	0,54	0,00	0,76	0,01	0,40
0,22	0,54	0,00	0,73	0,00	0,40
0,25	0,54	0,00	0,66	0,00	0,40
0,30	0,56	0,00	0,51	0,00	0,39
0,35	0,56	0,00	0,42	0,00	0,40
0,40	0,58	0,00	0,26	0,00	0,40
0,45	0,59	0,00	0,13	0,00	0,41
0,50	0,59	0,00	0,04	0,00	0,41
0,60	0,62	0,00	-0,22	0,00	0,41
0,70	0,63	0,00	-0,37	0,00	0,41
0,80	0,65	0,00	-0,54	0,00	0,41
0,90	0,68	0,00	-0,80	0,00	0,41
1,00	0,71	0,00	-1,04	0,00	0,41
1,10	0,72	0,00	-1,19	0,00	0,41
1,20	0,73	0,00	-1,32	0,00	0,41
1,30	0,74	0,00	-1,44	0,00	0,41
1,50	0,77	0,00	-1,70	0,00	0,40
1,70	0,79	0,00	-1,89	0,00	0,39
2,00	0,80	0,00	-2,08	0,00	0,39
2,20	0,82	0,00	-2,24	0,00	0,38
2,50	0,84	0,00	-2,46	0,00	0,38
3,00	0,86	0,00	-2,72	0,00	0,38
3,50	0,90	0,00	-2,99	0,00	0,37
4,00	0,92	0,00	-3,21	0,00	0,38
4,50	0,94	0,00	-3,39	0,01	0,38
5,00	0,92	0,00	-3,35	0,00	0,38

D – 2. Coeficientes de regresión para la corrección de sitio

Periodo T(s)	p	q
0,00	-0,55	1,35
0,05	-0,32	0,8
0,06	-0,26	0,65
0,07	-0,24	0,6
0,08	-0,26	0,64
0,09	-0,29	0,72
0,10	-0,32	0,78
0,11	-0,35	0,84
0,12	-0,39	0,94
0,13	-0,43	1,04
0,15	-0,53	1,28
0,17	-0,61	1,47
0,20	-0,68	1,65
0,22	-0,72	1,74
0,25	-0,75	1,82
0,30	-0,8	1,96
0,35	-0,85	2,09
0,40	-0,87	2,13
0,45	-0,89	2,18
0,50	-0,91	2,25
0,60	-0,92	2,3
0,70	-0,96	2,41
0,80	-0,98	2,46
0,90	-0,97	2,44
1,00	-0,93	2,32
1,10	-0,92	2,3
1,20	-0,91	2,26
1,30	-0,88	2,2
1,50	-0,85	2,12
1,70	-0,83	2,06
2,00	-0,78	1,92
2,20	-0,76	1,88
2,50	-0,72	1,8
3,00	-0,68	1,7
3,50	-0,66	1,64
4,00	-0,62	1,54
4,50	-0,6	1,5
5,00	-0,59	1,46

Fuente: Kanno (2006)

ANEXO E

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

Periodo T(s)	c1	c2	c3	c4	c5	Desviación Estándar
0,000	0	0	-2,329	1,45	-0,1	0,65
0,075	2,400	-0,0019	-2,670	1,45	-0,1	0,65
0,100	2,516	-0,0019	-2,697	1,45	-0,1	0,65
0,200	1,549	-0,0019	-2,464	1,45	-0,1	0,65
0,300	0,793	-0,0020	-2,327	1,45	-0,1	0,65
0,400	0,144	-0,0020	-2,230	1,45	-0,1	0,65
0,500	-0,438	-0,0035	-2,140	1,45	-0,1	0,65
0,750	-1,704	-0,0048	-1,952	1,45	-0,1	0,65
1,000	-2,870	-0,0066	-1,785	1,45	-0,1	0,65
1,500	-5,101	-0,0114	-1,470	1,5	-0,1	0,7
2,000	-6,433	-0,0164	-1,290	1,55	-0,1	0,75
3,000	-6,672	-0,0221	-1,347	1,65	-0,1	0,85
4,000	-7,618	-0,0235	-1,272	1,65	-0,1	0,85

Fuente: Youngs (1997)

ANEXO F

F – 1. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria correspondientes al modelo de Zhao (2006)

Periodo T(s)	a	b	c	d	e	SR	SI	Ss	Ss _L
0,00	1,101	-0,00564	0,0055	1,08	0,01412	0,251	0	2,607	-0,528
0,05	1,076	-0,00671	0,0075	1,06	0,01463	0,251	0	2,764	-0,551
0,10	1,118	-0,00787	0,009	1,083	0,01423	0,24	0	2,156	-0,42
0,15	1,134	-0,00722	0,01	1,053	0,01509	0,251	0	2,161	-0,431
0,20	1,147	-0,00659	0,012	1,014	0,01462	0,26	0	1,901	-0,372
0,25	1,149	-0,0059	0,014	0,966	0,01459	0,0269	0	1,814	-0,36
0,30	1,163	-0,0052	0,015	0,934	0,01458	0,259	0	2,181	-0,45
0,40	1,2	-0,00422	0,01	0,959	0,01257	0,248	-0,041	2,432	-0,506
0,50	1,25	-0,00338	0,006	1,008	0,01114	0,247	-0,053	2,629	-0,554
0,60	1,293	-0,00282	0,003	1,088	0,01019	0,233	-0,103	2,702	-0,575
0,70	1,336	-0,00258	0,0025	1,084	0,00979	0,22	-0,146	2,654	-0,572
0,80	1,386	-0,00242	0,0022	1,088	0,00944	0,232	-0,164	2,48	-0,54
0,90	1,433	-0,00232	0,002	1,109	0,00972	0,22	-0,206	2,332	-0,522
1,00	1,479	-0,0022	0,002	1,115	0,01005	0,211	-0,239	2,233	-0,509
1,25	1,551	-0,00207	0,002	1,083	0,01003	0,251	-0,256	2,029	-0,469
1,50	1,621	-0,00224	0,002	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	-0,32	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	0,004	1,044	0,0059	0,353	-0,39	0,561	-0,169
5,00	1,825	-0,00237	0,005	1,065	0,0051	0,248	-0,498	0,225	-0,12

Fuente: Zhao (2006)

F – 2. Coeficientes para la condición de la clase de sitio

Periodo T(s)	CH	C1	C2	C3	C4
0,00	0,239	1,111	1,344	1,355	1,42
0,05	0,939	1,684	1,793	1,747	1,814
0,10	1,499	2,061	2,135	2,031	2,082
0,15	1,462	1,916	2,168	2,052	2,113
0,20	1,28	1,669	2,085	2,001	2,03
0,25	1,121	1,468	1,942	1,941	1,937
0,30	0,852	1,172	1,683	1,808	1,77
0,40	0,365	0,655	1,127	1,482	1,397
0,50	-0,207	0,071	0,515	0,934	0,955
0,60	-0,705	-0,429	-0,003	0,394	0,559
0,70	-1,144	-0,866	-0,449	-0,111	0,188
0,80	-1,609	-1,325	-0,928	-0,62	-0,246
0,90	-2,023	-1,732	-1,349	-1,066	-0,643
1,00	-2,451	-2,152	-1,776	-1,523	-1,084
1,25	-3,243	-2,923	-2,542	-2,327	-1,936
1,50	-3,888	-3,548	-3,169	-2,979	-2,661
2,00	-4,783	-4,41	-4,039	-3,871	-3,64
2,50	-5,444	-5,049	-4,698	-4,496	-4,341
3,00	-5,839	-5,431	-5,089	-4,893	-4,758
4,00	-6,598	-6,181	-5,882	-5,698	-5,588
5,00	-6,752	-6,347	-6,051	-5,873	-5,798

Fuente: Zhao (2006)

ANEXO G

G – 1. Coeficientes de regresión de la ecuación de atenuación para sitios de suelo para el modelo de Lin y Lee (2008)

Periodo T(s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0,00	-0,9	1	-1,9	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,01	-2,2	1,085	-1,75	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,02	-2,29	1,085	-1,73	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,03	-2,34	1,095	-1,72	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,04	-2,215	1,09	-1,73	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,05	-1,895	1,055	-1,755	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,06	-1,11	1,01	-1,835	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,09	-0,21	0,945	-1,89	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,10	-0,055	0,92	-1,88	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,12	-0,055	0,935	-1,895	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,15	-0,04	0,955	-1,88	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,17	-0,34	1,02	-1,885	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,20	-0,8	1,045	-1,82	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,24	-1,575	1,1	-1,755	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,30	-3,01	1,315	-1,695	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,36	-3,68	1,38	-1,66	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,40	-4,25	1,415	-1,6	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,46	-4,72	1,43	-1,545	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,50	-5,22	1,455	-1,49	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,60	-5,7	1,47	-1,45	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,75	-6,45	1,5	-1,38	0,99178	0,52632	0,004	0,31
0,85	-7,25	1,565	-1,325	0,99178	0,52632	0,004	0,31
1,00	-8,15	1,605	-1,235	0,99178	0,52632	0,004	0,31
1,50	-10,3	1,8	-1,165	0,99178	0,52632	0,004	0,31
2,00	-11,62	1,86	-1,07	0,99178	0,52632	0,004	0,31
3,00	-12,63	1,89	-1,06	0,99178	0,52632	0,004	0,31
4,00	-13,42	1,87	-0,99	0,99178	0,52632	0,004	0,31
5,00	-13,75	1,835	-0,975	0,99178	0,52632	0,004	0,31

Fuente: Lin y Lee (2008)

ANEXO H

H – 1. Valores de las aceleraciones obtenidos con el modelo de Atkinson y Boore (2008) para las fallas de Huachi, Ambato, Totoras y Samanga.

Periodo (T)	Huachi Sa (g)	Ambato Sa (g)	Totoras Sa (g)	Samanga Sa (g)
0,000	0,329	0,421	0,338	0,290
0,010	0,332	0,424	0,341	0,293
0,020	0,347	0,443	0,355	0,302
0,030	0,380	0,483	0,383	0,317
0,050	0,440	0,555	0,435	0,347
0,075	0,548	0,678	0,537	0,417
0,100	0,631	0,774	0,621	0,483
0,150	0,713	0,875	0,719	0,580
0,200	0,702	0,898	0,750	0,639
0,250	0,722	0,941	0,783	0,677
0,300	0,721	0,946	0,788	0,685
0,400	0,689	0,937	0,769	0,675
0,500	0,650	0,892	0,728	0,636
0,750	0,518	0,722	0,584	0,517
1,000	0,385	0,536	0,434	0,381
1,500	0,225	0,317	0,258	0,232
2,000	0,145	0,207	0,169	0,158
3,000	0,074	0,107	0,088	0,088
4,000	0,041	0,062	0,052	0,058
5,000	0,024	0,038	0,033	0,042
7,500	0,010	0,016	0,014	0,020
10,000	0,005	0,008	0,008	0,013

Elaborado: William Mise

H – 2. Valores de las aceleraciones obtenidos con el modelo de Akkar y Bommer (2010) para las fallas de Huachi, Ambato, Totoras y Samanga.

Periodo T(s)	Huachi Sa (g)	Ambato Sa (g)	Totoras Sa (g)	Samanga Sa (g)
0,00	0,475	0,526	0,491	0,419
0,05	0,626	0,683	0,634	0,518
0,10	0,776	0,839	0,786	0,648
0,15	0,890	0,972	0,914	0,780
0,20	0,981	1,097	1,031	0,917
0,25	1,064	1,214	1,126	0,989
0,30	1,117	1,296	1,187	1,020
0,35	1,072	1,259	1,147	0,991
0,40	1,065	1,259	1,154	1,027
0,45	0,982	1,168	1,076	0,981
0,50	0,884	1,059	0,982	0,922
0,55	0,830	1,005	0,924	0,854
0,60	0,781	0,962	0,873	0,797
0,65	0,745	0,933	0,826	0,721
0,70	0,743	0,951	0,819	0,694
0,75	0,703	0,911	0,779	0,661
0,80	0,645	0,838	0,719	0,619
0,85	0,598	0,773	0,672	0,587
0,90	0,551	0,716	0,623	0,553
0,95	0,510	0,661	0,580	0,526
1,00	0,476	0,618	0,545	0,498
1,05	0,447	0,581	0,514	0,474
1,10	0,414	0,540	0,477	0,442
1,15	0,390	0,513	0,454	0,429
1,20	0,374	0,496	0,438	0,419
1,25	0,359	0,481	0,425	0,416
1,30	0,337	0,455	0,403	0,404
1,35	0,314	0,425	0,378	0,385
1,40	0,296	0,402	0,358	0,369
1,45	0,282	0,386	0,343	0,356
1,50	0,269	0,371	0,328	0,345

1,55	0,251	0,348	0,309	0,330
1,60	0,235	0,324	0,291	0,316
1,65	0,221	0,302	0,274	0,303
1,70	0,205	0,280	0,256	0,289
1,75	0,191	0,259	0,239	0,275
1,80	0,180	0,243	0,226	0,264
1,85	0,172	0,233	0,217	0,258
1,90	0,167	0,227	0,211	0,251
1,95	0,162	0,220	0,205	0,244
2,00	0,156	0,212	0,197	0,235
2,05	0,148	0,201	0,187	0,224
2,10	0,140	0,191	0,178	0,214
2,15	0,134	0,182	0,170	0,204
2,20	0,128	0,172	0,161	0,194
2,25	0,121	0,163	0,153	0,185
2,30	0,116	0,156	0,147	0,177
2,35	0,116	0,157	0,147	0,176
2,40	0,111	0,149	0,140	0,168
2,45	0,106	0,143	0,134	0,160
2,50	0,101	0,136	0,128	0,153
2,55	0,096	0,129	0,121	0,147
2,60	0,093	0,124	0,118	0,143
2,65	0,090	0,121	0,114	0,139
2,70	0,088	0,118	0,111	0,135
2,75	0,086	0,116	0,109	0,132
2,80	0,084	0,113	0,106	0,129
2,85	0,080	0,108	0,102	0,125
2,90	0,077	0,105	0,098	0,122
2,95	0,074	0,101	0,095	0,119
3,00	0,073	0,099	0,093	0,118

Elaborado: William Mise

H – 3. Valores de las aceleraciones obtenidos con el modelo de Kanno (2006) para las fallas de Huachi, Ambato, Totoras y Samanga.

Periodo T(s)	Huachi Sa	Ambato Sa	Totoras Sa	Samanga Sa
0,00	0,557	0,674	0,576	0,533
0,05	0,673	0,798	0,689	0,629
0,06	0,787	0,927	0,805	0,737
0,07	0,846	0,991	0,861	0,780
0,08	0,830	0,963	0,841	0,756
0,09	0,921	1,066	0,933	0,839
0,10	0,977	1,128	0,989	0,892
0,11	1,047	1,221	1,052	0,921
0,12	1,116	1,305	1,126	0,996
0,13	1,068	1,248	1,077	0,954
0,15	1,183	1,394	1,200	1,071
0,17	1,257	1,500	1,282	1,150
0,20	1,278	1,541	1,310	1,184
0,22	1,254	1,531	1,287	1,157
0,25	1,151	1,421	1,182	1,059
0,30	1,227	1,555	1,274	1,154
0,35	1,066	1,366	1,108	0,999
0,40	1,021	1,338	1,072	0,980
0,45	0,929	1,242	0,982	0,900
0,50	0,946	1,335	1,003	0,898
0,60	0,795	1,110	0,853	0,796
0,70	0,715	1,027	0,772	0,720
0,80	0,680	1,002	0,742	0,699
0,90	0,600	0,905	0,664	0,642
1,00	0,484	0,726	0,543	0,544
1,10	0,433	0,673	0,489	0,489
1,20	0,402	0,658	0,457	0,452
1,30	0,365	0,600	0,417	0,416
1,50	0,281	0,451	0,325	0,339
1,70	0,224	0,356	0,262	0,281
2,00	0,158	0,249	0,185	0,201
2,20	0,142	0,222	0,168	0,188
2,50	0,117	0,183	0,139	0,159
3,00	0,090	0,145	0,108	0,126
3,50	0,066	0,101	0,081	0,101
4,00	0,043	0,062	0,052	0,068
4,50	0,030	0,042	0,037	0,050
5,00	0,040	0,062	0,049	0,062

Elaborado: William Mise

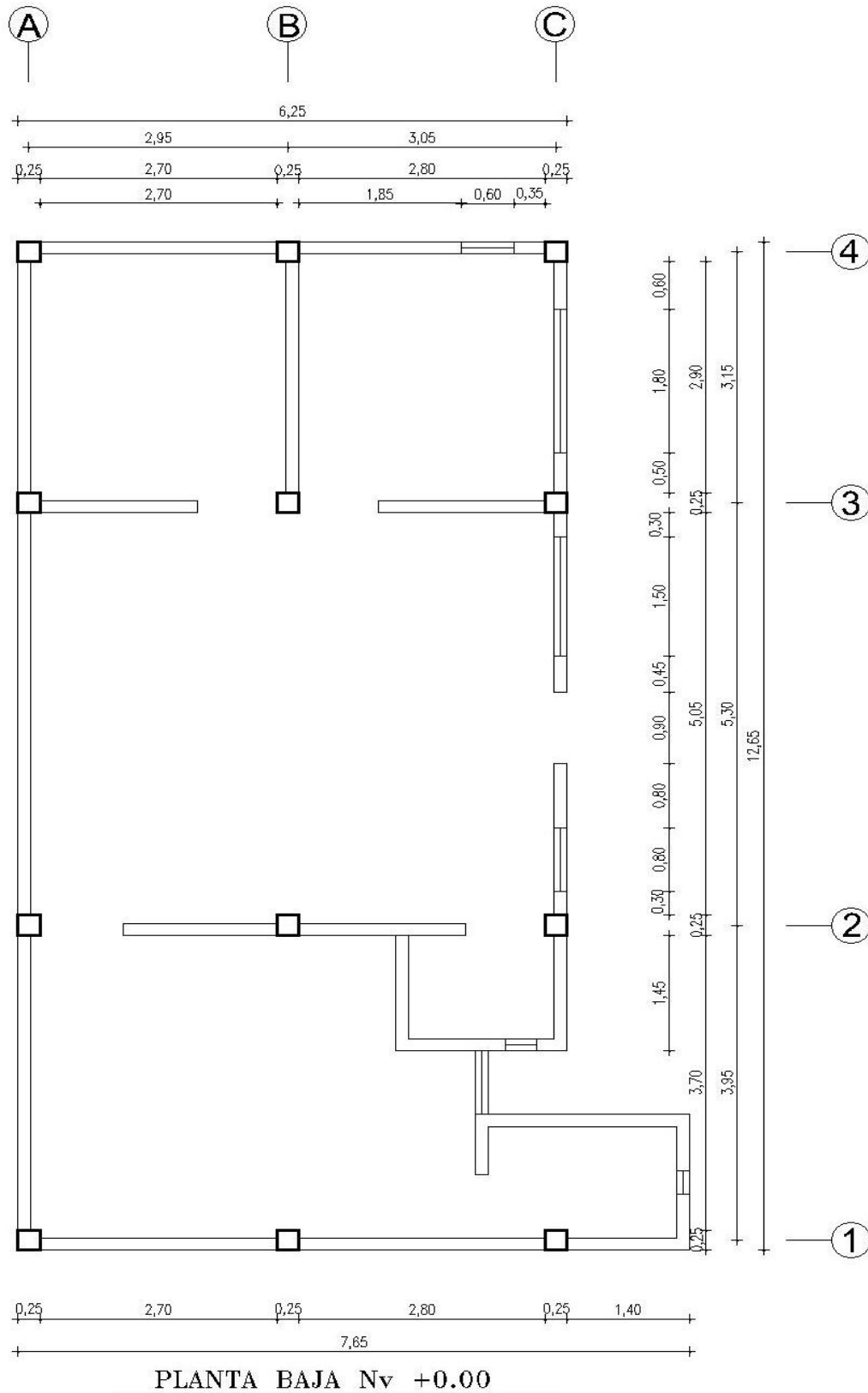
H – 4. Valores de las aceleraciones obtenidos para la falla de Subducción con el modelo 3 modelos utilizados

Youngs		Zhao		Lin y Lee	
Periodo T(s)	Sa (g)	Periodo T(s)	Sa (g)	Periodo T(s)	Sa (g)
0,00	0,225	0,00	0,158	0,00	0,064
0,08	0,284	0,05	0,151	0,01	0,093
0,10	0,269	0,10	0,212	0,02	0,096
0,20	0,449	0,15	0,343	0,03	0,106
0,30	0,503	0,20	0,462	0,04	0,108
0,40	0,487	0,25	0,415	0,05	0,093
0,50	0,481	0,30	0,508	0,06	0,084
0,75	0,447	0,40	0,404	0,09	0,083
1,00	0,401	0,50	0,345	0,10	0,083
1,50	0,317	0,60	0,298	0,12	0,086
2,00	0,261	0,70	0,282	0,15	0,114
3,00	0,142	0,80	0,283	0,17	0,147
4,00	0,088	0,90	0,282	0,20	0,172
		1,00	0,288	0,24	0,192
		1,25	0,290	0,30	0,446
		1,50	0,266	0,36	0,503
		2,00	0,237	0,40	0,560
		2,50	0,187	0,46	0,559
		3,00	0,142	0,50	0,591
		4,00	0,101	0,60	0,533
		5,00	0,054	0,75	0,504
				0,85	0,564
				1,00	0,566
				1,50	0,573
				2,00	0,465
				3,00	0,235
				4,00	0,137
				5,00	0,079

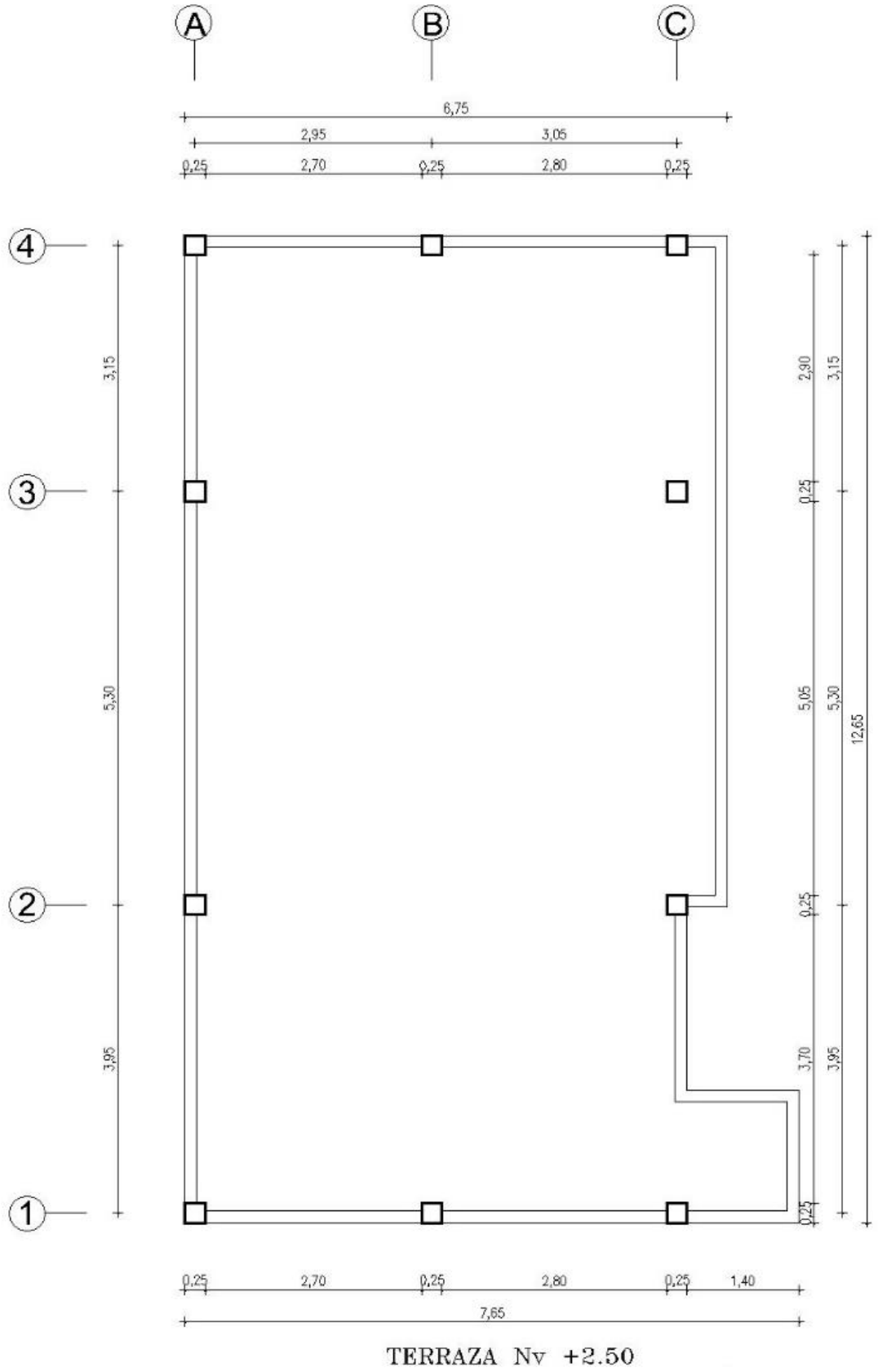
Elaborado: William Mise

ANEXO I

I – 1. Plano de la estructura de 1 piso – planta baja

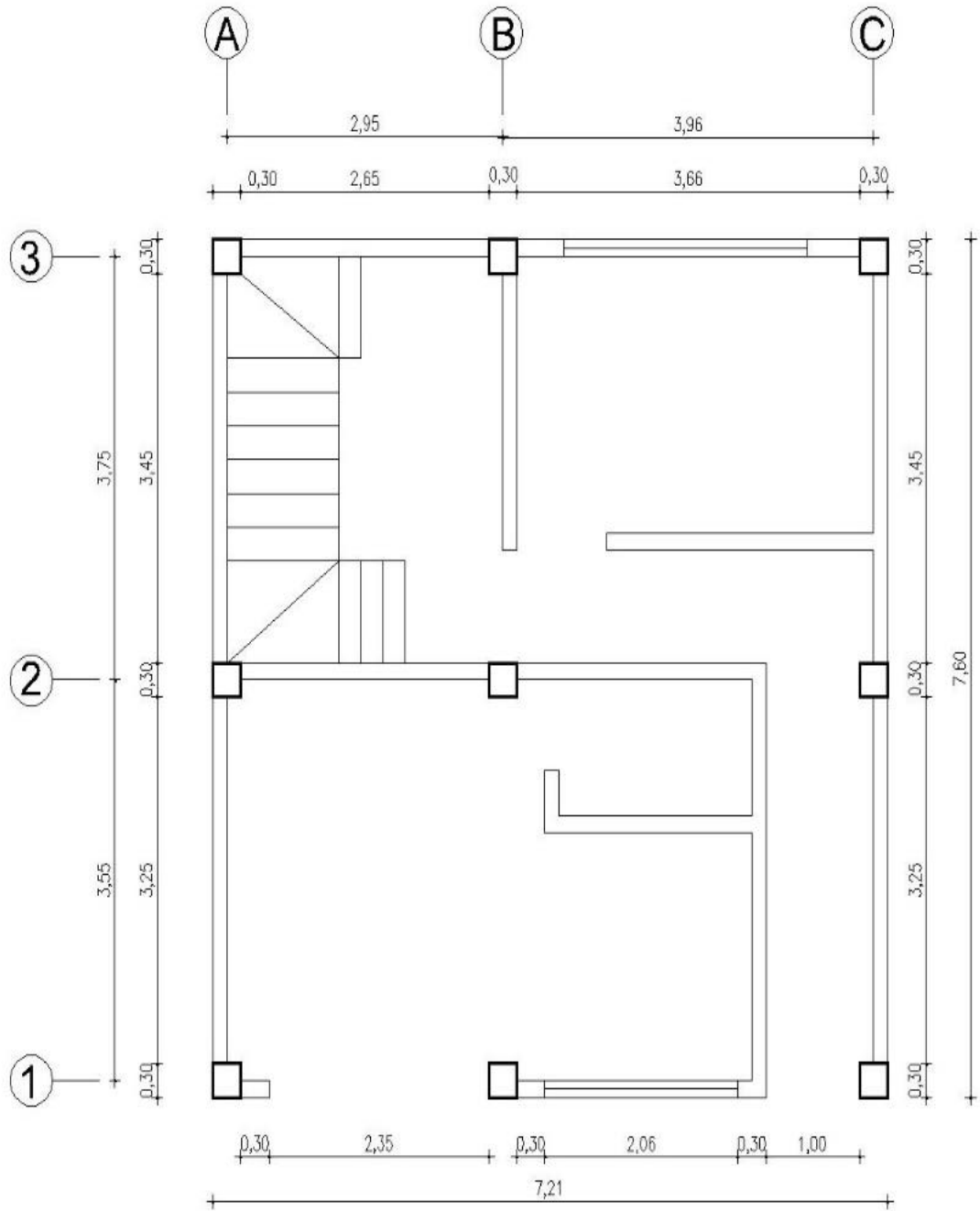


I – 2. Plano de la estructura de 1 piso – terraza



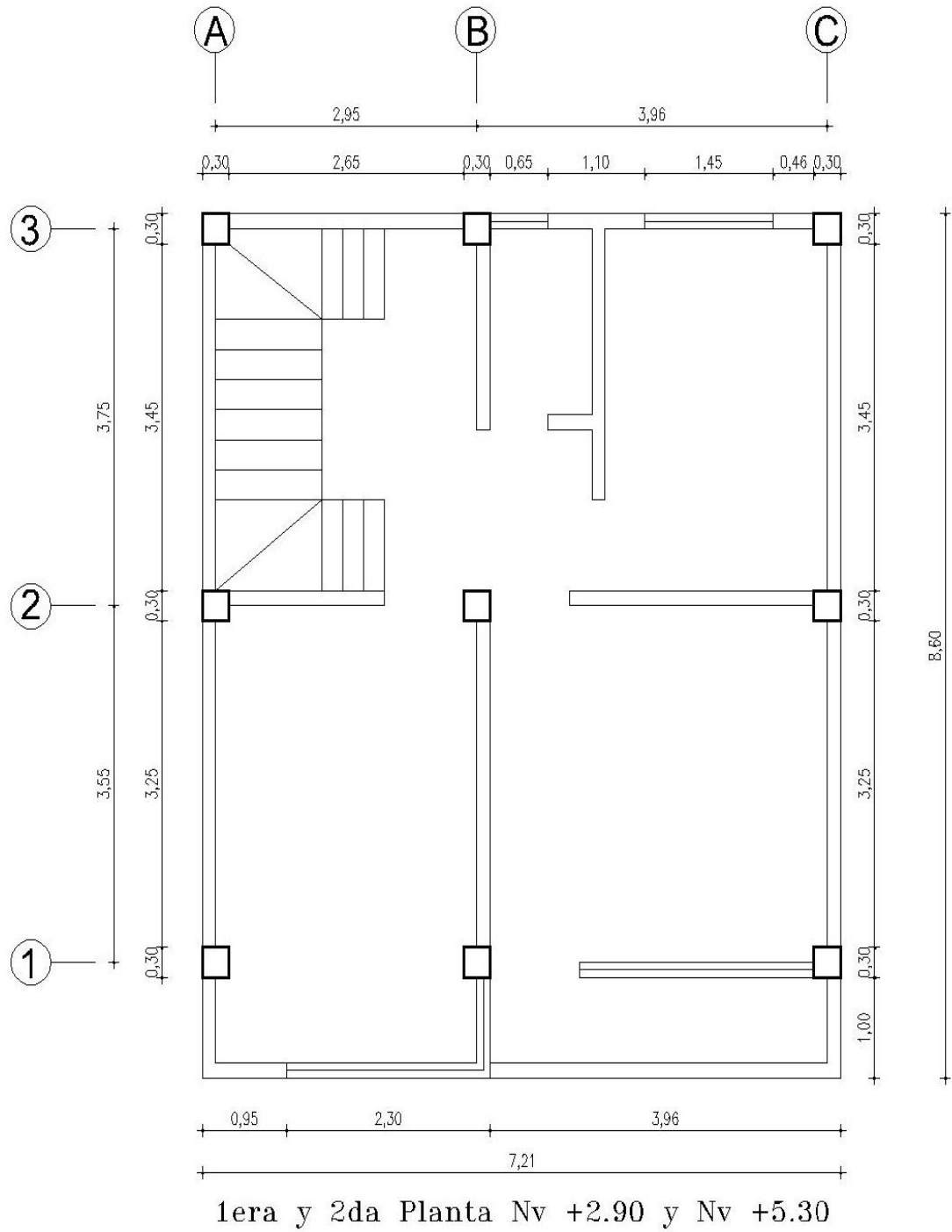
ANEXO J

J – 1. Plano de la estructura de 3 pisos – planta baja

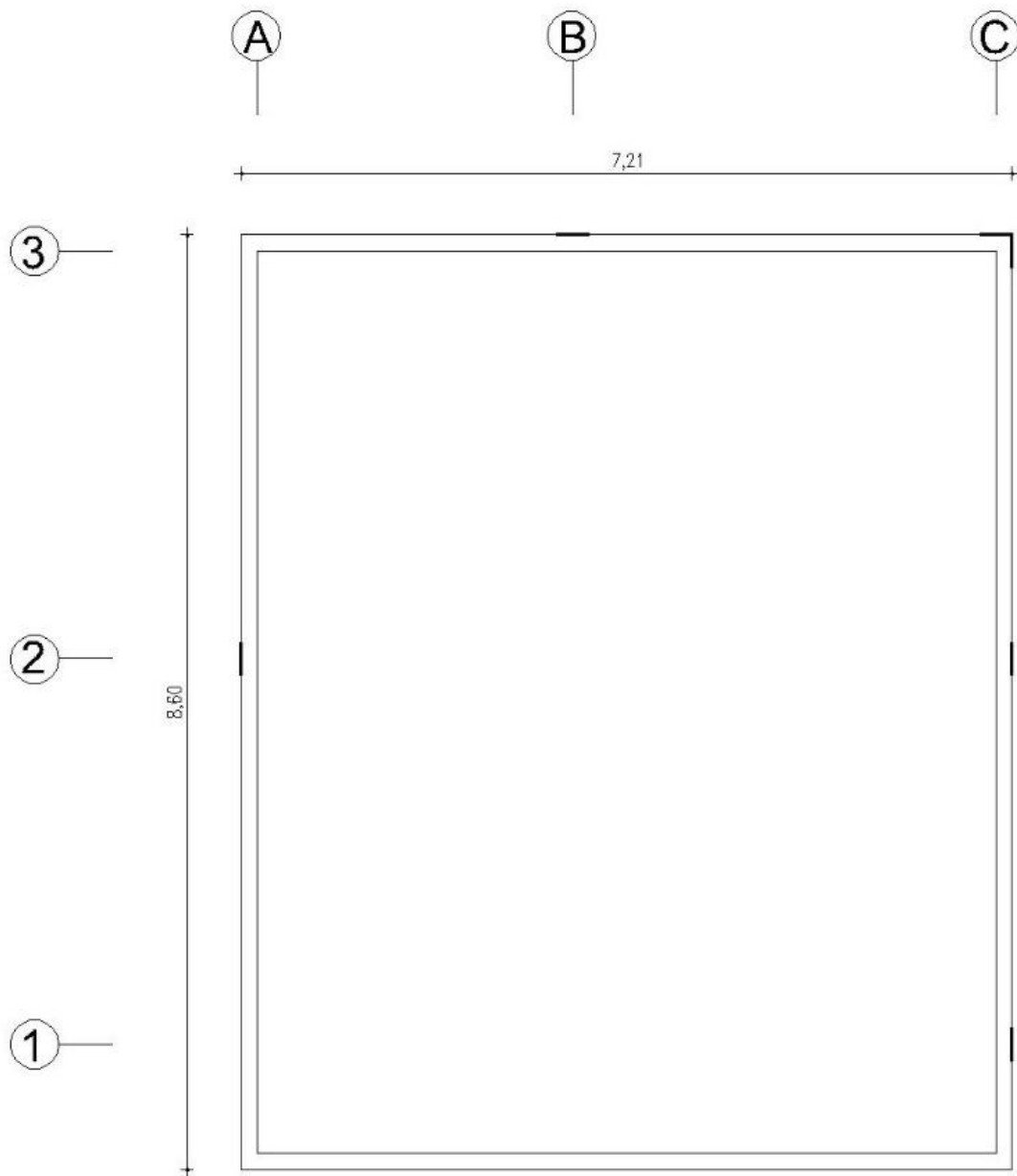


PLANTA BAJA N_v +0.00

J – 2. Plano de la estructura de 3 pisos – 1ra y 2da planta



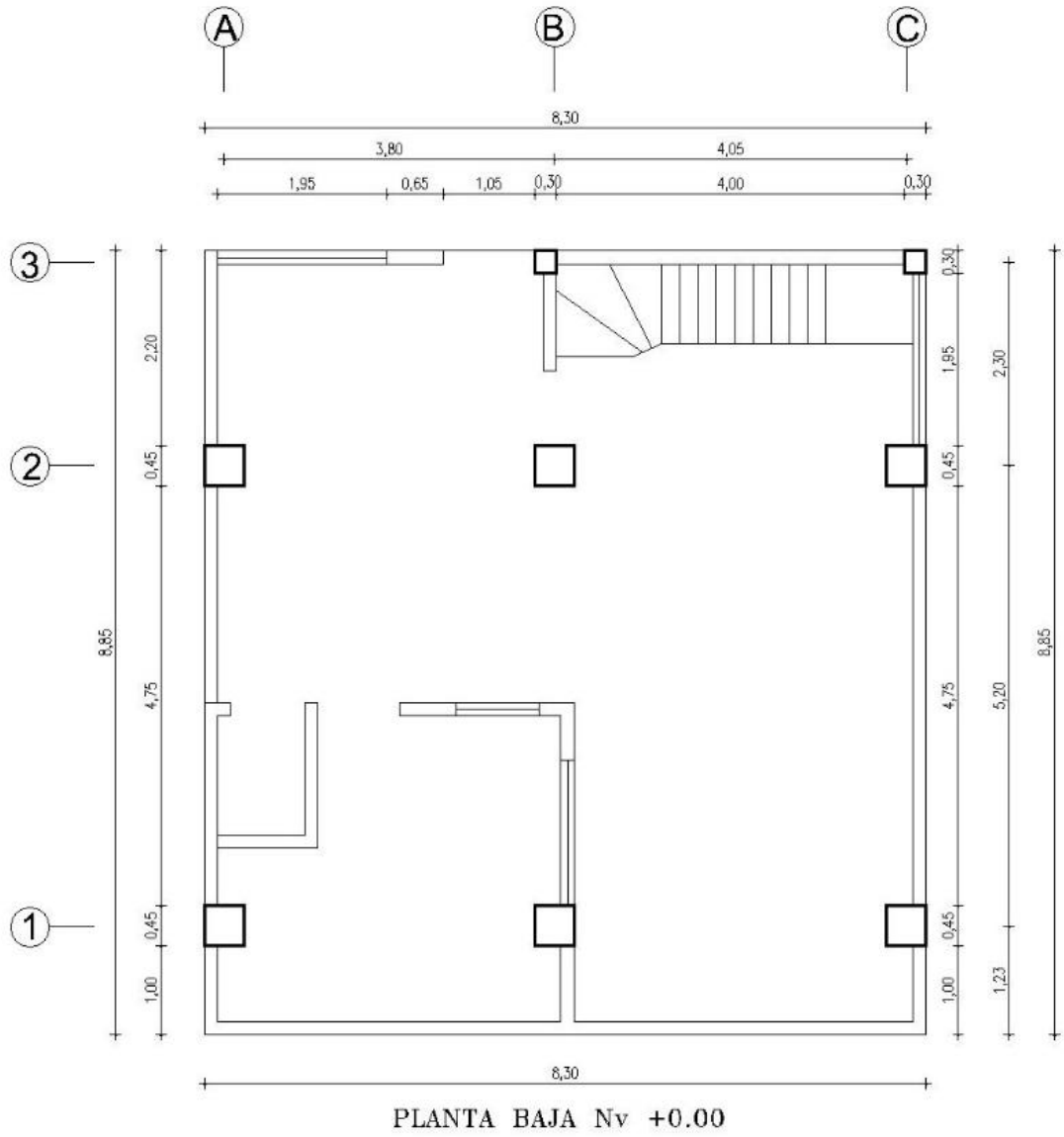
J – 3. Plano de la estructura de 3 pisos – terraza inaccesible



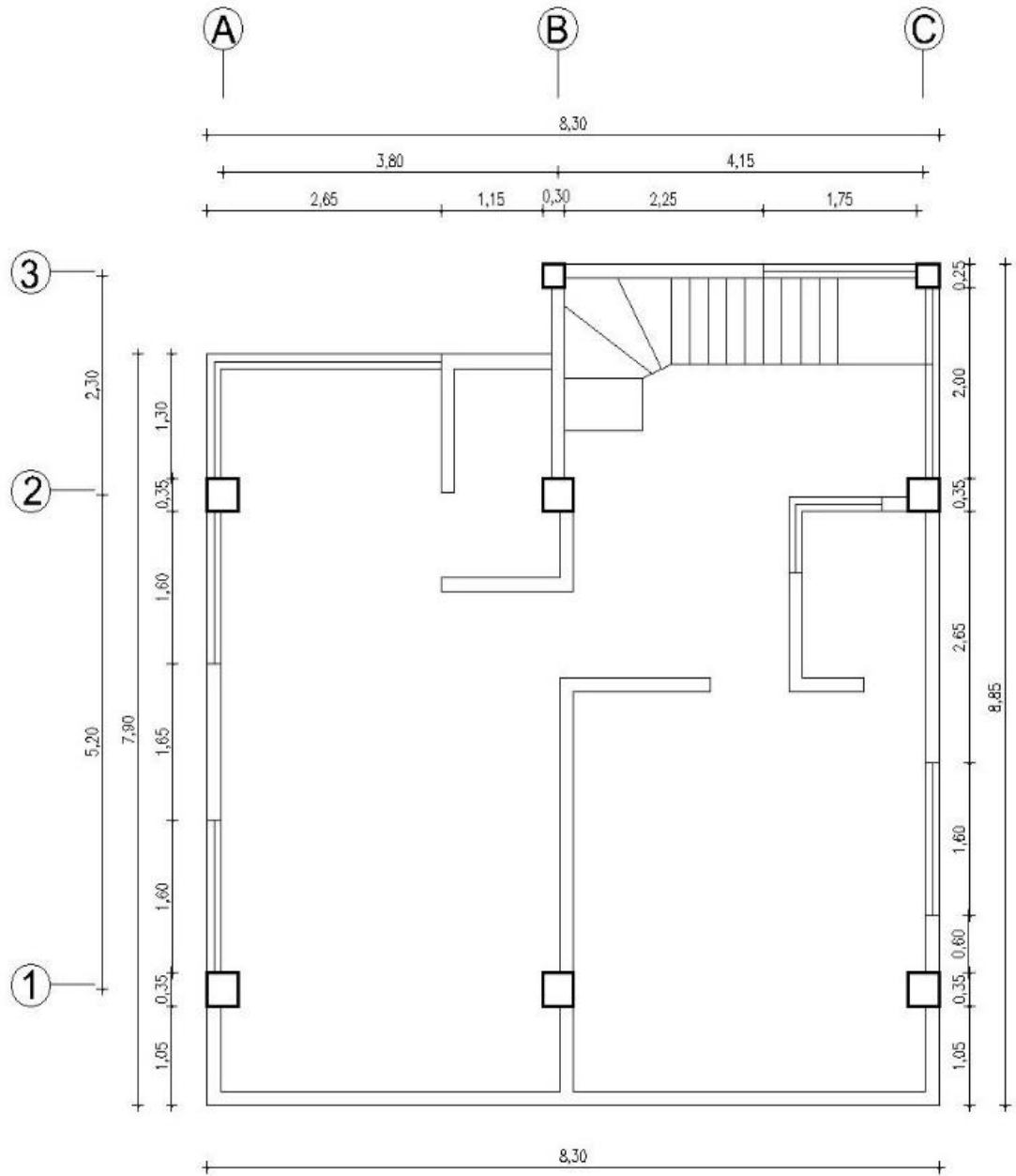
TERRAZA INACCESIBLE N_v +7.70

ANEXO K

K – 1. Plano de la estructura de 5 pisos – planta baja

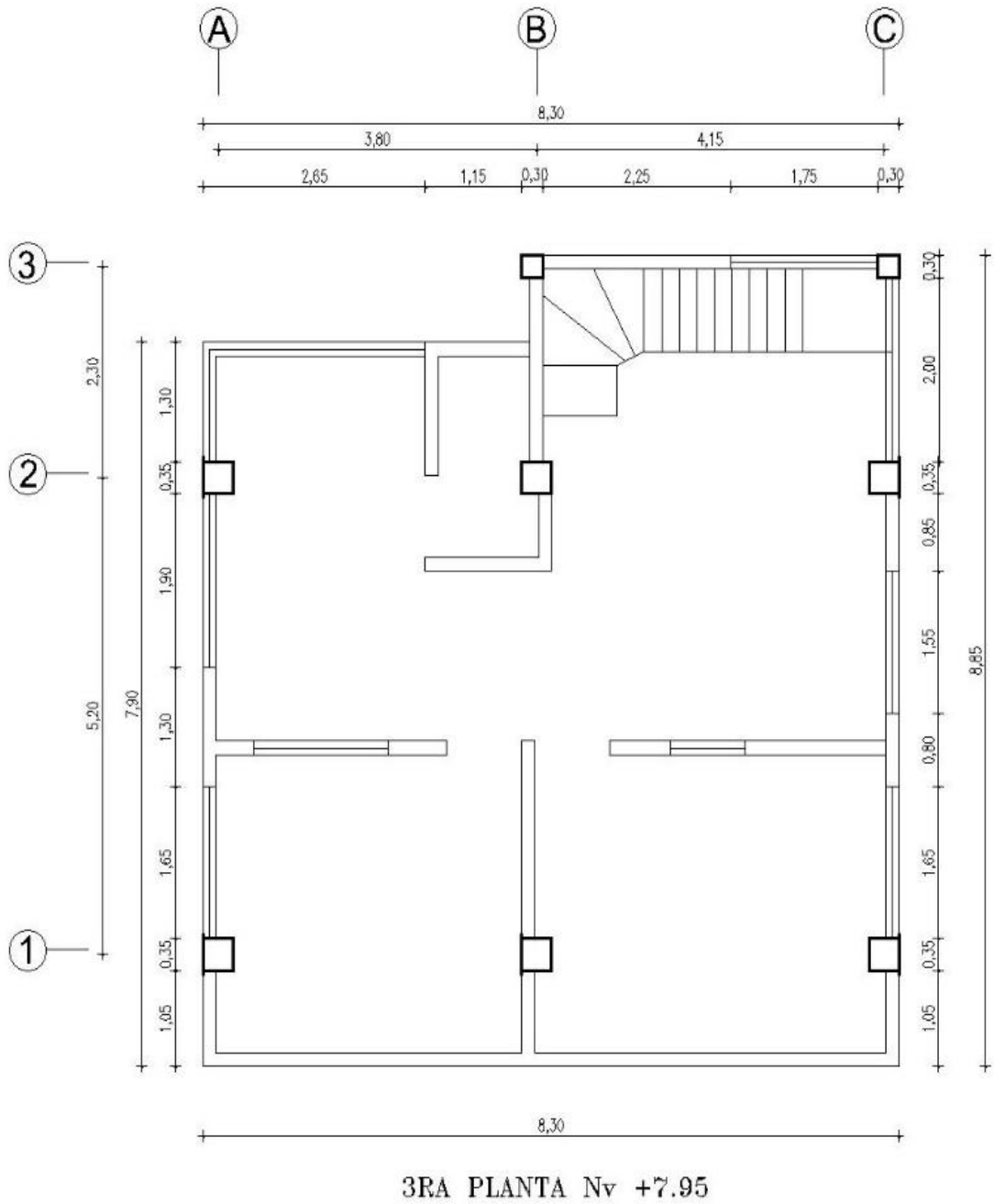


K – 2. Plano de la estructura de 5 pisos – 1ra y 2da planta

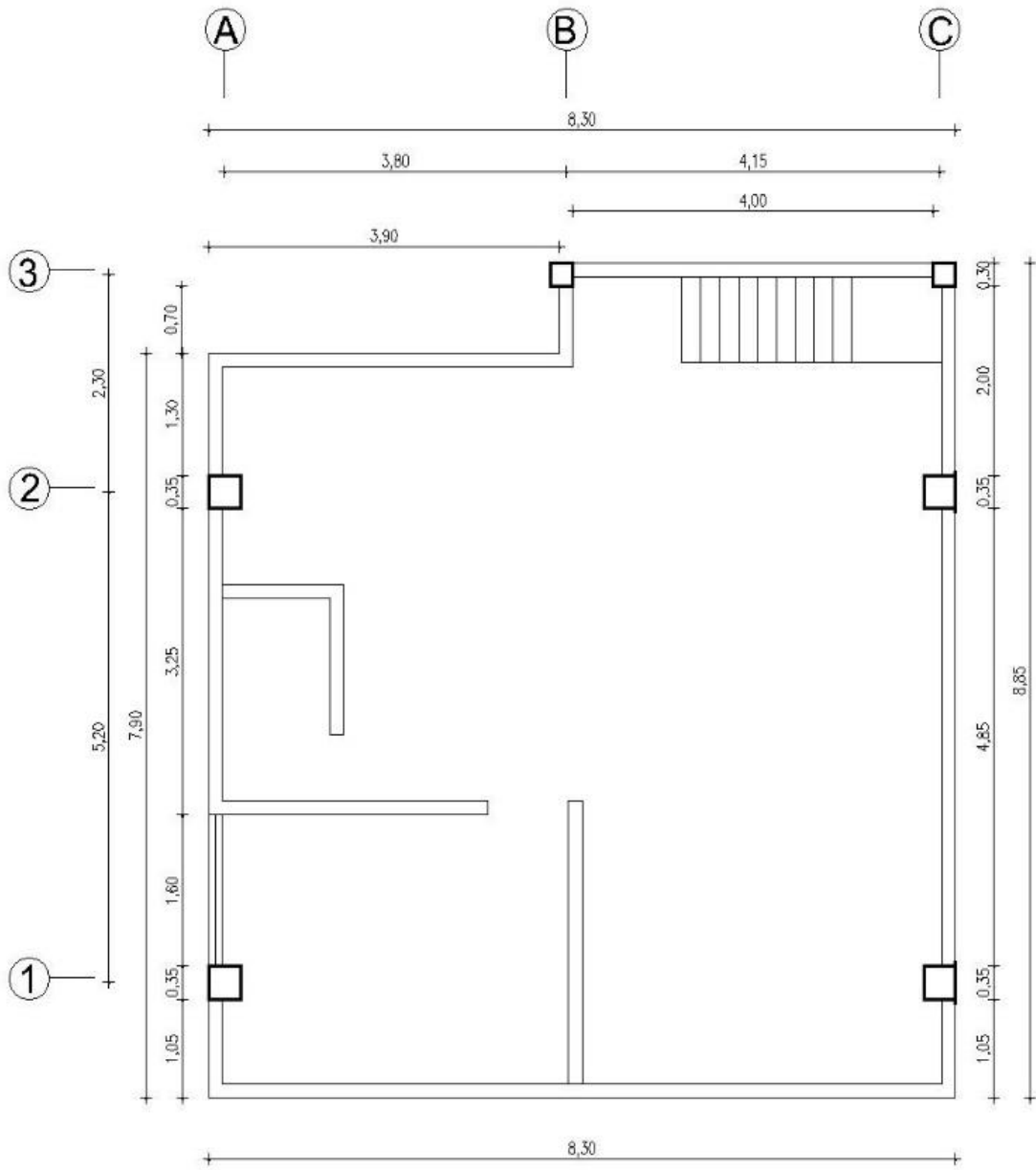


1RA Y 2DA PLANTA N_v +2.65, +5.30

K – 3. Plano de la estructura de 5 pisos – 3ra planta

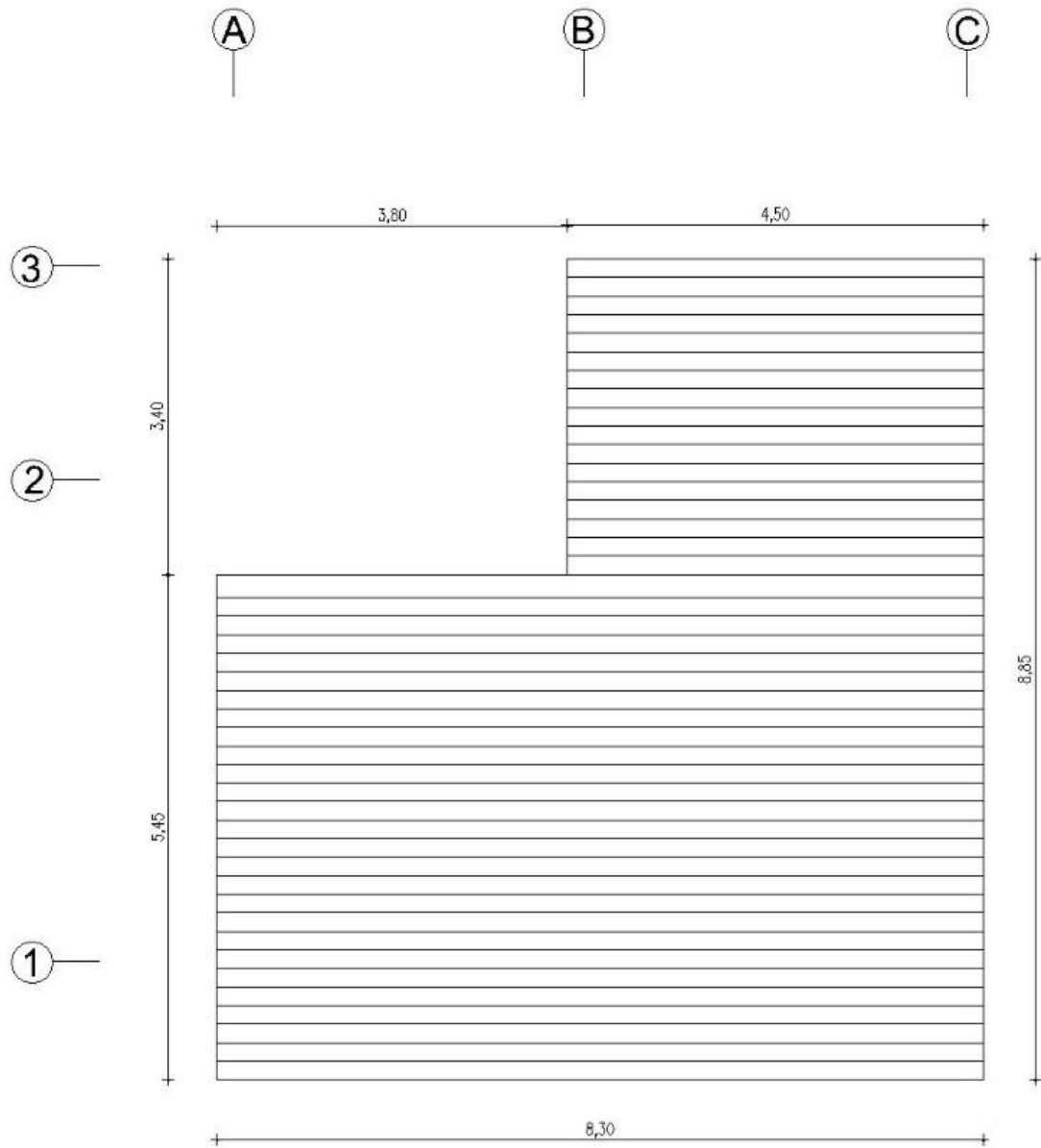


K – 4. Plano de la estructura de 5 pisos – 4ta planta



4TA PLANTA N_v +10.60

K – 5. Plano de la estructura de 5 pisos – cubierta



CUBIERTA N_v +13,00