



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

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Tema:

**“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS
ESTRUCTURAS DEL SECTOR JUAN LEÓN MERA DE LA
PARROQUIA HUACHI LORETO DE LA CIUDAD DE AMBATO
PROVINCIA TUNGURAHUA”.**

AUTORA: Cinthya Valeria Sosa Ronquillo

TUTOR: Ing. M. Sc Diego Chérrez

Ambato – Ecuador

2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. M. Sc Diego Chérrez en calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de investigación bajo el tema: **“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR JUAN LEÓN MERA DE LA PARROQUIA HUACHI LORETO DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA TUNGURAHUA”**. realizado por la Srta. Cinthya Valeria Sosa Ronquillo Egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.

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

Ambato, septiembre de 2018

Ing. M. Sc Diego Chérrez
TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Cinthya Valeria Sosa Ronquillo con CI. 1721141271, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo experimental bajo el tema: **“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR JUAN LEÓN MERA DE LA PARROQUIA HUACHI LORETO DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA TUNGURAHUA”**. es de mi completa autoría.

Ambato, septiembre de 2018

Cinthya Valeria Sosa Ronquillo

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, septiembre de 2018

Cinthy Valeria Sosa Ronquillo

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de calificación de grado aprueban el Trabajo Experimental, sobre el tema: **“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR JUAN LEÓN MERA DE LA PARROQUIA HUACHI LORETO DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA TUNGURAHUA”**, de la egresada Cinthya Valeria Sosa Ronquillo, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, septiembre de 2018

Para constancia firman:

Ing. Mg. Carlos Navarro

Ing. Mg. Christian Medina

DEDICATORIA

A:

DIOS, por fortalecer mi corazón y bendecir mi camino con aquellas personas que han sido soporte y compañía.

MI MADRE María E. Ronquillo, por su amor, por cuidar y guiar cada paso, cuando disfrutaba de su compañía y desde el cielo.

MI HERMANA Alejandra Sosa, por ser mi apoyo y por formar parte de todo mi trayecto estudiantil.

MI PADRE Galo Sosa, por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida.

MI ABUELITA, TÍAS Y PRIMA, Carmen, Enma, Aída y Thalia por brindarme su apoyo y por compartir conmigo momentos.

MI MEJOR AMIGA Daniela, porque a pesar de la distancia mantenemos una sincera amistad.

AGRADECIMIENTO

A:

MI MADRE Y HERMANA por todo su esfuerzo, en especial a mi hermana por brindarme su apoyo.

LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por los conocimientos adquiridos.

MI TUTOR, el Ing. Mg. Diego Chérrez, por su tiempo dedicado en el desarrollo de esta investigación.

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron para el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVIII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XX
CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2. ANTECEDENTES.....	1
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II.....	5
FUNDAMENTACIÓN.....	5
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.1.1. Tectónica de placas.....	5
2.1.1.1. Tipos de Regímenes Tectónicos.....	6
2.1.1.2. Tipos de falla.....	7
2.1.2. Ondas sísmicas.....	8
2.1.3. Medidas de los sismos.....	9
2.1.3.1. Intensidad.....	9
2.1.3.2. Magnitud.....	10
2.1.4. Magnitud de momento (M_w).....	11

2.1.5.	Peligro Sísmico	12
2.1.5.1.	Tipos de Análisis de Peligro Sísmico.....	13
2.1.5.1.1.	Análisis de Peligro Sísmico Probabilístico	13
2.1.5.1.2.	Análisis de Peligro Sísmico Determinístico.....	13
2.1.6.	Sismotectónica en el Ecuador	14
2.1.6.1.	Subducción.....	14
2.1.6.2.	Cortical.....	15
2.1.7.	Zonificación Sísmica en Ecuador	15
2.1.8.	Ecuaciones de atenuación (GMPE)	16
2.1.8.1.	Ecuaciones de atenuación para Sismos Corticales.....	17
2.1.8.1.1.	Modelo de Boore & Atkinson (2008)	17
2.1.8.1.2.	Modelo de Akkar & Bommer (2010).....	21
2.1.8.1.3.	Modelo de Kanno et al. (2006)	23
2.1.8.2.	Ecuaciones de atenuación para Sismos de Subducción	25
2.1.8.2.1.	Modelo de Youngs (1997)	25
2.1.8.2.2.	Modelo de Zhao (2006).....	26
2.1.9.	Principales parámetros empleados en las ecuaciones de atenuación	28
2.1.9.1.	Ensayo de Penetración Estándar (SPT).....	29
2.1.9.2.	Características del suelo	29
2.1.9.3.	Velocidad media de onda de Corte V_{S30}	31
2.1.9.3.1.	Clasificación de los perfiles de suelo	32
2.1.9.4.	Distancia fuente – sitio.....	34
2.1.10.	Espectros de Peligro Sísmico.....	34
2.1.10.1.	Espectro Elástico NEC-2015.....	35
2.1.10.1.1.	Factor de zona sísmica Z	36
2.1.10.1.2.	Tipo de suelo de sitio de emplazamiento de la estructura	37
2.1.10.1.3.	Valores de los coeficientes de amplificación de suelo F_a , F_d , F_s	38
2.1.11.	Modelación Estructural.....	41
2.1.11.1.	Propiedades de los materiales	42
2.1.11.2.	Definición de secciones.....	42
2.1.11.3.	Comportamiento Estructural	43
2.2	HIPÓTESIS.....	48

2.3	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	48
2.3.1	Variable Dependiente	49
2.3.2	Variable Independiente.....	49
CAPÍTULO III.....		49
METODOLOGÍA		49
3.1.	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	49
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	50
3.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	52
3.3.1.	Variable Independiente	52
3.3.2.	Variable Dependiente	53
3.4.	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	54
3.5.	PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	56
CAPITULO IV		57
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		57
4.1.	RECOLECCIÓN DE DATOS	57
4.1.1.	Régimen Tectónico	58
4.1.2.	Selección de Fallas Geológicas.....	58
4.1.3.	Características del suelo.....	62
4.1.3.1.	Ensayo de Penetración Estándar	62
4.1.3.2.	Clasificación para el suelo	63
4.1.3.3.	Velocidad media de la onda de corte VS30 y el tipo de perfil.....	67
4.1.4.	Magnitud de momento según las fallas.....	73
4.1.5.	Procesamiento de datos para las ecuaciones de atenuación.....	74
4.1.5.1.	Ecuación de atenuación de Boore & Atkinson para sismo cortical	75
4.1.5.2.	Ecuación de atenuación de Akkar & Boomer para sismo cortical.....	77
4.1.5.3.	Ecuación de atenuación de Kanno para sismo cortical	78
4.1.5.4.	Ecuación de atenuación de Youngs para sismo de subducción	79
4.1.5.5.	Ecuación de atenuación de Zhao para sismo de subducción.....	80
4.1.6.	Estructuras tipo para el análisis espectral	83
4.1.6.1.	Características estructurales de las edificaciones.....	83
4.1.6.2.	Cuantificación de cargas	83
4.1.6.3.	Vista en planta de las estructuras tipo	86

4.1.6.4.	Comportamiento estructural de las edificaciones	90
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	93
4.2.1.	Cálculo de Espectros	93
4.2.1.1.	Espectros calculados: ecuación de Boore & Atkinson.....	94
4.2.1.2.	Espectros calculados: ecuación de Akkar & Bommer	95
4.2.1.3.	Espectros calculados: ecuación de Kanno.....	96
4.2.1.4.	Espectro calculado: ecuación de Youngs	97
4.2.1.5.	Espectro calculado: ecuación de Zhao	97
4.2.1.6.	Espectros calculados: para la Falla Huachi	98
4.2.1.7.	Espectros calculados: para la Falla Ambato.....	99
4.2.1.8.	Espectros calculados: para la Falla Totoras	100
4.2.1.9.	Espectros calculados: para la Falla Samanga.....	101
4.2.1.10.	Espectros calculados: para la Falla Placa de Nazca	102
4.2.1.11.	Espectros calculados: todos los modelos y todas las fallas.....	103
4.2.2.	Espectro Específico	104
4.2.3.	Espectro NEC – 2015	106
4.2.4.	Comparación entre el Espectro Específico y NEC – 2015.....	106
4.2.5.	Verificación del comportamiento estructural	107
4.2.5.1.	Estructura de 2 pisos	108
4.2.5.2.	Estructura de 3 pisos	121
4.2.5.3.	Estructura de 4 pisos	135
4.3.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	149
CAPÍTULO 5.....		149
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		149
5.1.	CONCLUSIONES	150
5.2.	RECOMENDACIONES	151
C. MATERIALES DE REFERENCIA		152
1.	BIBLIOGRAFÍA	152
2.	ANEXOS.....	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes para la Magnitud de momento (M) según el tipo de falla.....	11
Tabla 2. Valores de variables para diferentes tipos de fallas	18
Tabla 3. Coeficientes SS y SA según el tipo de suelo	23
Tabla 4. Coeficientes FN y FR según el mecanismo de falla	23
Tabla 5. Clasificación de sitio utilizadas por Zhao y por NEHRP	27
Tabla 6. Rangos para la profundidad focal según el tipo de evento	28
Tabla 7. Clasificación de suelos (Partículas menores de 7.5 cm).....	30
Tabla 8. Clasificación de los Perfiles de Suelo.....	33
Tabla 9. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	37
Tabla 10. Tipo de suelo y Factores de sitio Fa	38
Tabla 11. Tipo de suelo y Factores de sitio Fd	39
Tabla 12. Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs.....	39
Tabla 13. Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T.....	46
Tabla 14. Operacionalización de la variable independiente	52
Tabla 15. Operacionalización de la variable dependiente	53
Tabla 16. Plan de recolección de información.....	54
Tabla 17. Fallas Geológicas con la longitud.....	61
Tabla 18. Ubicación y coordenadas de pozos para el ensayo SPT	62
Tabla 19. Clasificación de suelos - Pozo 1	63
Tabla 20. Clasificación de suelos - Pozo 2	64
Tabla 21. Clasificación de suelos - Pozo 3	65
Tabla 22. Clasificación de suelos - Pozo 4	66
Tabla 23. Clasificación de suelos - Pozo 5	67
Tabla 24. Valores de la Velocidad media de la onda de corte con su respectivo tipo de perfil - Pozo 1	68
Tabla 25. Valores de la Velocidad media de la onda de corte con su respectivo tipo de perfil - Pozo 2	69
Tabla 26. Valores de la Velocidad media de la onda de corte con su respectivo tipo de perfil - Pozo 3	70

Tabla 27. Valores de la Velocidad media de la onda de corte con su respectivo tipo de perfil - Pozo 4	71
Tabla 28. Valores de la Velocidad media de la onda de corte con su respectivo tipo de perfil - Pozo 5	72
Tabla 29. Resumen de los valores de velocidad de onda de corte (VS30) promedio	73
Tabla 30. Magnitudes de momento para cada Falla	74
Tabla 31. Valores constantes para el cálculo de la función de la distancia FD	75
Tabla 32. Coeficientes para la amplificación de sitio	76
Tabla 33. Valores empleados en el modelo de Boore & Atkinson.....	77
Tabla 34. Valores empleados en el modelo de Akkar & Boomer	78
Tabla 35. Valores empleados en el modelo de Kanno.....	79
Tabla 36. Valores empleados en el modelo de Youngs	80
Tabla 37. Valores empleados en el modelo de Zhao	81
Tabla 38. Resumen de parámetros empleados en los modelos de atenuación.....	82
Tabla 39. Secciones de elementos estructurales de cada edificación	83
Tabla 40. Valores de carga muerta de pared.....	86
Tabla 41. Factores para la reducción de los espectros elásticos	91
Tabla 42. Valores de Ct y α para el cálculo del período fundamental de vibración	91
Tabla 43. Valores para Fa, Fd y Fs del perfil Tipo D.....	93
Tabla 44. Datos del Espectro Específico para el sector Juan León Mera.....	105
Tabla 45. Valores de períodos To, Tc, T y T2 - Estructura 2 pisos.....	109
Tabla 46. Modos de vibración - Estructura de 2 pisos.....	110
Tabla 47. Modos de vibración – Estructura 2 pisos.....	110
Tabla 48. Porcentaje de participación de la masa – Estructura 2 Pisos	111
Tabla 49. Derivas elásticas estáticas Espectro NEC - Estructura 2 Pisos.....	112
Tabla 50. Derivas elásticas estáticas Espectro ESPECÍFICO - Estructura 2 Pisos	113
Tabla 51. Resumen Derivas elásticas y porcentaje de derivas inelásticas estáticas con el Espectro NEC-2015 y el Espectro Específico – Estructura 2 Pisos	114
Tabla 52. Resumen Derivas elásticas y porcentaje de derivas inelásticas dinámicas con el Espectro NEC-2015 y el Espectro Específico – Estructura 2 Pisos.....	116
Tabla 53. Resumen Cortante Basal Dinámico y Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en Sentido X para la Estructura de 2 Pisos	118

Tabla 54. Resumen Cortante Basal Dinámico y Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en Sentido Y para la Estructura de 2 Pisos	120
Tabla 55. Valores de períodos T_o , T_c , T y T_2 - Estructura 3 pisos.....	122
Tabla 56. Modos de vibración - Estructura de 3 pisos.....	123
Tabla 57. Modos de vibración – Estructura 3 pisos.....	123
Tabla 58. Porcentaje de participación de la masa – Estructura 3 Pisos	124
Tabla 59. Derivas elásticas estáticas Espectro NEC - Estructura 3 Pisos.....	126
Tabla 60. Derivas elásticas estáticas Espectro ESPECÍFICO - Estructura 3 Pisos	127
Tabla 61. Resumen Derivas elásticas y porcentaje de derivas inelásticas estáticas con el Espectro NEC-2015 y el Espectro Específico – Estructura 3 Pisos	127
Tabla 62. Resumen Derivas elásticas y porcentaje de derivas inelásticas dinámicas con el Espectro NEC-2015 y el Espectro Específico – Estructura 3 Pisos.....	129
Tabla 63. Resumen Cortante Basal Dinámico y Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en Sentido X para la Estructura de 3 Pisos	132
Tabla 64. Resumen Cortante Basal Dinámico y Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en Sentido Y para la Estructura de 3 Pisos	133
Tabla 65. Valores de períodos T_o , T_c , T y T_2 - Estructura 4 pisos.....	136
Tabla 66. Modos de vibración - Estructura de 4 pisos.....	136
Tabla 67. Modos de vibración – Estructura 4 pisos.....	137
Tabla 68. Porcentaje de participación de la masa – Estructura 4 Pisos	137
Tabla 69. Derivas elásticas estáticas Espectro NEC - Estructura 4 Pisos.....	140
Tabla 70. Derivas elásticas estáticas Espectro ESPECÍFICO - Estructura 4 Pisos	141
Tabla 71. Resumen Derivas elásticas y porcentaje de derivas inelásticas estáticas con el Espectro NEC-2015 y el Espectro Específico – Estructura 4 Pisos	141
Tabla 72. Resumen Derivas elásticas y porcentaje de derivas inelásticas dinámicas con el Espectro NEC-2015 y el Espectro Específico – Estructura 4 Pisos.....	143
Tabla 73. Resumen Cortante Basal Dinámico y Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en Sentido X para la Estructura de 4 Pisos	145
Tabla 74. Resumen Cortante Basal Dinámico y Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en Sentido Y para la Estructura de 4 Pisos	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Placas Tectónicas.....	6
Figura 2. Regímenes Tectónicos.....	7
Figura 3. Tipos de Fallas Geológicas.....	8
Figura 4. Principales fuentes Sismogénicas.....	14
Figura 5. Mapa de Zonificación Sísmica del Ecuador.....	36
Figura 6. Modelo para el Espectro Elástico de Respuesta.....	40
Figura 7. Área de estudio.....	51
Figura 8. Falla Geológica de Subducción.....	59
Figura 9. Fallas Geológicas Corticales.....	59
Figura 10. Distancia perpendicular más cercana a la Falla.....	61
Figura 11. Identificación de pozos para cada ensayo SPT.....	62
Figura 12. Pared Tipo I.....	84
Figura 13. Pared Tipo II.....	85
Figura 14. Pared Tipo IV.....	85
Figura 15. Vista en planta de la Estructura de 2 pisos.....	87
Figura 16. Vista en planta de la Estructura de 3 pisos.....	88
Figura 17. Vista en planta de la Estructura de 4 pisos.....	89
Figura 18. Espectros de aceleración modelo Boore & Atkinson (2008).....	94
Figura 19. Espectros de aceleración modelo Akkar & Bommer (2010).....	95
Figura 20. Espectros de aceleración modelo Kanno (2006).....	96
Figura 21. Espectro de aceleración modelo Youngs (1997).....	97
Figura 22. Espectro de aceleración modelo Zhao (2006).....	98
Figura 23. Espectros de aceleración modelos Boore & Atkinson, Akkar & Bommer y Kanno para la Falla Huachi.....	99
Figura 24. Espectros de aceleración modelos Boore & Atkinson, Akkar & Bommer y Kanno para la Falla Ambato.....	100
Figura 25. Espectros de aceleración modelos Boore & Atkinson, Akkar & Bommer y Kanno para la Falla Totoras.....	101
Figura 26. Espectros de aceleración modelos Boore & Atkinson, Akkar & Bommer y Kanno para la Falla Samanga.....	102

Figura 27. Espectros de aceleración modelos Youngs y Zhao	103
Figura 28. Espectros generados para todas las fallas	104
Figura 29. Espectro Específico para el sector Juan León Mera	105
Figura 30. Espectro Elástico NEC-2015	106
Figura 31. Comparación de Espectros Específico y Espectro NEC - 2015	107
Figura 32. Período de vibración fundamental - Estructura 2 pisos	108
Figura 33. Aceleración para el análisis con espectro NEC y Específico	112
Figura 34. Comparación de Derivas Elásticas Estáticas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 2 Pisos	114
Figura 35. Comparación de Derivas Elásticas Estáticas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 2 Pisos	115
Figura 36. Comparación de Derivas Elásticas Dinámicas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 2 Pisos	116
Figura 37. Comparación de Derivas Elásticas Dinámicas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 2 Pisos	117
Figura 38. Comparación del Cortante Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 2 Pisos	118
Figura 39. Comparación del Cortante Dinámico entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 2 Pisos	119
Figura 40. Comparación del Cortante Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 2 Pisos	120
Figura 41. Comparación del Cortante Dinámico entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 2 Pisos	120
Figura 42. Período límite de vibración - Estructura 3 pisos	121
Figura 43. Aceleración para el análisis con espectro NEC y Específico	125
Figura 44. Comparación de Derivas Elásticas Estáticas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 3 Pisos	128
Figura 45. Comparación de Derivas Elásticas Estáticas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 3 Pisos	128
Figura 46. Comparación de Derivas Elásticas Dinámicas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 3 Pisos	130

Figura 47. Comparación de Derivas Elásticas Dinámicas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 3 Pisos	130
Figura 48. Comparación del Cortante Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 3 Pisos	132
Figura 49. Comparación del Cortante Dinámico entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 3 Pisos	132
Figura 50. Comparación del Cortante Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 3 Pisos	133
Figura 51. Comparación del Cortante Dinámico entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 3 Pisos	134
Figura 52. Período límite de vibración - Estructura 4 pisos	135
Figura 53. Aceleración para el análisis con espectro NEC y Específico	138
Figura 54. Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 4 Pisos	142
Figura 55. Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 4 Pisos	142
Figura 56. Comparación de Derivas Elásticas Dinámicas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 4 Pisos	144
Figura 57. Comparación de Derivas Elásticas Dinámicas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 4 Pisos	144
Figura 58. Comparación del Cortante Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 4 Pisos	146
Figura 59. Comparación del Cortante Dinámico entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 4 Pisos	146
Figura 60. Comparación del Cortante Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 4 Pisos	147
Figura 61. Comparación del Cortante Dinámico entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 4 Pisos	148

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO B

B - 1. Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del período	164
B - 2. Coeficientes de escala de distancia ($M_{ref} = 4,5$ y $R_{ref} = 1,0$ km para todos los períodos, excepto $R_{ref} = 5,0$ km para pga4nl)	163

ANEXO C

C - 1. Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción de Pseudoaceleración espectral	165
---	-----

ANEXO D

D - 1. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos poco profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de PGA 5%	169
---	-----

ANEXO E

E - 1. Relaciones de atenuación para aceleración espectral de respuesta horizontal (amortiguación del 5%) para eventos de subducción	170
--	-----

ANEXO F

F - 1. Coeficientes para los términos de clase de sitio	171
F - 2. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria	172

ANEXO G

G - 1. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Boore & Atkinson (2008)	173
G - 2. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Akkar & Bommer (2010)	174
G - 3. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Kanno (2006)	175

G - 4. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Youngs (1997)	176
G - 5. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Zhao (2006)	177

ANEXO H

H - 1. Modelo de la Estructura de 2 Pisos	178
H - 2. Modelo de la Estructura de 3 Pisos	179
H - 3. Modelo Renderizado de la Estructura de 4 Pisos	181

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

TEMA: “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR JUAN LEÓN MERA DE LA PARROQUIA HUACHI LORETO DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA TUNGURAHUA”.

Autora: Cinthya Valeria Sosa Ronquillo

Tutor: Ing. Diego Chérrez

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación parte del reconocimiento tectónico capaz de producir un movimiento del terreno afectando al área de estudio, para lo cual se empleó información de estudios realizados por el NeoTec. Con esta información se analizaron las características de cada falla, entre ellas el tipo de falla, su actividad sísmica y además se calculó la distancia más cercana a la proyección en la superficie de falla, todos estos parámetros en conjunto con otros criterios fueron esenciales para seleccionar las fallas potenciales más peligrosas. Seguidamente se determinó la magnitud de momento en base a la metodología de Wells & Coppersmith, analizando el potencial sísmico de las fallas antes seleccionadas. Paralelo a ello se recopiló información del ensayo de penetración estándar SPT en cinco lugares y efectuando un ensayo granulométrico a las muestras de suelo se logró conocer sus características y la velocidad de onda de corte para el emplazamiento. Posteriormente todas estas particularidades fueron empleadas en las Ecuaciones de Atenuación, elegidas de acuerdo al régimen tectónico del Ecuador. Por último, se llegó a obtener un espectro específico de máximas aceleraciones para el sector de estudio, con lo cual se procedió a comparar al Espectro específico con el Espectro NEC que presenta la normativa ecuatoriana de la construcción. El resultado de esta comparación presentó un intervalo crítico en el cual el Espectro Específico superaba los valores de aceleración al Espectro NEC. Finalmente, la comparación también se presenta con los resultados de un análisis lineal estático y dinámico en el comportamiento estructural de tres edificaciones representativas del sector, cada una con diferentes características geométricas.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1.TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“Estudio de Peligro Sísmico Determinista para las Estructuras del sector Juan León Mera de la Parroquia Huachi Loreto de la ciudad de Ambato provincia Tungurahua”.

1.2.ANTECEDENTES

Frente a la posición geográfica, situación geodinámica y a los fenómenos naturales que se han registrado en la historia sísmica del Ecuador es necesario la aplicación de metodologías capaces de reducir los niveles de daños en las edificaciones de una determinada localidad. Por lo tanto, es imprescindible el conocimiento sobre el peligro sísmico y los parámetros que ayudan a entenderlo.

El peligro sísmico es cuantificado mediante leyes de atenuación o ecuaciones de predicción de movimiento del suelo conocidas como GMPE y sus siglas en inglés significan Ground Motion Prediction Equations. A nivel mundial se registran varios estudios que se ha llevado a cabo para determinar estas ecuaciones, basados en catálogos sísmicos. Uno de los trabajos más reconocidos es el realizado por (PEER - Pacific Earthquake Engineering Research Project) que se encarga del análisis de programas referente a ingeniería sísmica. Taípe en su trabajo de titulación menciona que “Las ecuaciones se determinan para regiones específicas y con diferentes períodos de vibración. Estas relaciones se obtienen a partir del ajuste de los registros sísmicos de una determinada zona por medio de análisis de regresión”. [1]

Se han llevado a cabo algunas investigaciones sobre sismicidad en el país, destacando al Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, el cuál realiza diversos estudios en conjunto con instituciones extranjeras con el fin de evaluar la peligrosidad sísmica y aportar con información para investigaciones futuras.

Según el estudio realizado por el Dr. Aguiar y en base a la información macrosísmica recopilada de 14 sismos correspondientes a fallas corticales y 7 a sismos de subducción, registrados en el Ecuador en su mayoría y algunos suscitados en el Sur de Colombia que afectaron al país, se determinó una Ley de Atenuación de Intensidades en la escala de Mercalli Modificada. Además en dicha investigación se presenta propuestas de Leyes de Atenuación de las aceleraciones del suelo, para uso referente a Peligrosidad Sísmica en el Ecuador. [2]

Ortiz en su trabajo final de master realiza un mapa de peligrosidad sísmica del Ecuador para un período de retorno de 500 años, en base a la integración de diferentes fuentes de información (geodinámica, geológica y sismicidad) para obtener una aproximación a la aceleración máxima del terreno. Y destaca que “El análisis de la geología regional incluye el análisis de las fallas activas que afectan a la región y su relación con las unidades tectónicas regionales”. [3]

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción correspondiente al capítulo de Peligro Sísmico - Diseño Sismo Resistente establece que el Ecuador tiene 6 zonas sísmicas, donde su amenaza sísmica va desde intermedia en el Nororiente, alta en todo el territorio hasta muy alta en el litoral ecuatoriano. Ambato con amenaza sísmica alta se encuentra en la quinta zona sísmica con un valor de Z de 0.40 (g) reflejado en un mapa de zonificación sísmica, el mismo que representa aceleraciones para todo el país en proporción a la gravedad (g) para un período de retorno de 475 años. [4]

Cobos en su tesis de titulación “Estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi”, cuyas guías metodológicas se emplearán en el presente trabajo, obtuvo resultados de aceleraciones de hasta 1.33 (g), lo que resultó un valor alto comparado con la NEC 2015. [5] . Factor relevante para obtener valores propios de aceleración de cada sector en la ciudad de Ambato.

1.3.JUSTIFICACIÓN

La tectónica de placas manifiesta que los terremotos se producen con el fin de liberar energía acumulada por el movimiento de estas placas. En base a este movimiento se produce una actividad sísmica que en nuestro país es generada principalmente por la zona de subducción entre la placa de Nazca ubicada bajo la placa Sudamericana, este movimiento ocurre a una velocidad de convergencia alta.

Ecuador registra sismos de gran magnitud detectados desde 1541, a partir del cual grandes terremotos se han ido registrando con el tiempo hasta la actualidad. [6]. Bajo este concepto y tomando en cuenta que nos encontramos en una zona calificada de alto riesgo sísmico la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 posee un mapa general de zonas sísmicas donde se contrasta zonas de alto peligro sísmico con las menos afectadas, incorporando factores de sitio dependientes del tipo de suelo.

Ambato es una zona de alto peligro sísmico por las fallas geológicas que comprende su área y sus suelos vulnerables. Si bien es cierto la Norma Ecuatoriana de la Construcción establece parámetros para llevar a cabo el diseño estructural, también está el hecho de que estudios referentes al tema en la ciudad de estudio son escasos.

Es por ello que la presente investigación tiene como fin evaluar el peligro sísmico basado en la zona de estudio para establecer espectros de respuesta en aceleración, y en función a ello emplearlos para el análisis de estructuras pertenecientes a dicha área. Al mismo tiempo con este proyecto se busca lograr que el nivel de demanda sísmica se encuentre asociado al nivel de desempeño de la estructura y así contribuir a un excelente diseño sismoresistente.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Realizar el estudio de Peligro Sísmico Determinista para las estructuras del sector Juan León Mera de la parroquia Huachi Loreto de la ciudad de Ambato de la provincia de Tungurahua.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características propias del suelo en los puntos de estudio.
- Determinar el espectro de diseño específico para la zona de estudio.
- Comparar los resultados obtenidos del espectro de diseño por el método determinístico con el espectro determinado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC.
- Analizar tres estructuras de la zona de estudio con el Espectro Específico encontrado con la metodología determinista.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. Tectónica de placas

La tectónica de placas surge de dos teorías: la primera “Teoría de la Deriva Continental” propuesta por Alfred Wegener en 1915, el cual afirmaba que los continentes se encuentran en constante movimiento y que fueron divididos de un supercontinente llamado Pangea.

La teoría de Wegener produjo una gran controversia y no fue aceptada debido a la idea estática que se tenía de la Tierra. La principal objeción fue que las fuerzas que producían el movimiento no pudieron ser explicadas. [7]

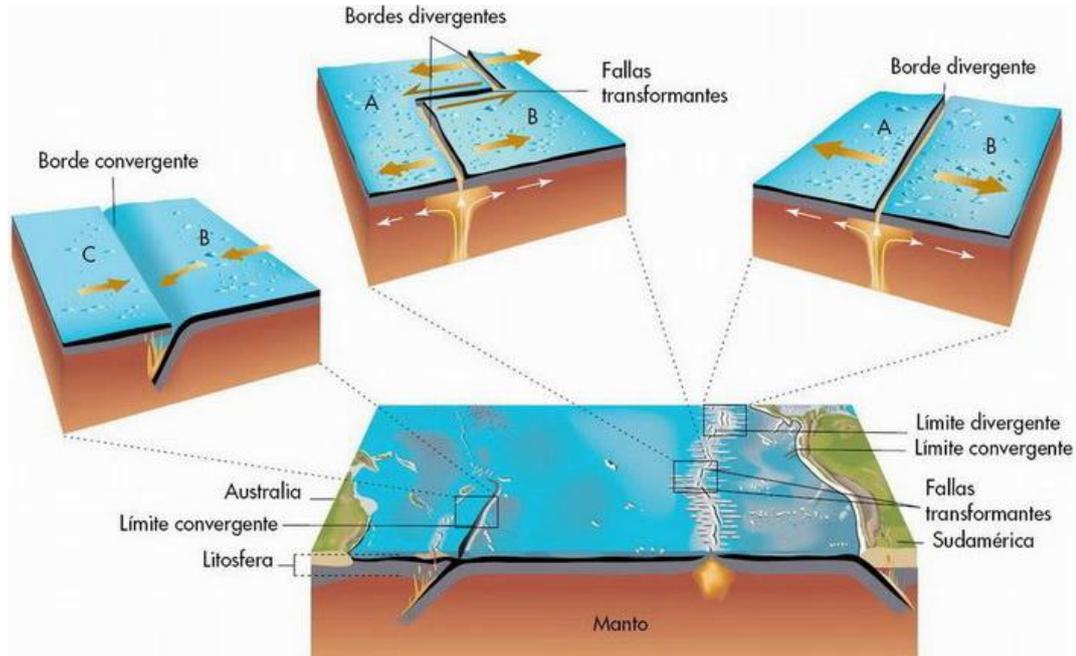
Complementariamente se desarrolló la “Teoría de Expansión del fondo oceánico” propuesta por Harry H. Hess en 1960, explicando que el movimiento ascendente de magma en el manto, generó la formación de las dorsales oceánicas que son cadenas montañosas en el fondo del mar. Por la actividad volcánica que esta cordillera presenta se explica que el supercontinente se fue separando hasta formar los márgenes continentales actuales.

La unión de estas teorías manifiesta que la superficie de la tierra se encuentra dividida en secciones denominadas placas (segmentos rígidos en constante movimiento). En la Figura 1, se muestra las principales placas tectónicas, sus límites y la dirección según las flechas del movimiento de cada placa.

De manera general la formación de las placas tectónicas se basa en el estudio de la composición química de forma estática y de los esfuerzos producidos por los movimientos de forma dinámica. Siendo la última de mayor importancia para el presente proyecto.

- **Transformante:** ocurre cuando dos placas rozan lateralmente, no existe creación ni cambio de topografía.

Figura 2. Regímenes Tectónicos



Fuente: Rodríguez, C. Límites de las placas [10]

Las dorsales oceánicas son fronteras de placas divergentes, las zonas de subducción son fronteras de placas convergentes y las fallas transformantes son fronteras de placas que se deslizan entre ellas.[11]

2.1.1.2. Tipos de falla

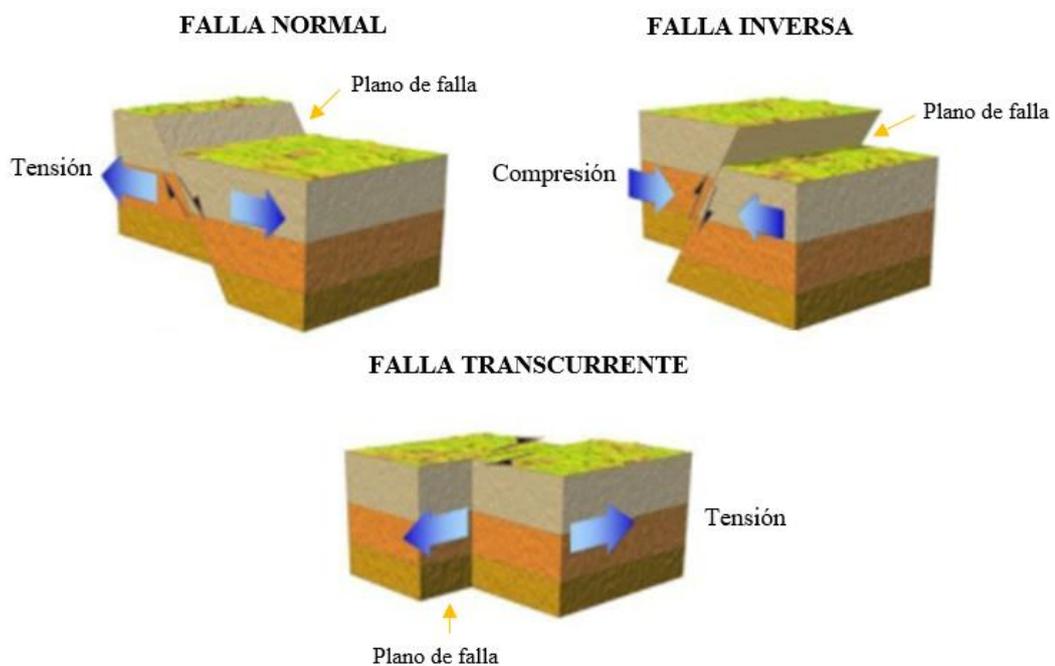
Los diferentes movimientos de las placas tectónicas producen esfuerzos en la corteza, esto conlleva a la aparición de fallas que son desplazamientos reflejados por la ruptura sísmica. Los principales tipos fundamentándonos en [7] son:

- **Falla Normal:** son desplazamientos verticales, aquella en donde el bloque superior se desliza sobre el plano de falla.

- **Falla Inversa:** se presenta cuando el bloque superior asciende en la dirección del plano de falla.
- **Falla Transcurrente:** representa solo desplazamiento horizontal, existen dos tipos sinestrales (movimiento a la izquierda) o dextrales (movimiento a la derecha), dependiendo del observador.

La Figura 3, muestra el sentido del movimiento que presentan los tres primeros tipos de fallas. Las fallas normal y transcurrente reflejan esfuerzos de tensión y la falla inversa esfuerzos de compresión.

Figura 3. Tipos de Fallas Geológicas



Fuente: Caldera, S. Tipos de Fallas Geológicas [12]

2.1.2. Ondas sísmicas

Es el resultado de la liberación de energía debido al movimiento de las placas. Las características de las ondas sísmicas están determinadas por la densidad y la elasticidad del medio de propagación. Al suscitarse un evento sísmico el movimiento producido por las ondas es registrado en los sismógrafos. [7]

A través de los registros obtenidos de un evento sísmico se puede determinar parámetros como: ubicación del foco (punto donde se originan las primeras ondas sísmicas), ubicación del epicentro (proyección del foco en la superficie), distancia hipocentral (distancia que existe entre el foco y el sismógrafo), distancia epicentral (distancia entre el epicentro y el sismógrafo) y la magnitud. [7]

Existen dos tipos de ondas sísmicas: ondas de cuerpo y ondas superficiales.

- **Ondas de cuerpo:** las ondas de cuerpo se dividen en Ondas P (ondas primarias, avanzan más de 5 km/s en las rocas graníticas cercanas a la superficie y alcanzan 11 km/s) y Ondas S (conocidas como ondas de corte que poseen velocidades en roca aproximadamente iguales al 70% de las ondas P, tienen mayor amplitud y son más destructivas). [7]
- **Ondas superficiales:** Las ondas superficiales (ondas Rayleigh y ondas Love) se forman por la interacción de las ondas de cuerpo que viajan en diferentes direcciones, su amplitud es máxima en la superficie y nula a grandes profundidades. [7]

2.1.3. Medidas de los sismos

Existen dos maneras de identificar la acción de un sismo: por la intensidad y por la magnitud.

2.1.3.1. Intensidad

La medición de la intensidad se la realiza de manera cualitativa observando la forma en la que las personas sienten el temblor y los daños producidos por el sismo en las estructuras. Las escalas más difundidas son: [11]

- Escala de Mercalli Modificada desarrollada en el año 1931 por Harry O. Wood y Frank Neuman (MM).

- Escala Medvedev Sponheuer Karnik del año 1964 (MSK-64).
- Escala Macrosísmica europea del año 1998 (EMS-98).

En nuestro país se emplea la Escala de Mercalli Modificada, la cual describe 12 grados de intensidad que precisa efectos en las construcciones.

2.1.3.2. Magnitud

La magnitud es la medición cuantitativa de la energía liberada en un sismo. Para una valoración objetiva de la magnitud de los terremotos es necesario utilizar instrumentos adecuados como los sismógrafos y acelerógrafos. [7]

Para medir los sismos se presenta algunas escalas según [7], las más importantes son:

- **Magnitud Local (M_L):** para su medición se emplea la Escala de Richter, que es una escala logarítmica que da un número para cuantificar la energía liberada de un sismo. Esta escala no es considerada la más apropiada para medir sismos en otras partes del mundo.
- **Magnitud Superficial (M_S):** es una escala basada en la amplitud de las ondas Rayleigh, se sugiere emplear para profundidades menores a 70 km.
- **Magnitud de Cuerpo (M_b):** se basa en la amplitud de los primeros ciclos de las ondas P.
- **Magnitud de Momento (M_w):** se emplea para valores altos de magnitudes, debido a que las escalas anteriores se saturan y dejan de ser adecuadas. Este estudio se fundamentará en el análisis de esta escala.

La magnitud de Richter y la magnitud M_b se saturan a magnitudes entre 6 y 7, mientras que la magnitud de superficie se satura a una magnitud de 8. [7]

2.1.4. Magnitud de momento (M_o)

Para representar sismos fuertes la única escala que no se satura es la Magnitud de Momento. Su principal parámetro es el momento sísmico, que es una medida directa de los factores que originan la ruptura a lo largo de la falla, representada por la siguiente ecuación: [\[13\]](#)

$$M_w = (2/3) \log M_o - 10,73 \quad (1)$$

$$M_o = \mu A D$$

Donde:

M_o : Momento sísmico

μ : Rigidez de corte del suelo a lo largo de la falla

A : Área de ruptura

D : Desplazamiento promedio del plano de falla

Existen varias metodologías para el cálculo de la magnitud de momento del sismo máximo basadas en la longitud de los segmentos de falla. La metodología de Wells – Coppersmith desarrollada en 1994 [\[14\]](#), además de especificar la particularidad de la falla o fuente del sismo relaciona a la magnitud con la geometría de la falla (la longitud, el área y el ancho de ruptura de la falla) en función a regresiones logarítmicas.

Tabla 1. Coeficientes para la Magnitud de momento (M) según el tipo de falla

Ecuación	Tipo de falla	Coeficientes y errores estándares		Magnitud	Longitud (km)
		a (sa)	b (sb)		
$M = a + b * \log (SRL)$	Transcurrente	5,16(0,13)	1,12(0,08)	5,4 a 7,4	3,3 a 85
	Inversa	5,00(0,22)	1,22(0,16)		
	Normal	4,86(0,34)	1,32(0,26)		
	Todas	5,08(0,10)	1,16(0,07)		

Fuente: Wells – Coppersmith [\[14\]](#)

De acuerdo a la Tabla 1 y al emplazamiento definido por fallas de tipo inverso, se seleccionará los coeficientes correspondientes a ese tipo de falla, teniendo finalmente la ecuación para la magnitud de momento M_w , como sigue:

$$M = 5,00 + 1,22 * \log (SRL) \quad (2)$$

Dónde:

□□□ : Longitud de rotura superficial (km)

En los siguientes apartados se definirá a este término.

2.1.5. Peligro Sísmico

La cuantificación de los efectos sísmicos en las estructuras se la realiza por medio de la vulnerabilidad de las edificaciones y la sismicidad del lugar. La vulnerabilidad se estima al conocer las características de las edificaciones y la sismicidad se obtiene mediante un análisis de peligro sísmico. [7]

El peligro sísmico es la probabilidad de excedencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de una región determinada, de movimientos del suelo cuyos parámetros aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados. [4]

El peligro sísmico se suele representar por medio de los valores máximos del movimiento del terreno, la intensidad del movimiento y muy recientemente por un parámetro global de la respuesta estructural. [7]

Este estudio se fundamenta en el reconocimiento de potenciales fuentes sísmicas que puedan ocasionar terremotos futuros. Es por ello que se debe identificar si una falla es activa o inactiva, según su actividad en los últimos 10,000 años. [15]

2.1.5.1. Tipos de Análisis de Peligro Sísmico

Existen dos tipos de análisis que representan el peligro sísmico: probabilístico y determinístico.

2.1.5.1.1. Análisis de Peligro Sísmico Probabilístico

El análisis de peligro sísmico probabilístico permite identificar, cuantificar y combinar el tamaño, ubicación y tasa de recurrencia de los sismos, proporcionando una evaluación más completa de la amenaza sísmica. [\[15\]](#)

2.1.5.1.2. Análisis de Peligro Sísmico Determinístico

El análisis de peligro sísmico determinístico analiza un único escenario y consiste en la ocurrencia de un terremoto de tamaño especificado en una ubicación determinada. El presente estudio se enfoca en este tipo de análisis, es por ello que a continuación se describe los pasos a efectuarse establecidos por [\[15\]](#):

- a) Identificación y caracterización de todas las fuentes sismogénicas capaces de producir movimientos sísmicos significativos en el sitio de estudio. Incluye la definición de la geometría de cada fuente y su potencial sísmico.
- b) Selección del parámetro de distancia fuente-sitio para cada fuente, elección de la menor distancia entre la fuente y el sitio de interés. La distancia puede ser epicentral o hipocentral, dependerá de la ecuación de atenuación empleada.
- c) Selección del sismo controlador descrito en términos de su tamaño (magnitud).
- d) Utilización de las ecuaciones de atenuación de onda (Ground Motion Prediction Equations – GMPE).

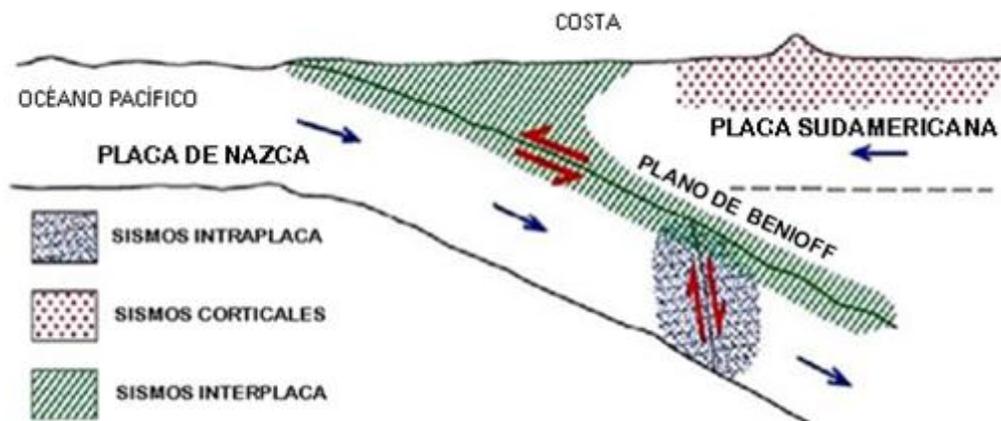
Generalmente el método determinístico es usado en lugares donde se encuentran bien definidas las características tectónicas.

2.1.6. Sismotectónica en el Ecuador

El territorio ecuatoriano se divide en cuatro regiones: Costa, Sierra, Oriente y Región Insular. La sierra ecuatoriana presenta mayor cantidad de fallas y pliegues que en conjunto con la zona de subducción en la costa del país representan las principales fuentes generadoras de sismos. El peligro sísmico en el Ecuador está regido por dos tipos de fuentes sísmicas: subducción y corticales. [16]

En la Figura 4., se puede observar los tipos de sismos concurrentes en el territorio ecuatoriano.

Figura 4. Principales fuentes Sismogénicas



Fuente: Saragoni, R. Terremoto en Chile [17]

2.1.6.1. Subducción

La zona de subducción se trata de eventos profundos. Su principal mecanismo se enfoca en que la placa de Nazca converge bajo la placa Sudamericana a una razón de 8 a 10 cm por año. [7]

La zona de subducción está dividida en varios segmentos de longitud, cada uno con varios rumbos, inclinaciones y geometrías, debido a las diferentes edades de

la corteza oceánica localizadas en el plano de Benioff. La zona de Benioff es una prominente zona paralela a la fosa marina que presenta una inclinación de 40°-60° y que se extiende cientos de kilómetros bajo la Tierra. [9]

Los eventos sísmicos de subducción pueden ser de dos tipos:

- a. **Interplaca:** pertenecen a los sismos generados por el rozamiento entre la placa de Nazca que subduce bajo la placa Sudamericana a lo largo de la zona de convergencia. Alcanza profundidades menores a 40 km. [16]
- b. **Intraplaca:** corresponden a sismos de falla normal, localizados dentro de la placa de Nazca que subduce bajo la placa Sudamericana. Caracterizada por profundidades entre 40 y 300 km. [16]

2.1.6.2. Cortical

Corresponden a sismos superficiales que ocurren dentro de la placa Sudamericana y se caracterizan por profundidades menores a 40 km. [16]

2.1.7. Zonificación Sísmica en Ecuador

El mapa de zonificación sísmica toma en cuenta todos los parámetros presentados anteriormente. De manera principal, el concepto de la subducción entre la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana como fuente de generación de energía sísmica en el Ecuador con la participación de un sistema complejo de fallas locales superficiales. [4]

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 categorización zonal, desde intermedia (zona I) hasta muy alta (zona VI), esta última con valores de saturación de aceleración sísmica en roca de 0.50 g, correspondientes a la costa ecuatoriana. [4]

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

- La evaluación de los principales eventos históricos acompañada de un estudio moderno de re-evaluación de la magnitud y localización de dichos eventos.
- El estudio de las principales fuentes sísmicas conocidas (corticales y de subducción) y sus mecanismos focales, que junto con la sismicidad y neotectónica, permitió modelar la geometría de las fuentes sismogénicas y sus parámetros sismológicos (rumbo, buzamiento, magnitud mínima de homogeneidad, tasa media de actividad sísmica, magnitud máxima probable y tasas de recurrencia).

La metodología empleada sobre las incertidumbres de estos parámetros es la aplicación de las ecuaciones de atenuación descritas a continuación.

2.1.8. Ecuaciones de atenuación (GMPE)

Son modelos matemáticos que detallan la pérdida de energía de un sismo en la corteza terrestre debido a la distancia entre el hipocentro y el sitio del evento, a lo largo de la trayectoria del desplazamiento de una onda. Se basan en valores de aceleración máxima del suelo (PGA), registrados durante un período de tiempo proveniente de una base datos de acuerdo a la zona fuente. Cada modelo adoptado en el análisis incluye la intervención del suelo, escalas de magnitud y posición relativa fuente – sitio, profundidad, entre otros. [16]

Para seleccionar las ecuaciones acordes a los requerimientos es sustancial cumplir con los rangos de validez de cada modelo. Es decir, reconocer las particularidades principales y definir la información adecuada para la obtención de los espectros de diseño en el estudio de las estructuras a fin. A continuación, se detallará las ecuaciones a emplearse.

2.1.8.1. Ecuaciones de atenuación para Sismos Corticales

La utilización de las ecuaciones de predicción, validadas por el Global Earthquake Model, para las fuentes corticales son Boore & Atkinson (2008), Akkar y Boomer (2010) y Kanno et. al. (2006). Los parámetros para cada modelo serán especificados en los siguientes apartados.

2.1.8.1.1. Modelo de Boore & Atkinson (2008)

Las ecuaciones desarrolladas en este modelo surgen de una base extensa de datos de terremotos corticales superficiales, recolectados por el proyecto “PEER NGA”. Estos registros han sido obtenidos de países tectónicamente activos con sismicidades que van de moderadas a altas. Estas ecuaciones obtienen aceleraciones máximas (PGA), velocidades pico del suelo (PGV) y aceleración pseudoespectral (PSA) de amortiguamiento del 5% para períodos entre 0,01 s y 10 s. [18]

Utilizando métodos de regresión se obtuvieron espectros basados en la magnitud del terremoto, distancia desde la fuente al sitio, la velocidad media de onda de corte, entre otros parámetros especificados a continuación: [18]

$$\ln y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \epsilon \quad (3)$$

Donde:

$\ln y$: aceleración espectral en g

$F_{M,D,S}$: Coeficientes

M : Magnitud de momento

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

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

ϵ : Desviación estándar

En la Ecuación (3): F_M , F_D y F_S representan la escala de magnitud, la función de distancia y la amplificación del sitio, respectivamente. M es la magnitud del momento, R_{JB} es la distancia de Joyner-Boore (definida como la distancia más cercana a la proyección de la superficie de la falla, que es aproximadamente igual a la distancia epicentral). [18]

– Para el escalamiento de magnitud:

a) $M \leq M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_5(M - M_h) + e_6(M - M_h)^2 \quad (3.1)$$

b) $M > M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_7(M - M_h) \quad (3.2)$$

Dónde:

M_h : escala de magnitud de momento

e_1, e_2, \dots, e_7 : coeficientes

Las variables U, SS, NS y RS se usan para indicar el tipo de falla, sus valores son presentados en la Tabla 2 y serán reemplazados en las ecuaciones 3.3 o 3.4, previo al análisis de la condición entre la magnitud de momento y la escala de magnitud de momento.

Tabla 2. Valores de variables para diferentes tipos de fallas

TIPO DE FALLA	U	SS	NS	RS
No especificada	1	0	0	05
Transcurrente	0	1	0	0
Normal	0	0	1	0
Inversa	0	0	0	1

Fuente: Atkinson y Boore [18]

- La función de la distancia está definida por:

$$F_D(R_{JB}, M) = [c_1 + c_2 (M - M_{ref})] \ln(R/R_{ref}) + c_3 (R - R_{ref}) \quad (3.3)$$

Dónde:

$$M_{ref} = 4,5$$

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

c_1, c_3, c_2 y h : coeficientes

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2} \quad (3.4)$$

- Para la ecuación de amplificación de sitio tenemos:

$$F_S = F_{LIN} + F_{NL} \quad (3.5)$$

Dónde:

F_{LIN} : término lineal

F_{NL} : término no lineal

El término lineal está dado por:

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln(V_{S30}/V_{ref}) \quad (3.6)$$

Dónde:

b_{lin} : coeficiente dependiente del período

V_{ref} : velocidad referenciada especificada = 760 m/s

Estos coeficientes b_{lin} y V_{ref} fueron determinados por Choi y Stewart en 2005

El término no lineal se encuentra definido por:

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

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_low/0,1) \quad (3.7)$$

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

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_low/0,1) + c[\ln(pga_{4nl}/a_1)]^2 + d[\ln(pga_{4nl}/a_1)]^3 \quad (3.8)$$

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

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{4nl}/0,1) \quad (3.9)$$

Dónde $a_1 = 0.03g$ y $a_2 = 0.09g$ se asigna niveles para amplificación lineal y no lineal, respectivamente, $pga_low = 0.06 g$ es una variable asignada a la transición entre comportamientos lineales y no lineales, pga_{4nl} es la predicción de PGA en g para $V_{ref} = 760m/s$, dada por la ecuación principal con $F_s = 0$ y $\varepsilon = 0$. [18]

Las tres ecuaciones para la función de no linealidad del suelo responden a las Ecuaciones 3.7 a 3.9.

Los coeficientes c y d en la ecuación 3.8 vienen dados por:

$$c = (3\Delta y - b_{nl}\Delta x)/\Delta x^2 \quad (3.10)$$

$$d = -(2\Delta y - b_{nl}\Delta x)/\Delta x^3 \quad (3.11)$$

$$\Delta x = \ln(a_2/a_1) \quad (3.12)$$

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

(3.13)

La pendiente no lineal b_{nl} es una función del período y V_{S30} viene dado por:

a) $V_{S30} \leq V_1$:

$$b_{nl} = b_1$$

(3.14)

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

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

(3.15)

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

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

(3.16)

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

$$b_{nl} = 0$$

(3.17)

Dónde $V_1 = 180$ m/s y $V_2 = 300$ m/s

Límites del Modelo

Estas ecuaciones deben ser empleadas para:

- $M = 5 - 8$
- $R_{JB} < 200$ km
- $V_{S30} = 180 - 1300$ m/s
- No deben ser aplicados para sitios de roca muy dura.

2.1.8.1.2. Modelo de Akkar & Bommer (2010)

Se trata de la actualización de ecuaciones presentadas por Akkar & Bommer (2007). El documento describe ecuaciones para el análisis de peligro sísmico mediante la elaboración de curvas de atenuación para la predicción de la velocidad del terreno (PGV), aceleración del suelo (PGA) y respuestas espectrales en Europa, Medio Oriente y el Mediterráneo. Para el desarrollo de las ecuaciones empíricas se utilizó una base de datos de 131 terremotos con una distancia de hasta 100 km, registrados por 532 acelerogramas con magnitudes de momento entre 5 y 7,6. [19]

La ecuación para la aceleración pseudoespectral en cm/s^2 (PSA) correspondiente al 5% de amortiguamiento y es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Log } y = & \mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2 \mathbf{M} + \mathbf{b}_3 \mathbf{M}^2 + (\mathbf{b}_4 + \mathbf{b}_5 \mathbf{M}) \log \sqrt{\mathbf{R}_{\text{JB}}^2 + \mathbf{b}_6^2} + \mathbf{b}_7 \mathbf{S}_S + \mathbf{b}_8 \mathbf{S}_A + \\ & \mathbf{b}_9 \mathbf{F}_N + \mathbf{b}_{10} \mathbf{F}_R + \varepsilon_\sigma \end{aligned} \quad (4)$$

Dónde:

\mathbf{b} : Coeficientes

\mathbf{F}_N : Falla normal

\mathbf{F}_R : Falla inversa

\mathbf{M} : Magnitud de momento

\mathbf{R}_{JB} : Distancia desde donde se libera la energía hasta el punto de estudio

\mathbf{S}_A : Suelo rígido

\mathbf{S}_S : Suelo suave

La desviación estándar σ es el resultado de la suma de los cuadrados entre dos componentes, inter-evento σ_2 e intra-evento σ_1 , como sigue:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (4.1)$$

Los coeficientes para S y F corresponden al tipo de suelo y mecanismo de falla especificados en las Tablas 3 y 4, respectivamente.

Tabla 3. Coeficientes S_S y S_A según el tipo de suelo

Tipo de Suelo	S_S	S_A	V_{S30}
Suelo blando	1	1	< 360 m/s
Suelo rígido	1	1	-
Roca	0	0	> 750 m/s

Fuente: Akkar y Boomer [19]

Tabla 4. Coeficientes F_N y F_R según el mecanismo de falla

Mecanismo de Falla	F_N	F_R
Falla normal	1	1
Falla inversa	1	1
Falla transcurrente	0	0

Fuente: Akkar y Boomer [19]

Limitaciones del Modelo

Esta metodología es aplicable para:

- $M = 5 - 7,6$

2.1.8.1.3. Modelo de Kanno et al. (2006)

De acuerdo a [20] El estudio se basa en el análisis de datos registrados en Japón, para valores máximos de aceleración, fundamentándose en tres variables: la magnitud del terremoto, la distancia más corta al plano de falla sísmica y la profundidad focal.

Para mejorar las predicciones del modelo se introduce términos de corrección de sitio y de intensidad sísmica. Los registros empleados representan grandes eventos sísmicos en Japón entre 1963 y 2003.

Las ecuaciones presentadas a continuación se encuentran definidas por la profundidad focal.

Si $D \leq 30$ Km:

$$\text{Log pre} = a_1 M_w + b_1 X - \log (X + d_1 * 10^{e_1 M_w}) + C_1 + \varepsilon_1 \quad (5.a)$$

Si $D > 30$ Km:

$$\text{Log pre} = a_2 M_w + b_2 X - \log (X) + C_2 + \varepsilon_2 \quad (5.b)$$

Dónde:

D : Profundidad Focal

a, b, c, d : Coeficientes

M_w : Magnitud de momento

X : Distancia de la fuente

pre : Aceleración espectral en (cm/s^2)

$e_1 = 0,5$

En este caso se tiene una falla cortical con una profundidad focal menor a 30 km, es decir emplearemos para el análisis la primera ecuación.

Para tomar en cuenta los efectos de sitio se empleará la siguiente ecuación:

$$\text{Log pre}_G = \text{Log pre} + G \quad (5.1)$$

Dónde:

G : Efecto de sitio

p y q : Coeficientes

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

$$\mathbf{G = p \log V_{S30} + q} \tag{5.2}$$

Limitaciones del Modelo

Esta metodología es aplicable para:

- Para eventos poco profundos la profundidad focal debe estar entre 0 y 30 km
- Para eventos profundos la profundidad focal debe estar entre 30 y 180 km

2.1.8.2. Ecuaciones de atenuación para Sismos de Subducción

La utilización de las ecuaciones de predicción, validadas por el Global Earthquake para las fuentes de subducción son Youngs et. al. (1997) y Zhao et. al. (2006). Los parámetros que cada modelo serán especificados a continuación.

2.1.8.2.1. Modelo de Youngs (1997)

Según [\[21\]](#): Las relaciones presentadas en el documento se desarrollaron de regresiones anteriores para movimientos de terremoto en zonas de subducción. En el cual considera dos tipos de terremotos de zona de subducción, intraplaca e interplaca. El conjunto de datos analizados toma en cuenta la localización del epicentro, profundidad, magnitud y mecanismo focal.

Los terremotos de interplaca son eventos de empuje de ángulo superficial que se producen en la interfaz entre las placas de subducción y de superposición, incluyen terremotos de Alaska, Valparaíso, Chile y Michoacán.

Los terremotos de intraplaca en zona de subducción ocurren dentro de la placa oceánica y el estudio incluye terremotos en la región de Puget Sound estado de Washington.

Diferenciando los dos tipos de acuerdo a la profundidad focal, se presenta eventos intraplaca con profundidades mayores a 50 km y eventos interplaca a profundidades someras de 50 km.

$$\ln y = -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 * \ln(R + 1.097e^{0.617*M}) + 0.00648H + 0.3643 Zt \quad (6)$$

Dónde:

y : Aceleración espectral en g

C : Coeficientes

R : Distancia fuente a sitio

H : Profundidad focal

M : Magnitud de momento

Zt : Tipo de falla (Interplaca = 0, Intraplaca = 1)

Limitaciones del Modelo

Esta metodología es aplicable para:

- Magnitudes mayores a $M_w = 5$
- Para distancias de 10 a 500 km
- Profundidades focales entre 10 y 229 km

2.1.8.2.2. Modelo de Zhao (2006)

El estudio se basa en el análisis del movimiento de tierra en Japón, desarrollado para eventos de subducción y corticales. La investigación emplea criterios de clasificación de suelo en sitio. Se obtuvieron registros, categorizándolos en cuatro tipos de suelo entre ellos: roca, suelo duro, suelo medio y suelo blando (Molas y

Yamazaki, 1995), también se incluyeron pocos registros de roca fuerte. La clasificación toma en cuenta el período natural, la onda de corte y las clases de sitio, como se describe en el siguiente cuadro: [22]

Tabla 5. Clasificación de sitio utilizadas por Zhao y por NEHRP

Clase de sitio	Descripción	Período Natural	V _{S30} calculada a partir del período
Roca Fuerte			V _{S30} > 1100
SC I	Roca	T < 0,2 seg	V _{S30} > 600
SC II	Suelo duro	0.2 T < 0,4 seg	300 < V _{S30} = 600
SC III	Suelo medio	0.4 = T < 0,6 seg	200 < V _{S30} = 300
SC IV	Suelo blando	T = 0,6 seg	V _{S30} = 200

Fuente: Zhao [22]

En función a la información de la tabla se clasifican los datos y se estima los coeficientes, empleados para el cálculo de la aceleración espectral en la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Log\ y = aM_w + bx - log(r) + e(h - hc)\delta h + FR + S_1 + S_s + SSL * log(x) + C_k} \quad (7)$$

$$r = x + c \exp (d M_w) \quad (7.1)$$

Dónde:

y : Aceleración espectral en (cm/s²)

M_w : Magnitud de momento

a, b, c, d, e, C_k : Coeficientes

x : Distancia a la fuente en Km

h : Profundidad focal

hc : Constante

C_k : Clase de sitio

– **Profundidades focales**

Se señala valores de h según un rango de profundidades para diferentes tipos de eventos.

Tabla 6. Rangos para la profundidad focal según el tipo de evento

Tipo de Evento	Profundidad
Cortical	$h = 0 - 25 \text{ km}$
Interplaca	$h = 10 - 50 \text{ km}$
Intraplaca	$h = 15 - 162 \text{ km}$
Si $h > 125 \text{ km}$	$h = 125 \text{ km}$

Fuente: Zhao [22]

Se describe a continuación los valores y condiciones para los parámetros empleados en la ecuación (6):

- $\delta h = 1$ cuando $h \geq h_c$ y $\delta h = 0$ caso contrario
- $h_c = 15 \text{ km}$
- FR: parámetro de falla inversa, solo se aplica para eventos corticales y 0 para los demás eventos
- S_I : parámetro de tipo origen tectónico, solo se aplica para eventos de subducción interplaca y 0 para los demás eventos
- S_S : se aplica solo a eventos de subducción y 0 para los demás eventos
- SLL: término de modificación de trayectoria independiente de la magnitud para eventos intraplaca

2.1.9. Principales parámetros empleados en las ecuaciones de atenuación

Para el desarrollo y obtención de las ecuaciones de atenuación de acuerdo a un sitio específico se identifica los siguientes parámetros fundamentales resumidos de la siguiente manera:

- Estudio Geotécnico: análisis de la geología de sitio.

- Características del suelo: clasificación de los estratos que componen al suelo.
- Velocidad de onda de corte: análisis de la interacción entre el suelo y la estructura

2.1.9.1. Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

El estudio geotécnico que se llevará a cabo es el Ensayo de Penetración Estándar, muy utilizado y extendido que se lo realiza para obtener la resistencia del suelo y las características de los estratos. [\[4\]](#) [\[23\]](#)

Para la realización del ensayo se ha llevado a cabo lo especificado en la norma INEN 689 [\[24\]](#), resumiéndola a continuación. El procedimiento radica en registrar el número de golpes requerido para hincar el muestreador, empleando el impacto de un martillo de 65 kg en caída libre desde una altura de 75 ± 5 cm. El número de golpes se registra cada 45 cm en 3 intervalos de 15cm, tomado el número de golpes de los 30 cm finales como el valor de (N), el cual indica la resistencia del material.

Además es importante tomar las siguientes consideraciones: [\[24\]](#)

- Debe usarse un cabo de manila para el izaje del martinete, en caso de ser accionado mecánicamente, el cabo debe enrollarse máximo dos veces.
- La barra rígida de acero debe estar completamente vertical para asegurar la energía de los golpes.
- Si al hincar se sobrepasa los 50 golpes, sin haber penetrado la totalidad de cada intervalo, se dará por terminado el ensayo.
- Se debe etiquetar las muestras adecuadamente con todos los datos necesarios para realizar los ensayos requeridos.
- El número de golpes registrados será a partir del primer metro considerando el nivel de cimentación.

2.1.9.2. Características del suelo

En el Ámbito Ingenieril las características físicas y mecánicas del suelo definen el comportamiento de una estructura ante un sismo. Para especificar el tipo de suelo característico de un lugar se realiza un ensayo granulométrico, el cual tiene como finalidad obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo por medio de tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente. [25]

Así es posible su clasificación mediante sistemas como el American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) o el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), este último considerado en la NEC-15.

Para realizar la clasificación del suelo del lugar en análisis, emplearemos la Tabla 7 que indica la categorización del suelo presentado por la SUCS.

Tabla 7. Clasificación de suelos (Partículas menores de 7.5 cm)

Sub-Tipos		Identificación			Símbolo Grupo
SUELOS GRUESOS : Más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 (0.075 mm)	GRAVA : Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla N°4	GRAVA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (C_u) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (C_c) entre 1 y 3	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GW
			Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GP
		GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Más del 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véase abajo los grupos ML y MH)	GM
			Grava arcillosa; mezcla de grava, arena y arcilla	Más del 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véase abajo los grupos CL y CH)	GC
	ARENA : Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4	ARENA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (C_u) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (C_c) entre 1 y 3	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SW
			Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SP

			para SW.		
		ARENA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.	Más del 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véase abajo los grupos ML y MH)	SM
			Arena arcillosa; mezcla de arena, grava y arcilla.	Más del 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véase abajo los grupos CL y CH)	SC
SUELOS FINOS : Más de la mitad del material pasa la malla N°200 (0.075 mm)	LIMO Y ARCILLA : Límite líquido	Menor de 50%	Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.		ML
			Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.		CL
			Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.		OL
		Mayor de 50%	Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la Carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.		MH
			Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la Carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.		CH
			Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la Carta de plasticidad mostrada en el Manual.		OH
ALTAMENTE ORGÁNICOS		Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.		P _t	

Fuente: Métodos de muestreo y prueba de materiales basado en la SUCS [25]

2.1.9.3. Velocidad media de onda de Corte V_{s30}

La investigación realizada por Borchedt en 1994 radica en el análisis de registros de sitio del terremoto ocurrido en Loma Prieta, en distintas partes geológicas, incluyendo territorios de roca. En donde se demostró que la velocidad de la onda de corte tiene influencia en los 30 primeros metros. [26]

La velocidad de onda de corte V_s a los 30 metros es uno de los parámetros más importantes para en análisis de la interacción entre el suelo y la estructura. Lo que ha llevado a que los códigos de varios países adopten este término dentro de las regulaciones para el diseño sismoresistente.

En cuanto al cálculo de V_{s30} se tiene ensayos de refracción sísmica y ensayos de resistividad eléctrica, los cuales requieren instrumentos de alto costo. [4] Sin embargo, existe metodologías las cuales permiten representar a la velocidad de onda de corte V_{s30} , de forma económica, empleando correlaciones. Para el

presente análisis se obtendrá valores de la velocidad de onda de corte por medio de correlaciones en función al número de golpes a partir de un Ensayo de Penetración Estándar.

El análisis “Correlaciones empíricas entre la velocidad de propagación de las ondas S (V_s) y otros parámetros geotécnicos para los suelos de Madrid”, desarrollado por Pérez, Muñoz, Carbó y Ruiz, obtiene diferentes correlaciones para cada tipo de suelo existente en dicha zona en base a la técnica ReMi (Refracción Micro tremores, método que calcula la velocidad V_s de registros microsísmicos diarios a profundidades de 10 m hasta 100 m). [23]

Las relaciones establecidas en el estudio que realiza Pérez, entre V_s y N_{SPT} para cada grupo litológico vienen expresadas por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Arena} \quad V_s = 98,69 * N_{SPT}^{0,321} \quad (8.1)$$

$$\text{Limo} \quad V_s = 44,87 * N_{SPT}^{0,606} \quad (8.2)$$

$$\text{Arcilla de alta plasticidad} \quad V_s = 60,79 * N_{SPT}^{0,527} \quad (8.3)$$

$$\text{Arcillas y yesos} \quad V_s = 159,43 * N_{SPT}^{0,344} \quad (8.4)$$

Dónde:

N_{SPT} : número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil del suelo.

De acuerdo al tipo de suelo obtenido en el emplazamiento, se seleccionará la ecuación correspondiente para obtener el valor de V_s .

2.1.9.3.1. Clasificación de los perfiles de suelo

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015 permite identificar el tipo de perfil del suelo en función a los rangos definidos para V_s . La Tabla 8 presenta

seis categorías. Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores. [4]

Tabla 8. Clasificación de los Perfiles de Suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$ $N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1 —Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados.	
	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) [4]

Dónde:

N: número medio de golpes el ensayo de penetración estándar en cualquier perfil del suelo

Vs30: Velocidad media de la onda de cortante

2.1.9.4. Distancia fuente – sitio

Es la distancia que existen entre la falla y la fuente sismogénica, tiene una relación directamente proporcional en forma logarítmica a la aceleración, es decir mientras más cerca este una falla del emplazamiento, los valores de aceleración incrementarán. Además, el estudio de peligro sísmico es dominante si la falla se encuentra a una distancia menor o igual a 10 km de la falla. [\[18\]](#)

Existen varias formas para la determinación de esta distancia y esto depende de las características mismas de la falla y de la ecuación de atenuación utilizada. En la evaluación del peligro sísmico se pueden emplear los siguientes criterios para definir este parámetro:

- **R_{JB}**: Distancia de Joyner & Boore desarrollada en 1981, es la distancia perpendicular a la proyección vertical en la superficie de la falla. [\[18\]](#)
- **R_{HYP0}**: Distancia al hipocentro. [\[1\]](#)
- **R_{RUP}**: Distancia al punto más cercano de ruptura de la falla.

La distancia más conocida, menos compleja y la requerida por las ecuaciones de atenuación antes mencionadas es la Distancia de Joyner y Boore.

2.1.10. Espectros de Peligro Sísmico

Un espectro sísmico es una representación gráfica que relaciona el período de una estructura con el desplazamiento, la velocidad o principalmente la aceleración. Se

emplea la aceleración porque el diseño sísmico que encuentra basado en el análisis de fuerzas. [\[27\]](#)

La elaboración de un espectro de respuesta radica en la importancia del análisis dinámico estructural en el diseño sismoresistente. Los espectros empleados en el presente estudio serán elaborados en función a las metodologías antes presentadas para sismos corticales y de subducción, detallados en el literal 2.1.8, con el fin de comparar un único modelo representativo con el espectro calculado de la NEC-15.

2.1.10.1. Espectro Elástico NEC-2015

La NEC-15 establece un modelo matemático de la estructura que debe incluir todos los elementos que conforman el sistema estructural y la distribución de (masas y rigideces). [\[4\]](#)

La principal metodología utilizada por la norma es el Diseño Basado en Fuerzas (DBF), el cual presenta 3 métodos de análisis que pueden emplearse en el análisis de las estructuras [\[4\]](#) y son:

- a. Análisis estático: aplicable para todo tipo de estructuras
- b. Análisis dinámico espectral: se emplea un espectro sísmico de respuesta elástico en aceleraciones o se construye un espectro mediante curvas de peligro. Se aplica obligatoriamente para todo tipo de estructuras irregulares.
- c. Análisis paso a paso en el tiempo: se usan acelerogramas de los terremotos reales esperados en la zona. Se aplica obligatoriamente para estructuras con sistemas disipadores de energía.

Como el objetivo principal de este proyecto es realizar un análisis de estructuras representativas del área de emplazamiento, se enfatiza en el Análisis Dinámico

Espectral. El cual, establece el uso de un espectro sísmico de respuesta elástico en aceleraciones obtenido para un sitio específico, basado en la geología, tectónica, sismología y características del suelo local. [4]

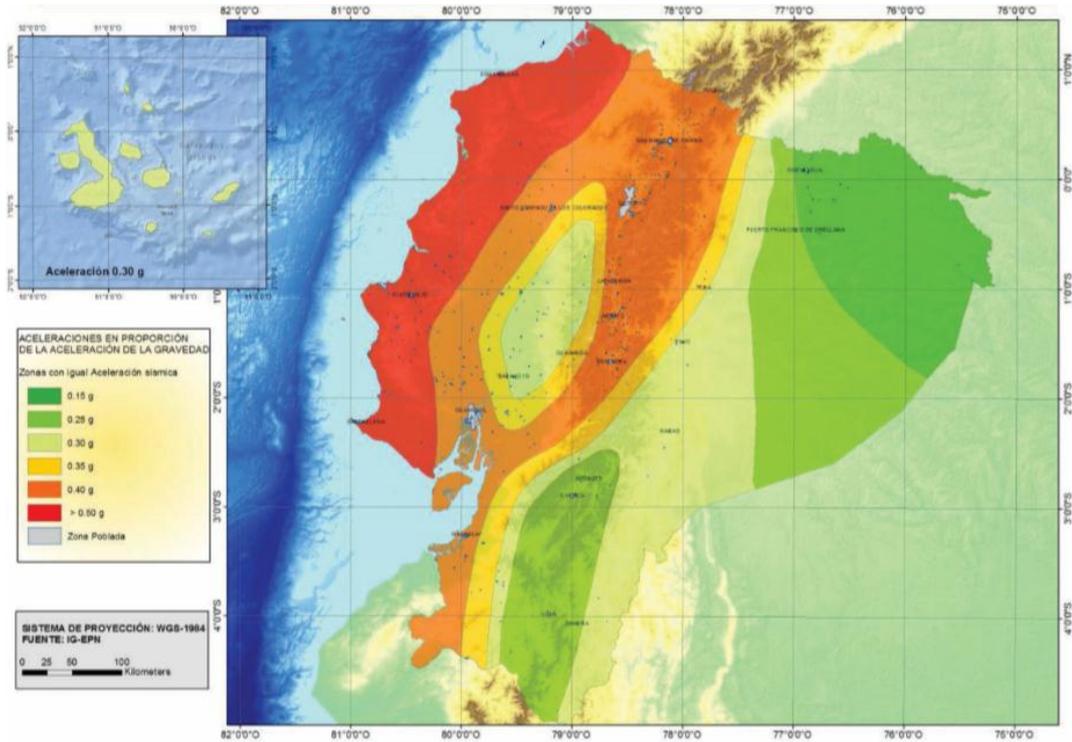
Para la elaboración del espectro de respuesta elástico de aceleraciones se debe tomar en consideración los parámetros especificados en la NEC-15, detallados a continuación: [4]

- Factor de zona sísmica Z
- Tipo de suelo de sitio de emplazamiento de la estructura
- Valores de los coeficientes de amplificación de suelo F_a, F_d, F_s

2.1.10.1.1. Factor de zona sísmica Z

El valor de z depende del sitio donde se localice la estructura. Este coeficiente representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, dicho valor será obtenido de acuerdo al Mapa de Zonificación Sísmica del Ecuador en la Figura 5.

Figura 5. Mapa de Zonificación Sísmica del Ecuador



Fuente: NEC – SE – DS (2015).[\[4\]](#)

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.[\[4\]](#)

La Tabla 9, presenta los valores de Z y categoriza al peligro sísmico correspondiente a cada zona sísmica.

Tabla 9. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	≥0,50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: NEC – SE – DS (2015).[\[4\]](#)

2.1.10.1.2. Tipo de suelo de sitio de emplazamiento de la estructura

Uno de los parámetros más importantes para elaborar el espectro de respuesta es el tipo de perfil del suelo, tanto para los modelos especificados en literales anteriores como para el espectro que rige la NEC-15.

La Tabla 8. Clasificación de los perfiles de suelo en el literal 2.1.9.3.1, nos ayudará a conocer el tipo de perfil, para en función a ello determinar los coeficientes de amplificación.

2.1.10.1.3. Valores de los coeficientes de amplificación de suelo F_a , F_d , F_s

NEC – SE – DS (2015)[4], detalla:

a. F_a : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.

En la Tabla 10 se presentan los valores del coeficiente F_a que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio.

Tabla 10. Tipo de suelo y Factores de sitio F_a

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	$\geq 0,50$
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,4	1,3	1,25	1,23	1,2	1,18
D	1,6	1,4	1,3	1,25	1,2	1,12
E	1,8	1,4	1,25	1,1	1,0	0,85
F	Véase NEC – SE – DS (2015)					

NEC – SE – DS (2015)[4]

b. F_d : amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca

En la Tabla 11 se presentan los valores del coeficiente F_d , considerando los efectos de sitio.

Tabla 11. Tipo de suelo y Factores de sitio F_d

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	$\geq 0,50$
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,36	1,28	1,19	1,15	1,11	1,06
D	1,62	1,45	1,36	1,28	1,19	1,11
E	2,1	1,75	1,7	1,65	1,6	1,5
F	Véase NEC – SE – DS (2015)					

NEC – SE – DS (2015)[4]

c. F_s : comportamiento no lineal de los suelos

En la Tabla 12 se presentan los valores del coeficiente F_s , que considera el comportamiento no lineal del suelo, la degradación del período del sitio y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo.

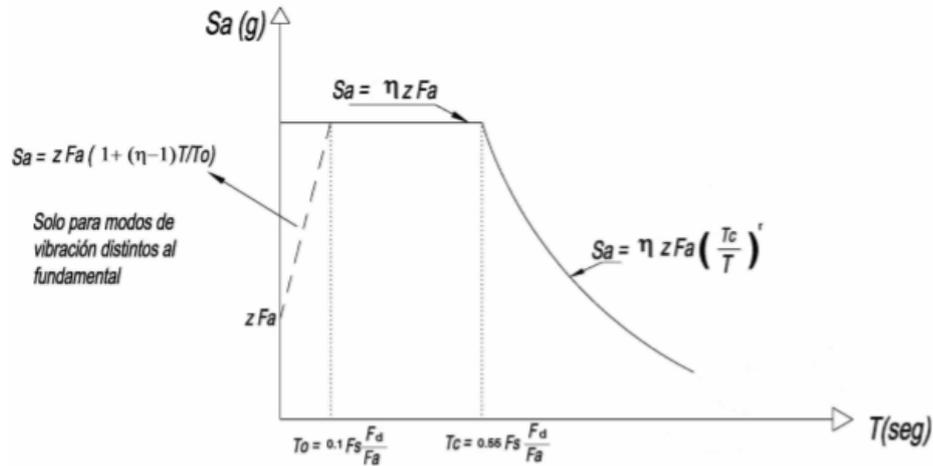
Tabla 12. Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	$\geq 0,50$
A	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
B	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
C	0,85	0,94	1,02	1,06	1,11	1,23
D	1,02	1,06	1,11	1,19	1,28	1,40
E	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8	2
F	Véase NEC – SE – DS (2015)					

NEC – SE – DS (2015)[4]

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, se proporciona en la Figura 3, consistente con:

Figura 6. Modelo para el Espectro Elástico de Respuesta



NEC – SE – DS (2015)[4]

Las ecuaciones que se requiere para la elaboración del espectro son:

- Para el período

$$T_0 = 0.1 * F_s * \frac{F_d}{F_a} \tag{9.1}$$

$$T_c = 0.55 * F_s * \frac{F_d}{F_a} \tag{9.2}$$

- Para la aceleración

$$S_a = z * F_a (1 + (\eta - 1)T/T_0) \tag{9.3}$$

$$S_a = \eta * z * F_a \tag{9.4}$$

$$S_a = \eta * z * F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \tag{9.5}$$

Dónde:

η : Razón entre la aceleración espectral S_a y el PGA para el período de retorno seleccionado. Su valor varía dependiendo la región:

$\eta = 1,80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas),

$\eta = 2,48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos

$\eta = 2,60$: Provincias del Oriente

S_a : Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del período o modo de vibración de la estructura.

T : Período fundamental de vibración de la estructura.

$$T = 0,1 \text{ s}$$

T_0 : Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

T_c : Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

r : Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto.

$r = 1$: para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E

$r = 1,5$: para tipo de suelo E.

2.1.11. Modelación Estructural

El propósito del modelado estructural es representar el comportamiento real de una estructura por medio de una idealización matemática. Por ello es necesario tomar en cuenta aspectos importantes como: la geometría de la estructura, propiedades de los materiales, elementos estructurales, ubicación y magnitud de las cargas, entre otros aspectos que serán descritos en este apartado.

La NEC - SE - DS 2015 especifica que se considera todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura, mediante los varios períodos de vibración. Se tiene 3 modos de vibración por cada piso. Y que además se debe asignar la participación de las cargas a la hora del sismo. El 100% de la carga muerta y el 25% de la carga viva, este último porcentaje dependerá del uso de la edificación. [4]

2.1.11.1. Propiedades de los materiales

La modelación del material demanda especificar las características que regirán su comportamiento. Una de las principales propiedades es el módulo de elasticidad. Y para casos especiales donde se requiera un análisis inelástico, es primordial definir el modelo de comportamiento para la curva esfuerzo deformación.

a. Módulo elástico para el hormigón: $E_c = 13\,100 \sqrt{f'_c}$

Dónde:

f'_c : resistencia del concreto en kg/cm^2

b. Módulo elástico para el acero: $E_a = 2,1 * 10^6 \text{ kg/cm}^2$

2.1.11.2. Definición de secciones

Un modelo fiel de la estructura incluye elementos fundamentales como las columnas, las vigas y la losa que componen a un pórtico estructural. La geometría de estos elementos se caracteriza por sus dimensiones y por la definición de sus propiedades.

– Modificadores de propiedades en las secciones

NEC-15 [4] se basa en el criterio de inercias agrietadas. Para el caso de estructuras de hormigón armado y de mampostería, el análisis por resistencia debe representar las rigideces de los elementos inmediatamente antes de la falla.

Para estructuras de hormigón armado el cálculo de la rigidez y de las derivas máximas se deberán utilizar los valores de las inercias agrietadas de los elementos estructurales, de la siguiente manera:

- 0.5 I_g para vigas (considerando la contribución de las losas, cuando fuera aplicable)
- 0.8 I_g para columnas

2.1.11.3. Comportamiento Estructural

Se realiza la verificación de condiciones que presenta la NEC - SE - DS 2015, de forma estática y dinámica, detalladas a continuación: [4]

a. Análisis Estático

– Períodos de vibración

El período fundamental o de vibración (T_2), se calcula utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes, por medio de un análisis modal. [4]

Además, se procede a verificar con la siguiente ecuación, que el valor del período fundamental (T_2) calculado según el Método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor del período (T) calculado con el Método 1. [4]

$$T \leq T_2 \leq 1,3 T \quad (10)$$

Se utiliza la siguiente expresión empleando en Método 1, establecido por la NEC - SE - DS 2015.

$$T = C_t * h_n^\alpha \quad (11)$$

Dónde:

C_t: coeficiente que depende del tipo de edificio

h_n: altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

T: período de vibración

– Modos de vibración de la estructura

Se debe verificar si la rotación sobre el eje z, en relación con el máximo desplazamiento obtenido, sea en x o en y, es menor al 30% para que se produzca un movimiento traslacional, en los dos primeros modos de vibración y mayor al 30% en el tercer modo de vibración, para que la estructura tenga un movimiento rotacional. Se emplea la siguiente ecuación:

$$\frac{R_z}{U_x \text{ ó } U_y} * 100\% \leq 30 \% \text{ traslacional} \quad (12)$$

– Porcentaje de participación de la masa

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 se deben considerar todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas. [4]

– Control de la Deriva de Piso Estáticas

Se debe comprobar que la estructura presente deformaciones inelásticas controlables. Para la revisión de las derivas de piso se utilizará el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamientos ΔM de la estructura, causada por el sismo de diseño. Las derivas obtenidas como consecuencia de la aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas por el método DBF sean estáticas o dinámicas, para cada dirección de aplicación de las fuerzas laterales, se calcularán, para cada piso, realizando un análisis elástico de la estructura sometida a las fuerzas laterales calculadas. [4]

Se comprobará que la deriva inelástica sea menor o igual al 2%, para lo cual se tiene la siguiente fórmula para transformar la deriva elástica entregada por el programa:

$$\Delta M = 0,75 * R * \Delta E \leq 2\% \quad (13)$$

Dónde:

ΔM : deriva máxima inelástica

ΔE : desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

R: factor de reducción de resistencia.

Para realizar este chequeo se debe obtener la deriva elástica mediante el programa ETABS 2016 V 16, para ello se requiere el valor de C (coeficiente de reducción sísmico) y k (coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T). [4]

Coeficiente sísmico reducido (C)

Se calcula en base a las aceleraciones encontradas empleando la siguiente ecuación:

$$C = \frac{I * Sa}{R * \phi_P * \phi_E} \quad (14)$$

Dónde:

C: coeficiente de reducción sísmico

I: factor de importancia

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

R: factor de reducción de resistencia sísmica

ϕ_P : coeficiente de configuración en planta

ϕ_E : coeficiente de configuración en elevación

Coficiente relacionado con el período de vibración (k)

Este coeficiente se encuentra en función del periodo de vibración T de la estructura, se emplea los criterios de la siguiente tabla.

Tabla 13. Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T

Valores de T(s)	k
≤ 0,5	1
0,5 < T ≤ 2,5	0,75 + 0,50 T
> 2,5	2

Fuente: NEC – SE – DS (2015).[\[4\]](#)

b. Análisis Dinámico

– **Control de la Deriva de Piso Dinámicas**

Se realiza el mismo procedimiento presentado para las derivas estáticas, en función a un sismo de diseño.

– **Validación del análisis dinámico**

➤ **Cortante Basal Estático**

La norma ecuatoriana menciona que el cortante basal es la fuerza lateral de diseño aplicada en la base de la estructura para representar fuerzas inerciales del sismo. Presentando la siguiente ecuación: [4]

$$V = \frac{I * Sa (Ta)}{R * \emptyset_P * \emptyset_E} * W \quad (15)$$

$$CB = \frac{I * Sa (Ta)}{R * \emptyset_P * \emptyset_E} \quad (16)$$

Por lo tanto, se puede deducir que el cortante basal será:

$$V = CB * W \quad (17)$$

Dónde:

CB: coeficiente basal

W: carga sísmica reactiva

La carga reactiva W corresponde al 100% de la carga muerta de la edificación (estructural y no estructural) y CB es el coeficiente basal que será calculado para cada uno de los espectros. [4]

➤ Cortante Basal Dinámico

La NEC - SE - DS 2015 establece que se debe realizar un ajuste en el valor del cortante basal dinámico total en la base de la estructura obtenido por cualquier método de análisis dinámico, cumpliendo las siguientes condiciones:

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

$$\frac{V_{\text{dinámico}}}{V_{\text{estático}}} \geq 80 \% \text{ ó } 85\% \quad (18)$$

Una estructura puede ser regular cuando procurara una configuración estructural simple que puede lograr un adecuado desempeño sísmico o puede ser irregular cuando la estructura presenta cambios abruptos de rigidez y resistencia indicados en NEC - SE - DS 2015. La norma mencionada sugiere que se deben evitar este tipo de construcciones con el fin de impedir acumulación de daño en algunos componentes. [4]

2.2 HIPÓTESIS

Un estudio de peligro sísmico determinista influye en el comportamiento estructural de las edificaciones del sector Juan León Mera de la Parroquia Huachi Loreto.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable Dependiente

Comportamiento estructural de las edificaciones del sector Juan León Mera de la Parroquia Huachi Loreto.

2.3.2 Variable Independiente

Peligro Sísmico Determinista

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1.NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo del proyecto se empleará tres tipos de investigación según la clasificación que realiza Leiva Zea (1996), enfocándonos en dos puntos de vista: por el lugar y por el tiempo. En cuanto al lugar se empleará la investigación de campo y la investigación de laboratorio y por el tiempo se utilizará la investigación experimental, explicados en los siguientes párrafos. [28]

La investigación de campo se aplicó para analizar los objetos de estudio en dos instancias. Para la recolección de muestras de suelo, al llevar a cabo el ensayo de penetración estándar SPT en cinco puntos y al realizar levantamientos planimétricos de tres estructuras del sector inmerso en el análisis.

La investigación de laboratorio se empleará con el fin de determinar el tipo de perfil de suelo realizando ensayos de granulometría a las muestras obtenidas del ensayo de penetración estándar SPT, haciendo uso del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

La investigación experimental se utilizará al realizar por primera ocasión en el estudio de peligro sísmico determinista en la ciudad de Ambato, evaluando y relacionando los espectros de respuesta de un conjunto de fallas seleccionadas con el espectro planteado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015, en tres estructuras del sector Juan León Mera de la Parroquia Huachi Loreto.

Este proyecto también empleará la investigación bibliográfica descrita por Luis Herrera (2004) al profundizar diferentes enfoques, teorías y criterios en el desarrollo total de la fundamentación teoría. [29]

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

El Estudio de Peligro Sísmico Determinista se lo realizará para el sector Juan León Mera de la Parroquia Huachi Loreto de la ciudad de Ambato. Para ello es necesario conocer las características geotectónicas del suelo y las GMPE's que se van a utilizar.

La población seleccionada para este proyecto se ubica en la ciudad de Ambato, corresponde al sector Juan León Mera con un área de 34, 4 Ha, especificada por la

El número mínimo de ensayos de exploración recomendados por la NEC-2015 (Geotécnica y Cimentaciones) son 3 sondeos. Por tratarse de un proyecto experimental y para cubrir completamente el área de aproximadamente 0,34 km² se realizó 5 perforaciones para el estudio de suelos. [31]

3.2.2.2. Estructuras

Para el presente proyecto se seleccionaron tres estructuras de 2, 3 y 6 pisos, para efectuar el análisis estructural.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Variable Independiente

Peligro Sísmico Determinista

Tabla 14. Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
--------------------------	--------------------	--------------------	--------------	--------------------------------

Es la probabilidad de excedencia que tiene una región para que se produzcan movimientos del suelo en ella, en un período específico de tiempo.	Movimiento del suelo	Fuentes sísmicas	¿Cuáles son las principales fuentes generadoras?	Bibliográfica
		Aceleración	¿Cuál es la aceleración obtenida?	- Experimental - Bibliográfica
		Velocidad media de onda de corte	¿Cuál es la correlación empleada?	- Experimental - Bibliográfica
		Distancia a la fuente	¿Cuál es la distancia de Joyner - Boore?	- Experimental - Bibliográfica
		Magnitud de Momento	¿Cuál es la correlación para la magnitud de momento?	- Experimental - Bibliográfica

Elaboración: Cinthya Sosa

3.3.2. Variable Dependiente

Comportamiento estructural de las edificaciones del sector Juan León Mera de la Parroquia Huachi Loreto.

Tabla 15. Operacionalización de la variable dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumento
-------------------	-------------	-------------	-------	------------------------

Distribución de los elementos principales en una estructura, que permite elegir un modelo estructural apropiado en la distribución interna de espacios y funciones de una edificación.	Modelo estructural	Período fundamental	¿Cuál es el período fundamental de la estructura?	- Experimental - Bibliográfica
		Derivas	¿Cuáles son las derivas máximas obtenidas?	- Experimental - Bibliográfica
		Cortante estático	¿Cuáles son los cortantes estáticos obtenidos?	- Experimental - Bibliográfica
		Cortante dinámico	¿Cuáles son los cortantes dinámicos obtenidos?	- Experimental - Bibliográfica

Elaboración: Cinthya Sosa

3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla 16. Plan de recolección de información

Preguntas	Explicación
1. ¿Para qué?	Para evaluar el peligro sísmico del sector Juan León Mera de la Parroquia Huachi Loreto de la ciudad de Ambato mediante la determinación de espectros de respuesta asociados a fallas seleccionadas.

<p>2. ¿De qué personas u objetos?</p>	<p>Régimen tectónico: Cortical y Subducción. Fallas seleccionadas: Falla Huachi, Falla Ambato, Falla Totoras y Falla Samanga para régimen cortical y Placa de Nazca para régimen de subducción. Tipo de suelo en el área de estudio: Tipo D.</p>
<p>3. ¿Sobre qué aspectos?</p>	<p>Influencia del peligro sísmico determinista para tres estructuras de 2, 3 y 6 pisos</p>
<p>4. ¿Quién?</p>	<p>Autor: Cinthya Valeria Sosa Ronquillo Tutor: Ing. Diego Chérrez</p>
<p>5. ¿Dónde?</p>	<p>Ensayos Exploratorios: se realizó 5 perforaciones en el sector Juan León Mera en los siguientes lugares.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Plaza de Carrizos 2. Cancha de Tierra – Teligote 3. Terreno en la Calle Puñalica 4. Esquina Av. Verdeloma – Calle Quilindaña 5. Miraloma <p>Ensayos de Laboratorio: se utilizó el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.</p>
<p>6. ¿Cómo?</p>	<p>Aplicando los niveles de investigación, se aplicará:</p> <ul style="list-style-type: none"> – La investigación de campo: en la recolección de muestras de suelo y al realizar levantamientos planimétricos de tres estructuras del sector. – La investigación de laboratorio: haciendo uso del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato. – La investigación experimental: evaluando y relacionando los espectros de respuesta de las fallas seleccionadas con el espectro planteado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015.

	– La Investigación bibliográfica: profundizando diferentes enfoques, teorías y criterios en el desarrollo total de la fundamentación teoría.
--	--

Elaboración: Cinthya Sosa

3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El procedimiento a seguir se enfoca en el análisis de peligro sísmico determinista y se detalla a continuación: [\[15\]](#)

- Identificación de todas las posibles fuentes de actividad sísmica en base al área de estudio.
- Selección de las fallas corticales tomando en cuenta fallas más larga y más cercanas al sitio de estudio, y de subducción que afecta al lugar del

proyecto. Para obtener las características de las fallas seleccionadas se hará uso de la información del NeoTec/Ecuador.

- Determinación de la magnitud máxima de las fallas seleccionadas, basado en la metodología de Wells - Coppersmith.
- Identificación del tipo de perfil de suelo mediante el ensayo de penetración estándar SPT, basado en la NEC - SE - DS (2015).
- Aplicación de las ecuaciones de atenuación (GMPE's), empleando la metodología de: Akkar & Bommer (2010), Boore & Atkinson (2008), Kanno (2006), Youngs (1997) y Zhao (2006).
- Estimación de la aceleración máxima de suelo de acuerdo al régimen tectónico, basado en Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo.
- Comparación del espectro específico de respuesta de todos los modelos analizados con el espectro elástico de la NEC - 15.
- Simulación y análisis estático y dinámico del comportamiento de las estructuras ante los espectros de respuesta obtenidos.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

El proceso para recopilar la información necesaria para llevar a cabo el estudio de peligro sísmico, se basará en el detalle de los siguientes aspectos:

- Análisis del régimen tectónico para la ciudad de Ambato
- Selección de fallas geológicas
- Características del suelo
- Valores para la velocidad media
- Magnitud de momento según las fallas seleccionadas
- Procesamiento de datos para las ecuaciones de atenuación corticales y de subducción
- Características de las viviendas sometidas al análisis

4.1.1. Régimen Tectónico

Para reconocer el tipo de falla sísmica que rige a la ciudad de Ambato se ha tomado en cuenta el reconocimiento de la investigación realizado por Quinde y Reinoso, en donde claramente la parte de la sierra y el oriente ecuatoriano se define por fallas de tipo intraplaca para zonas de subducción y de tipo inversas para zonas corticales. [\[16\]](#)

Es importante tener en cuenta que los sismos de tipo intraplaca se producen a profundidades mayores a 100 km según registros de eventos ocurridos en el Ecuador. Es por ello que para las ecuaciones de subducción se utilizará una profundidad focal igual a 125 km. [\[32\]](#)

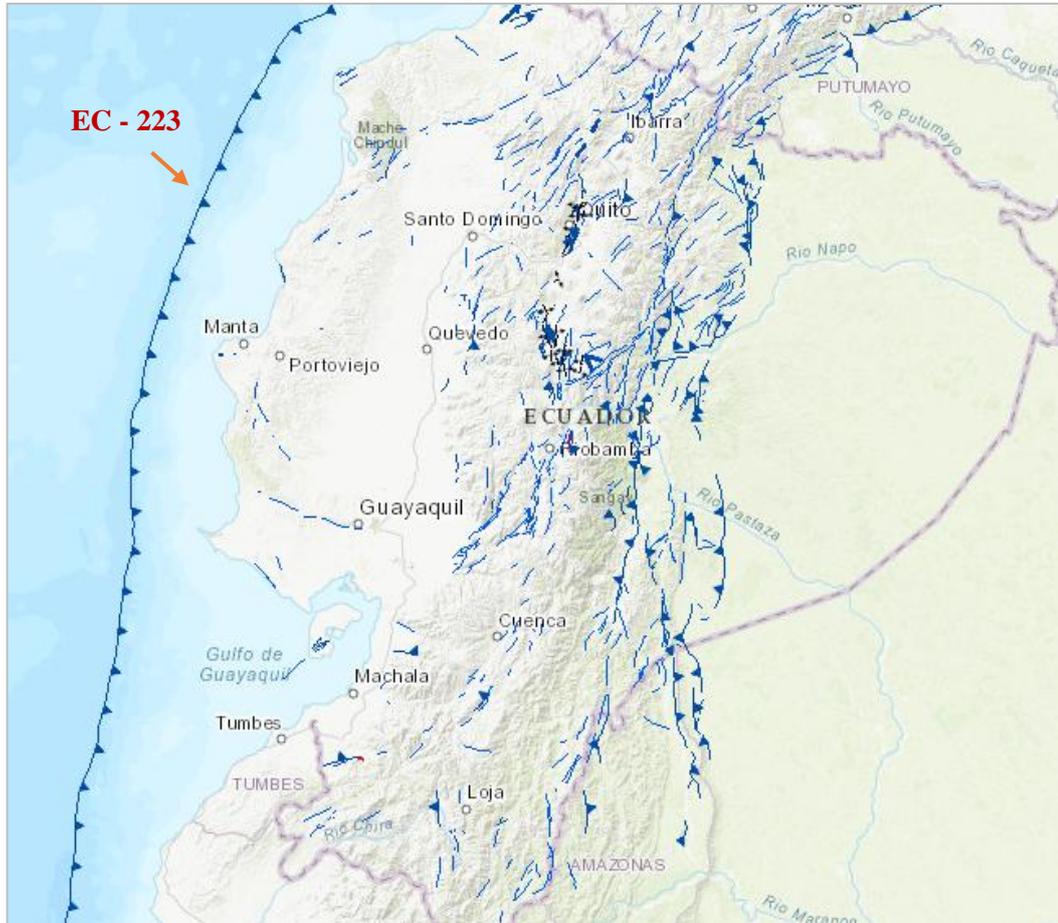
4.1.2. Selección de Fallas Geológicas

El estudio realizado por Egüez, Alvarado, & Yepes en 2003, detalla las fallas activas existentes en nuestro país. Lo que ha permitido la recopilación de información por parte del NeoTec, presentando un mapa unificado de fallas activas de los diferentes ámbitos tectónicos en la zona andina. [\[33\]](#)

El criterio para la selección de las fallas se basa principalmente en la longitud, la cercanía al sitio de estudio y la magnitud potencial de la falla. De esta forma las

fallas seleccionadas para este proyecto resultan cuatro. La falla de subducción, principal fuente generadora de sismos (Figura 8) y cuatro fallas de tipo cortical (Figura 9).

Figura 8. Falla Geológica de Subducción



Fuente: NeoTec – Ecuador [32]

Figura 9. Fallas Geológicas Corticales

Se determinó un punto medio en el área de estudio y se procedió a medir una distancia perpendicular a la proyección de la superficie de la falla (distancia R_{JB}), como se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Distancia perpendicular más cercana a la Falla



Fuente: NeoTec – Ecuador [32]

Una vez seleccionadas las fallas activas que regirán el proyecto de investigación, se identificará sus principales características obtenidas a través de la base de datos del NeoTec, presentadas a continuación en siguiente tabla, en donde se detalla el código, el nombre, el tipo de falla, la longitud de la falla y la distancia R_{JB}

Tabla 17. Fallas Geológicas con la longitud

Código	Nombre	Tipo	Longitud	Distancia
			km	km
EC - 223	Placa de Nazca	Subducción	1540,91	293,60
EC - 344a	Huachi	Inversa ciega	12,08	3,08
EC - 344b	Ambato	Inversa ciega	16,35	2,10
EC - 345	Totoras	Transcurrente inversa ciega	17,50	3,23
EC - 54	Samanga	Inversa ciega	33,00	6,33

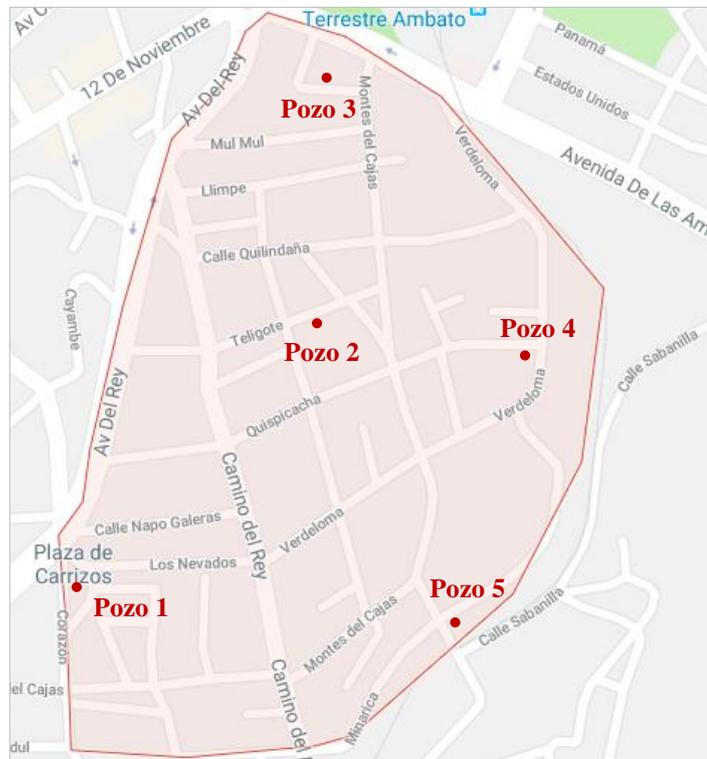
Fuente: NeoTec – Ecuador [32]

4.1.3. Características del suelo

4.1.3.1. Ensayo de Penetración Estándar

Siguiendo el procedimiento detallado en el apartado 2.1.9.1. Ensayo de Penetración Estándar, se realizó cinco exploraciones dentro del sector Juan León Mera, cuya ubicación y coordenadas se detalla en la Tabla 18. Y cuya identificación se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Identificación de pozos para cada ensayo SPT



Elaboración: Cinthya Sosa

Tabla 18. Ubicación y coordenadas de pozos para el ensayo SPT

Pozo	Sitio	Coordenadas UTM	
1	Plaza de Carrizos	9862579,96 m S	764783,75 m E
2	Cancha de Tierra - Teligote	9862864,19 m S	764977,36 m E
3	Terreno en la Calle Puñalica	9863158,07 m S	765076,79 m E
4	Esq. Av. Verdeloma – Calle Quilindaña	9862994,14 m S	765269,60 m E
5	Miraloma	9862534,19 m S	765205,27 m E

Elaboración: Cinthya Sosa

4.1.3.2. Clasificación para el suelo

A cada muestra obtenida del ensayo de penetración estándar se realizará un ensayo granulométrico estableciendo el tipo de suelo de acuerdo a la Tabla 7. Clasificación de suelos (Partículas menores de 7.5 cm).

A continuación, las siguientes tablas reflejan la cantidad de suelo retenido en cada uno de los tamices empleados para este ensayo.

Tabla 19. Clasificación de suelos - Pozo 1

Nivel m	Tamiz	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Pasa
-1,00	#4	8,30	2,72	97,28
	#200	197,70	64,67	35,33
	Fuente	99,70	32,61	
	Total	305,70	100,00	
-2,00	#4	7,60	1,49	98,51
	#200	322	63,22	36,78
	Fuente	179,70	35,28	
	Total	509,30	100,00	
-3,00	#4	2,80	0,73	99,27
	#200	250,30	65,61	34,39
	Fuente	128,40	33,66	
	Total	381,50	100,00	
-4,00	#4	4,10	0,73	99,27
	#200	402,10	71,66	28,34
	Fuente	154,90	27,61	
	Total	561,10	100,00	
-5,00	#4	3,70	0,77	99,23
	#200	330,70	69,11	30,89
	Fuente	144,10	30,11	
	Total	478,50	100,00	

Elaboración: Cinthya Sosa

Según los resultados obtenidos en cada metro se observa que más del 50% de la muestra es retenida en el tamiz N°200, es decir se trata de un suelo grueso, y más del 50% pasa el tamiz N°4, por lo tanto, el tipo de suelo es arena. Por último, se puede observar que se trata de una arena con finos ya que más del 12% en masa pasa la malla N°200.

Tabla 20. Clasificación de suelos - Pozo 2

Nivel m	Tamiz	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Pasa
-1,00	#4	5,30	4,26	95,74
	#200	82,60	66,40	33,60
	Fuente	36,50	29,34	
	Total	124,40	100,00	
-2,00	#4	4,50	1,26	98,74
	#200	238,10	66,62	33,38
	Fuente	114,80	32,12	
	Total	357,40	100,00	
-3,00	#4	4,70	1,13	98,87
	#200	290,50	70,08	29,92
	Fuente	119,30	28,78	
	Total	414,50	100,00	
-4,00	#4	1,70	0,39	99,61
	#200	297,30	67,49	32,51
	Fuente	141,50	32,12	
	Total	440,50	100,00	

Elaboración: Cinthya Sosa

Según los resultados obtenidos en cada metro se observa que más del 50% de la muestra es retenida en el tamiz N°200, es decir se trata de un suelo grueso, y más del 50% pasa el tamiz N°4, por lo tanto, el tipo de suelo es arena. Por último, se puede observar que se trata de una arena con finos ya que más del 12% en masa pasa la malla N°200.

Tabla 21. Clasificación de suelos - Pozo 3

Nivel m	Tamiz	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Pasa
-1,00	#4	0,40	0,38	99,62
	#200	70,50	67,08	32,92
	Fuente	34,20	32,54	
	Total	105,10	100,00	
-2,00	#4	6,00	2,08	97,92
	#200	175,70	60,99	39,01
	Fuente	106,40	36,93	
	Total	288,10	100,00	
-3,00	#4	14,90	4,30	95,70
	#200	198,20	57,23	42,77
	Fuente	133,20	38,46	
	Total	346,30	100,00	
-4,00	#4	32,80	9,65	90,35
	#200	224,00	65,88	34,12
	Fuente	83,20	24,47	
	Total	340,00	100,00	

Elaboración: Cinthya Sosa

Según los resultados obtenidos en cada metro se observa que más del 50% de la muestra es retenida en el tamiz N°200, es decir se trata de un suelo grueso, y más del 50% pasa el tamiz N°4, por lo tanto, el tipo de suelo es arena. Por último, se puede observar que se trata de una arena con finos ya que más del 12% en masa pasa la malla N°200.

Tabla 22. Clasificación de suelos - Pozo 4

Nivel m	Tamiz	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Pasa
-1,00	#4	3,60	4,93	95,07
	#200	49,50	67,81	32,19
	Fuente	19,90	27,26	
	Total	73,00	100,00	
-2,00	#4	42,00	8,83	91,17
	#200	316,70	66,58	33,42
	Fuente	117,00	24,60	
	Total	475,70	100,00	
-3,00	#4	52,10	12,58	87,42
	#200	276,60	66,80	33,20
	Fuente	85,40	20,62	
	Total	414,10	100,00	
-4,00	#4	21,70	4,93	95,07
	#200	292,70	66,48	33,52
	Fuente	125,90	28,59	
	Total	440,30	100,00	

Elaboración: Cinthya Sosa

Según los resultados obtenidos en cada metro se observa que más del 50% de la muestra es retenida en el tamiz N°200, es decir se trata de un suelo grueso, y más del 50% pasa el tamiz N°4, por lo tanto, el tipo de suelo es arena. Por último, se puede observar que se trata de una arena con finos ya que más del 12% en masa pasa la malla N°200.

Tabla 23. Clasificación de suelos - Pozo 5

Nivel	Tamiz	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Pasa
-1,00	#4	1,20	0,51	99,49
	#200	167,20	70,88	29,12
	Fuente	67,50	28,61	
	Total	235,90	100,00	
-2,00	#4	2,80	1,03	98,97
	#200	152,00	55,99	44,01
	Fuente	116,70	42,98	
	Total	271,50	100,00	
-3,00	#4	3,60	1,10	98,90
	#200	206,10	62,97	37,03
	Fuente	117,60	35,93	
	Total	327,30	100,00	

Elaboración: Cinthya Sosa

Según los resultados obtenidos en cada metro se observa que más del 50% de la muestra es retenida en el tamiz N°200, es decir se trata de un suelo grueso, y más del 50% pasa el tamiz N°4, por lo tanto, el tipo de suelo es arena. Por último, se puede observar que se trata de una arena con finos ya que más del 12% en masa pasa la malla N°200.

4.1.3.3. Velocidad media de la onda de corte V_{S30} y el tipo de perfil

Mediante la granulometría realizada se obtiene en todos los pozos una arena con finos. Por lo que, para estimar la velocidad de onda de corte, se ha aplicado la Ecuación 8.1, correspondiente a arena:

$$V_s = 98,69 * N_{SPT}^{0,321} \quad (8.1)$$

A continuación en las siguientes tablas, se muestran registros de N_{SPT} , identificación del tipo de perfil en base a la Tabla 7 y resultados de V_{S30} para cada perforación.

Tabla 24. Valores de la Velocidad media de la onda de corte con su respectivo tipo de perfil - Pozo 1

Profundidad	N_{SPT}	V_{S30}	Tipo de perfil	V_{S30} promedio
m	total	m/s		m/s
0,50	60	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	41	325,07	D	350,81
1,70				
1,85				
2,00				
2,55	48	341,94	D	
2,70				
2,85				
3,00				
3,55	48	341,94	D	
3,70				
3,85				
4,00				
4,55	80	402,87	C	
4,70				
4,85				
5,00				

Elaboración: Cinthya Sosa

Por medio de la Tabla 8. Clasificación de los Perfiles de Suelo especificados por la NEC – SE – DS (2015), se logró identificar que los cuatro primeros metros corresponden a un suelo Tipo D, ya que los valores de V_{S30} se encuentran dentro

del rango ($360 \text{ m/s} > V_{S30} \geq 180 \text{ m/s}$). En el último metro donde el ensayo finalizó, se identifica que se trata de un suelo Tipo C, donde la velocidad de corte se encuentra dentro del rango establecido ($760 \text{ m/s} > V_{S30} \geq 360 \text{ m/s}$). Finalmente de acuerdo al valor V_{S30} promedio, el comportamiento de todo el suelo para el Pozo 1 se establece como perfil Tipo D, describiéndolo como un suelo rígido.

Tabla 25. Valores de la Velocidad media de la onda de corte con su respectivo tipo de perfil - Pozo 2

Profundidad	N_{SPT}	V_{S30}	Tipo de perfil	V_{S30} promedio
m	total	m/s		m/s
0,50	25	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	32	300,21	D	333,22
1,70				
1,85				
2,00				
2,55	53	352,99	D	
2,70				
2,85				
3,00				
3,55	50	346,45	D	
3,70				
3,85				
4,00				

Elaboración: Cinthya Sosa

Por medio de la Tabla 8. Clasificación de los Perfiles de Suelo especificados por la NEC – SE – DS (2015), se logró identificar que en todos los metros se presenta un suelo Tipo D y que los valores de V_{S30} se encuentran dentro del rango ($360 \text{ m/s} > V_{S30} \geq 180 \text{ m/s}$). Es decir, el comportamiento de todo el suelo para el Pozo 2 se establece como perfil Tipo D, describiéndolo como un suelo rígido.

Tabla 26. Valores de la Velocidad media de la onda de corte con su respectivo tipo de perfil - Pozo 3

Profundidad	N_{SPT}	V_{S30}	Tipo de perfil	V_{S30} promedio
m	total	m/s		m/s
0,50	12	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	22	266,19	D	323,38
1,70				
1,85				
2,00				
2,55	40	322,50	D	
2,70				
2,85				
3,00				
3,55	80	402,87	C	
3,70				
3,85				
4,00				

Elaboración: Cinthya Sosa

Por medio de la Tabla 8. Clasificación de los Perfiles de Suelo especificados por la NEC – SE – DS (2015), se logró identificar que los tres primeros metros corresponden a un suelo Tipo D, ya que los valores de V_{S30} se encuentran dentro del rango ($360 \text{ m/s} > V_{S30} \geq 180 \text{ m/s}$). En el último metro donde el ensayo finalizó, se identifica que se trata de un suelo Tipo C, donde la velocidad de corte se encuentra dentro del rango establecido ($760 \text{ m/s} > V_{S30} \geq 360 \text{ m/s}$). Finalmente de acuerdo al valor V_{S30} promedio, el comportamiento de todo el suelo para el Pozo 3 se establece como perfil Tipo D, describiéndolo como un suelo rígido.

Tabla 27. Valores de la Velocidad media de la onda de corte con su respectivo tipo de perfil - Pozo 4

Profundidad	N_{SPT}	V_{S30}	Tipo de perfil	V_{S30} promedio
m	total	m/s		m/s
0,50	8	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	27	284,28	D	315,21
1,70				
1,85				
2,00				
2,55	27	284,28	D	
2,70				
2,85				
3,00				
3,55	80	402,87	C	
3,70				
3,85				
4,00				

Elaboración: Cinthya Sosa

Por medio de la Tabla 8. Clasificación de los Perfiles de Suelo especificados por la NEC – SE – DS (2015), se logró identificar que los tres primeros metros corresponden a un suelo Tipo D, ya que los valores de V_{S30} se encuentran dentro del rango ($360 \text{ m/s} > V_{S30} \geq 180 \text{ m/s}$). En el último metro donde el ensayo finalizó, se identifica que se trata de un suelo Tipo C, donde la velocidad de corte se encuentra dentro del rango establecido ($760 \text{ m/s} > V_{S30} \geq 360 \text{ m/s}$). Finalmente de acuerdo al valor V_{S30} promedio, el comportamiento de todo el suelo para el Pozo 4 se establece como perfil Tipo D, describiéndolo como un suelo rígido.

Tabla 28. Valores de la Velocidad media de la onda de corte con su respectivo tipo de perfil - Pozo 5

Profundidad	N_{SPT}	V_{S30}	Tipo de perfil	V_{S30} promedio
m	total	m/s		m/s
0,50	19	NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN		
0,70				
0,85				
1,00				
1,55	41	325,07	D	359,81
1,70				
1,85				
2,00				
2,55	80	402,87	C	
2,70				
2,85				
3,00				

Elaboración: Cinthya Sosa

Por medio de la Tabla 8. Clasificación de los Perfiles de Suelo especificados por la NEC – SE – DS (2015), se logró identificar que el primer metro a partir del nivel de cimentación es un suelo Tipo D, ya que el valor de V_{S30} se encuentra dentro del rango ($360 \text{ m/s} > V_{S30} \geq 180 \text{ m/s}$). En el último metro donde el ensayo finalizó, se identifica que se trata de un suelo Tipo C, el mismo que se encuentra dentro del rango de la velocidad de corte ($760 \text{ m/s} > V_{S30} \geq 360 \text{ m/s}$). Finalmente de acuerdo al valor V_{S30} promedio, el comportamiento de todo el suelo para el Pozo 5 se establece como perfil Tipo D, describiéndolo como un suelo rígido.

De manera resumida se presenta en la Tabla 28 los valores de V_{S30} promedio de cada perforación, y posteriormente un resultado final de la velocidad de onda de corte igual a 336,49 m/s para el sector Juan León Mera de la ciudad de Ambato. Estableciendo el comportamiento del suelo para el sector como perfil Tipo D, definiéndolo como un suelo rígido según la NEC – SE – DS (2015).

Tabla 29. Resumen de los valores de velocidad de onda de corte (V_{S30}) promedio

Pozo	V_{S30} promedio	V_{S30} total
	m/s	m/s
1	350,81	336,49
2	333,22	
3	323,38	
4	315,21	
5	359,81	

Elaboración: Cinthya Sosa

4.1.4. Magnitud de momento según las fallas

De acuerdo a la ecuación de Wells y Coppersmith para el cálculo de la magnitud de momento M_w , se utilizará la Ecuación 2. Esta igualdad requiere la longitud de rotura de la falla, parámetro que ha sido establecido en la Tabla 17. Con estos valores se procederá a realizar el cálculo correspondiente de la magnitud de momento para cada una de las fallas seleccionadas.

- Placa de Nazca

$$M_w = 5 + 1,22 * \log(1536,5)$$

$$M_w = 8,9$$

- Huachi

$$M_w = 5 + 1,22 * \log(12,0)$$

$$M_w = 6,3$$

- Ambato

$$M_w = 5 + 1,22 * \log(16,3)$$

$$M_w = 6,5$$

- Totoras

$$M_w = 5 + 1,22 * \log(17,7)$$

$$M_w = 6,5$$

– Samanga

$$M_w = 5 + 1.22 * \log(33,0)$$

$$M_w = 6,9$$

En la Tabla 30, se ha elaborado un cuadro resumen de las magnitudes de momento para cada falla

Tabla 30. Magnitudes de momento para cada Falla

Tipo de Falla	M_w
Placa de Nazca	8,9
Huachi	6,3
Ambato	6,5
Totoras	6,5
Samanga	6,9

Elaboración: Cinthya Sosa

4.1.5. Procesamiento de datos para las ecuaciones de atenuación

Los modelos de atenuación empleados para sismos corticales y sismos de subducción interplaca o intraplaca fueron descritos de manera general en el acápite 2.1.8. A continuación en función al reconocimiento de las características propias del emplazamiento se detalla los términos que regirán a cada modelo.

El proceso consiste en combinar los coeficientes de amplificación espectral presentes en las metodologías (valores disponibles en los anexos), procesar los datos aplicando las ecuaciones correspondientes y obtener los resultados de aceleraciones para diferentes períodos de tiempo.

Es importante recalcar que para encontrar la aceleración espectral se empleará cada uno de los valores identificados a cada falla. En todas las metodologías presentadas los parámetros independientes son: la magnitud de momento en

función a la falla (Tabla 30), la distancia fuente-sitio en función a la falla (Tabla 17) y la velocidad de onda de corte (Tabla 29) único valor para el sector.

4.1.5.1. Ecuación de atenuación de Boore & Atkinson para sismo cortical

Se detalla a continuación los valores y parámetros empleados para construir el espectro de respuesta según esta metodología.

$$\ln y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \varepsilon \quad (3)$$

– Escalamiento de la magnitud F_M

Para el primer término de la Ecuación 3 se requiere comparar los valores de M la magnitud de momento dependiente del tipo de falla (Tabla 30) y M_h valor en función del período (ANEXO B - 1), de acuerdo a esta relación se utilizará la ecuación 3.1 o 3.2 según la condición cumplida.

Una vez establecida la ecuación a emplearse se usarán los coeficientes de $e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7$ (ANEXO B - 1). Para los valores de U, SS, NS y RS por tratarse de fallas tipo inversas los valores serán 0 para los tres primeros términos y 1 para el último, valores detallados en la Tabla 2.

– Función de la distancia F_D

Para el cálculo de este parámetro se emplea la Ecuación 3.3, en donde la igualdad requiere valores constantes, definidos a continuación:

Tabla 31. Valores constantes para el cálculo de la función de la distancia F_D

Parámetro	Valor
M_{ref}	4,5
R_{ref}	1 km

Elaboración: Cinthya Sosa

Además, la función de la distancia también se encuentra definida por R y para su cálculo se empleará la Ecuación 3.4, la cual se encuentra definida por la distancia fuente – sitio (Tabla 17) y por el coeficiente h (ANEXO B - 2).

– **Amplificación de sitio F_S**

Para este parámetro se emplea la Ecuación 3.5, la misma que está compuesta por dos términos uno lineal y otro no lineal.

a. Término lineal

Se calculará con la Ecuación 3.6 en donde b_{lin} es un coeficiente en función del período (ANEXO B - 3) y $V_{ref} = 760$ m/s

b. Término no lineal

Se fundamenta en la comparación de valores entre a_1, a_2 y pga_{4nl} . Los valores fijos para a_1 y a_2 se presentan en la Tabla 32. Los valores de pga_{4nl} se determinarán mediante la suma entre la función de la distancia F_D y el escalamiento de la magnitud F_M . Pero F_D se calculará con $R_{ref} = 5$ km.

Una vez establecidos los valores para pga_{4nl} , se verificará cuál de las tres condiciones se cumple para posteriormente utilizar la Ecuaciones 3.7, 3.8 o 3.9, según corresponda. Estas ecuaciones requieren parámetros fijos establecidos para V_1 y V_2 (Tabla 34) y coeficientes como: b_1 y b_2 (ANEXO B - 3).

Tabla 32. Coeficientes para la amplificación de sitio

Parámetro	Valor
a_1	0,03 g
a_2	0,09 g
pga_{low}	0,06 g
V_1	180 m/s
V_2	300 m/s

Elaboración: Cinthya Sosa

Los valores para cada falla empleados en este modelo se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 33. Valores empleados en el modelo de Boore & Atkinson

FALLA	Mw	R _{JB} (km)	Vs (m/s)	TIPO DE FALLA: Inversa		PARÁMETROS			
				U	0	a ₁	0,03	V ₂	300
Huachi	6,3	3,08	336,49	SS	0	a ₂	0,09	V _{ref}	760
Ambato	6,5	2,10		NS	0	pga _{low}	0,06	M _{ref}	4,5
Totoras	6,5	3,23		RS	1	V ₁	180	R _{ref}	1,0
Samanga	6,9	6,33							

Elaboración: Cinthya Sosa

4.1.5.2. Ecuación de atenuación de Akkar & Boomer para sismo cortical

Se detalla a continuación los valores y parámetros empleados para construir el espectro de respuesta según esta metodología.

$$\text{Log } y = b_1 + b_2 M + b_3 M^2 + (b_4 + b_5 M) \log \sqrt{R_{JB}^2 + b_6^2} + b_7 S_S + b_8 S_A + b_9 F_N + b_{10} F_R + \epsilon_\sigma \quad (4)$$

La ecuación utilizada para el cálculo de la aceleración pseudoespectral es la Ecuación 4, la misma que requiere coeficientes de predicción ($b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9$ y b_{10}) disponibles en el ANEXO C - 1.

En cuanto a los coeficientes que definen al suelo se utilizará para $S_S = 1$ y $S_A = 1$, debido a que en el sitio de análisis tenemos un suelo tipo blando y la velocidad de corte V_{S30} es menor a 360 m/s. Estos coeficientes se encuentran detallados en la Tabla 3.

Finalmente, para identificar los valores para los coeficientes que puntualizan al mecanismo de falla, se usará para $F_N = 1$ y $F_R = 1$, por tratarse de fallas tipo inversa. Estos valores se encuentran especificados en la Tabla 4.

Los valores para cada falla empleados en este modelo se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 34. Valores empleados en el modelo de Akkar & Boomer

FALLA	M_w	R_{JB} (km)	V_s (m/s)
Huachi	6,3	3,08	336,49
Ambato	6,5	2,10	
Totoras	6,5	3,23	
Samanga	6,9	6,33	
TIPO DE FALLA: Inversa			
F_N	0	F_R	1
TIPO DE SUELO			
Si $V_{S30} < 360$ m/s		Suelo Suave	
S_S	1	S_A	0

Elaboración: Cinthya Sosa

4.1.5.3. Ecuación de atenuación de Kanno para sismo cortical

Esta metodología parte del reconocimiento de la profundidad focal. Como se ha mencionado anteriormente en la explicación del modelo, se establece que las fuentes sismogénicas de tipo cortical tienen profundidades superficiales menores a 30 m. Por ello, en base a este criterio la fórmula a emplearse será la Ecuación 5.a.

Si $D \leq 30$ Km:

$$\text{Log pre} = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 * 10^{e_1 M_w}) + C_1 + \epsilon_1 \quad (5.a)$$

La profundidad focal determina los coeficientes de regresión que serán sustituidos. Para lo cual a_1, b_1, d_1, C_1 son detallados en el ANEXO D - 1.

Finamente se tomará en cuenta la correlación adicional (Ecuación 5.1) correspondiente a efectos de sitio, donde p y q son coeficientes de regresión mostrados en el Anexo D - 1.

Los valores para cada falla empleados en este modelo se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 35. Valores empleados en el modelo de Kanno

FALLA	Mw	R_{JB} (km)	Vs (m/s)
Huachi	6,3	3,08	336,49
Ambato	6,5	2,1	
Totoras	6,5	3,23	
Samanga	6,9	6,33	
TIPO DE EVENTO		Superficial	
PROFUNDIDAD		30	km

Elaboración: Cinthya Sosa

4.1.5.4. Ecuación de atenuación de Youngs para sismo de subducción

La ecuación de atenuación para ordenadas espectrales a emplearse para este modelo es la Ecuación 6. El registro de eventos sísmicos de subducción entre la placa de Nazca y la Sudamericana suscitados a lo largo del tiempo en el país revelan profundidades focales entre 50 km a 200 km, es decir se tiene fuente de subducción tipo intraplaca y el valor a utilizar será el promedio de la profundidad focal igual a 125 km. [34]

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

(6)

Además, para el cálculo de la forma espectral se usará coeficientes C_1 , C_2 y C_3 , los cuales se encuentran en el ANEXO E – 1. Finalmente la condición para el tipo de falla será $Z_t = 1$, definido por el mecanismo focal de tipo intraplaca.

Los valores para cada falla empleados en este modelo se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 36. Valores empleados en el modelo de Youngs

FALLA	M_w	R_{JB} (km)
Placa de Nazca	8,9	293,6
PROFUNDIDAD FOCAL		
H	125	km
TIPO DE FALLA: Intraplaca		
Z_t	1	

Elaboración: Cinthya Sosa

4.1.5.5. Ecuación de atenuación de Zhao para sismo de subducción

Las condiciones detalladas a continuación serán aplicadas en la Ecuación 7.

$$\mathbf{Log\ y = aM_w + bx - log(r) + e(h - hc)\delta h + FR + S_l + S_s + SSL * log(x) + C_k} \quad (7)$$

Los parámetros para esta metodología se basan en el criterio de selección del tipo suelo característico del sitio y parte del reconocimiento del rango en el que se encontrará la velocidad de onda de corte, para ello tomaremos en cuenta la clasificación de la Tabla 5. En este caso $V_{S30} = 336,49$ m/s, por lo tanto corresponde a la clase de sitio SC II = C_2 , describiéndolo como suelo duro. A partir de estas condiciones se define los valores para C_k , indicados en el ANEXO F - 1.

Los coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria a, b, c, d, e, se puede encontrar en el ANEXO F – 2. El término FR tendrá un valor igual a cero, ya que

solo se aplica para eventos corticales, en este caso el análisis se encuentra establecido para eventos de subducción. Los valores para S_1 y S_s son indicados en el ANEXO F – 2 y $S_{LL} = 0$ ya que solo se aplica para eventos intraplaca.

En cuanto al término δh será igual a 0, debido a que la profundidad focal seleccionada de 125 km es mayor que la profundidad constante de 15 Km.

Los valores para cada falla empleados en este modelo se presentan en la siguiente tabla, en función al tipo de suelo se seleccionará el valor de los coeficientes para el cálculo del espectro.

Tabla 37. Valores empleados en el modelo de Zhao

FALLA	M_w	R_{JB} (km)
Placa de Nazca	8,9	293,6
PROFUNDIDAD FOCAL		
h	125	km
CONSTANTE DE PROFUNDIDAD		
h_c	0	km
Si $h > h_c$	δh	1
Si $300 < VS_{30} = 600$		
TIPO DE SUELO	SCII	

Elaboración: Cinthya Sosa

Es importante mencionar que se identifica en todos los modelos de atenuación un parámetro en común que es la desviación estándar. Se ha comprobado que este término tiene un rango muy amplio en respuestas espectrales de aceleración, es por ello que en el campo ingenieril no es tomado en cuenta y para el presente estudio se ha trabajado con valores medios sin considerar esta incertidumbre.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de los valores empleados en cada metodología (parámetros y su respectiva ecuación), para el análisis de cada modelo presentado en esta investigación.

Tabla 38. Resumen de parámetros empleados en los modelos de atenuación

Tipo	Modelo	Parámetros	Ecuación
EVENTOS CORTICALES	Boore & Atkinson (2008)	Escalamiento de la magnitud F_M M (Tabla 30) M_h (ANEXO B - 1) e_1, \dots, e_7 (ANEXO B - 1) $U, SS, NS = 0$ (Tabla 2) $RS = 1$ (Tabla 2)	3.1 o 3.2 según la condición entre M y M_h
		Función de la distancia F_D $M_{ref} = 4,5 g$ $R_{ref} = 1 km$	3.3
		R R_{JB} (Tabla 17) h (ANEXO B - 2)	Para R Ecuación 3.4
		Amplificación de sitio F_S	3.5
		Término lineal b_{lin} (ANEXO B - 3) $V_{ref} = 760 m/s$	3.6
		Término no lineal a_1, a_2 (Tabla 31) $pga_{4nl} = F_D + F_M$ Dónde: F_D se calculará con $R_{ref} = 5 km$. V_1 y V_2 (Tabla 32) b_1 y b_2 (ANEXO B - 3)	3.7, 3.8 o 3.9
	Akkar & Bommer (2010)	b_1, \dots, b_{10} (ANEXO C - 1) $S_S = 1$ y $S_A = 1$ (Tabla 3) $F_N = 1$ y $F_R = 1$ (Tabla 4)	4
	Kanno et al. (2006)	a_1, b_1, d_1, C_1 (ANEXO D - 1) p y q (ANEXO D - 1)	5.a 5.1
EVENTOS DE SUBDUCCIÓN	Youngs (1997)	$h = 125 Km$ C_1, C_2 y C_3 (ANEXO E - 1) $Z_t = 1$	6
	Zhao (2006)	$SC II = C_2$ (Tabla 5) C_k (ANEXO F - 1) a, b, c, d, e , (ANEXO F - 2) $FR = 0$ S_I y S_s (ANEXO F - 2) $SLL = 0$	7

		$\delta h = 1$ $h_c = 15 \text{ km}$	
--	--	---	--

Elaboración: Cinthya Sosa

4.1.6. Estructuras tipo para el análisis espectral

El análisis espectral se llevará a cabo a tres edificaciones de hormigón armado de 2, 3 y 4 pisos. La información requerida para el proceso se detalla a continuación:

4.1.6.1. Características estructurales de las edificaciones

En la siguiente Tabla, se indica las dimensiones de los elementos estructurales de cada una de las edificaciones seleccionadas para el análisis.

Tabla 39. Secciones de elementos estructurales de cada edificación

Número de Pisos	Columnas	Vigas	Losa	Altura
	cm	cm	cm (espesor)	m
2	35x30	25x30	20	5,60
3	35X35	25x30	20	8,04
4	35x35	25x30	20	9,60

Elaboración: Cinthya Sosa

4.1.6.2. Cuantificación de cargas

a) Carga viva

De acuerdo con la ocupación y el uso de las viviendas se emplea los valores detallados a continuación, de acuerdo a la NEC - SE - CG Tabla 9. Sobrecargas mínimas. [\[35\]](#)

CV = 200 kg/m² (Para viviendas multifamiliares)

CV = 480 kg/m² (Terraza)

CV = 100 kg/m² (Áreas de almacenamiento)

CV = 100 kg/m² (Tapagradas)

b) Carga muerta de pared

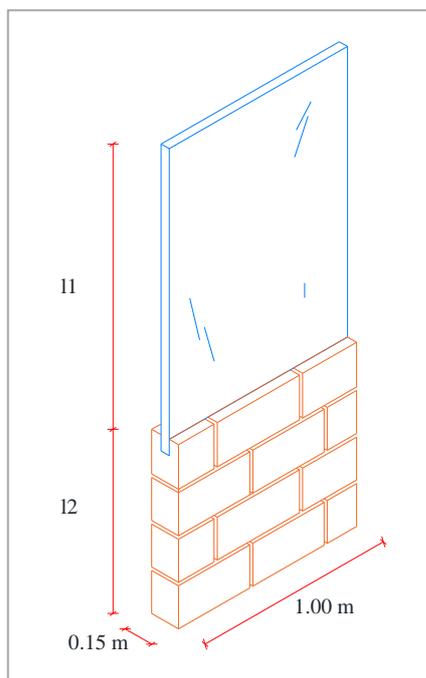
Para estimar el peso que tiene los elementos no estructurales en las edificaciones se procede a emplear la siguiente ecuación en donde influye directamente las dimensiones y el peso específico del elemento analizado.

$$\text{CMP} = \text{Altura} * \text{Espesor} * \text{Longitud} * \text{P.Específico}$$

Los tipos de paredes que encontramos en las edificaciones empleadas para el análisis son las siguientes:

– Tipo I

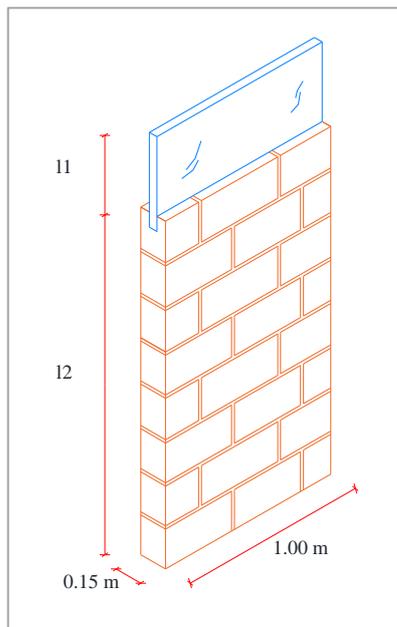
Figura 12. Pared Tipo I



Elaboración: Cinthya Sosa

– **Tipo II**

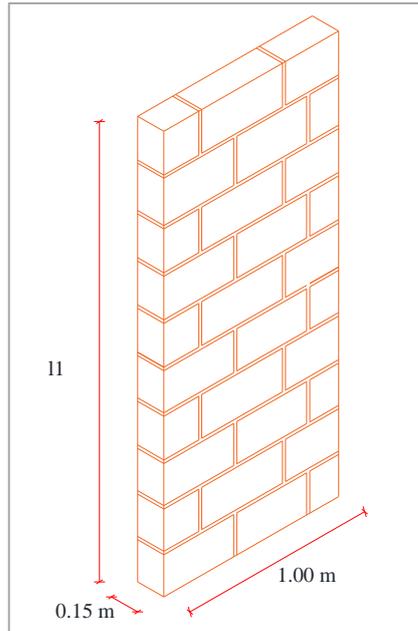
Figura 13. Pared Tipo II



Elaboración: Cinthya Sosa

– **Tipo III**

Figura 14. Pared Tipo IV



Elaboración: Cinthya Sosa

En la siguiente Tabla se presenta los valores de carga muerta de paredes necesaria para modelación de las estructuras en el programa ETABS 2016 V16.

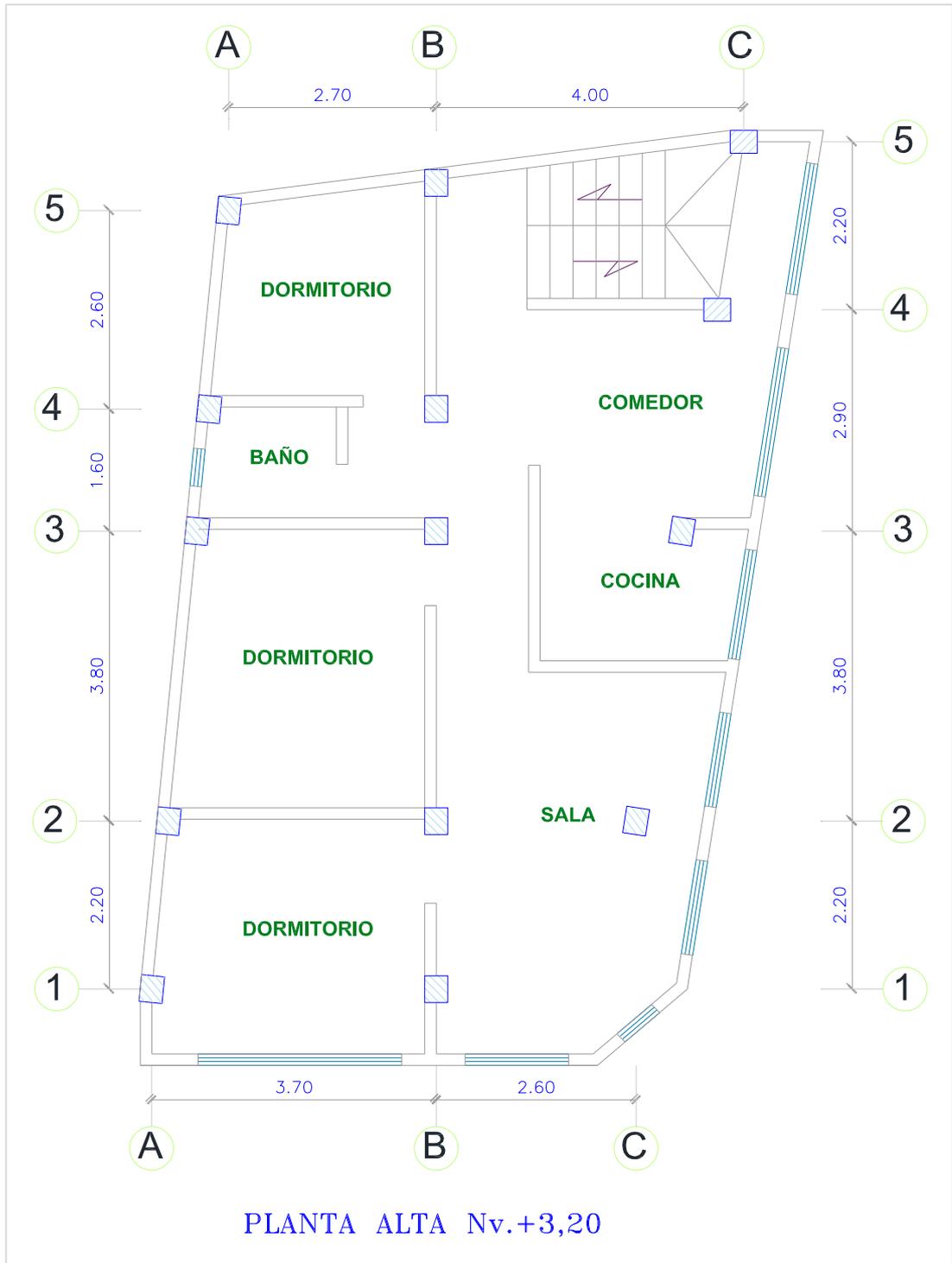
Tabla 40. Valores de carga muerta de pared

Número de pisos	Pared Tipo (kg/m)		
	Tipo I	Tipo II	Tipo III
2	309,84	422,04	624,00
3	266,21	268,56	240,00
4	203,76	485,76	576,00

4.1.6.3. Vista en planta de las estructuras tipo

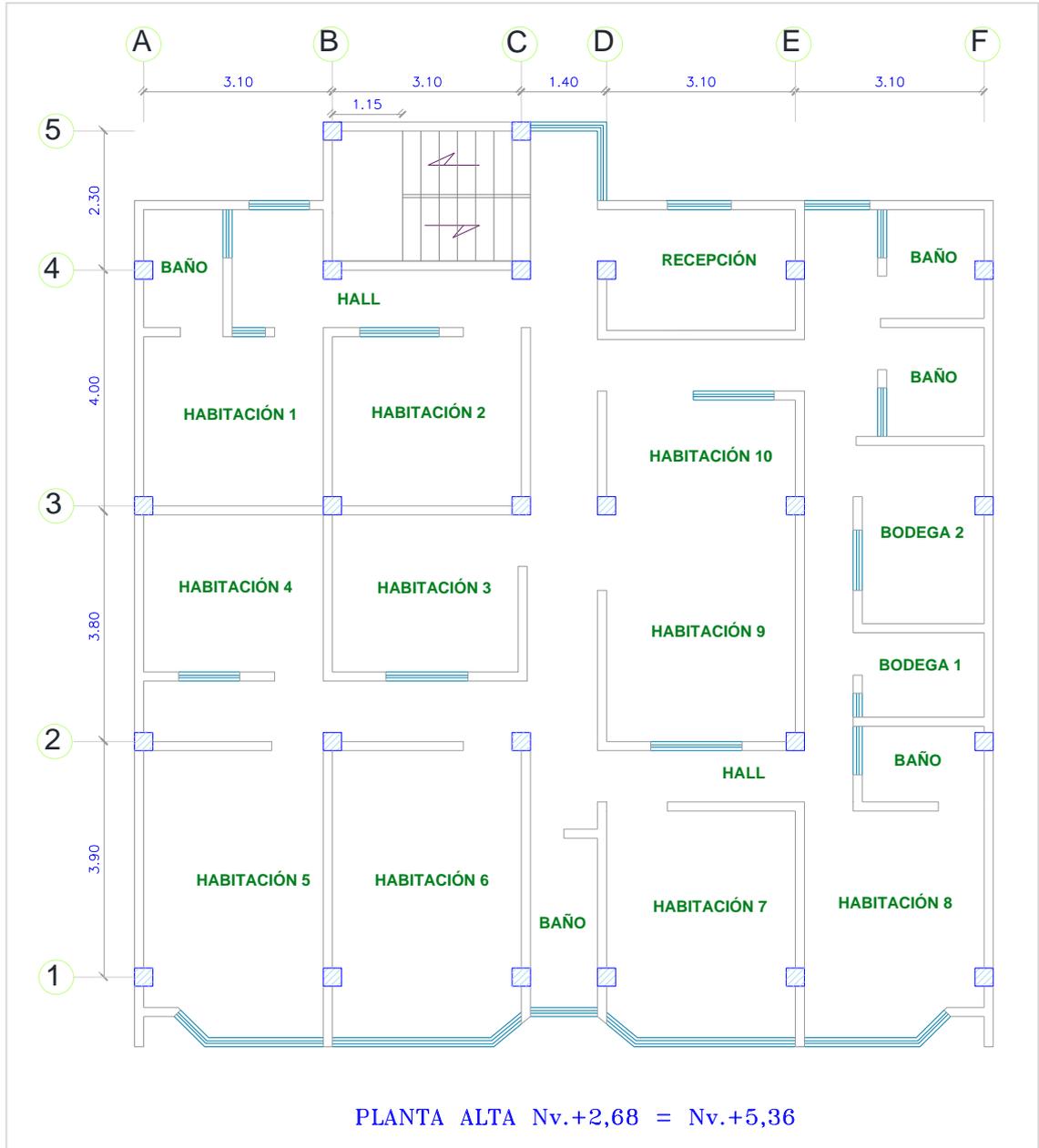
Se presenta a continuación, un esquema general de la distribución de ambientes de cada vivienda de 2,3 y 4 pisos respectivamente.

Figura 15. Vista en planta de la Estructura de 2 pisos



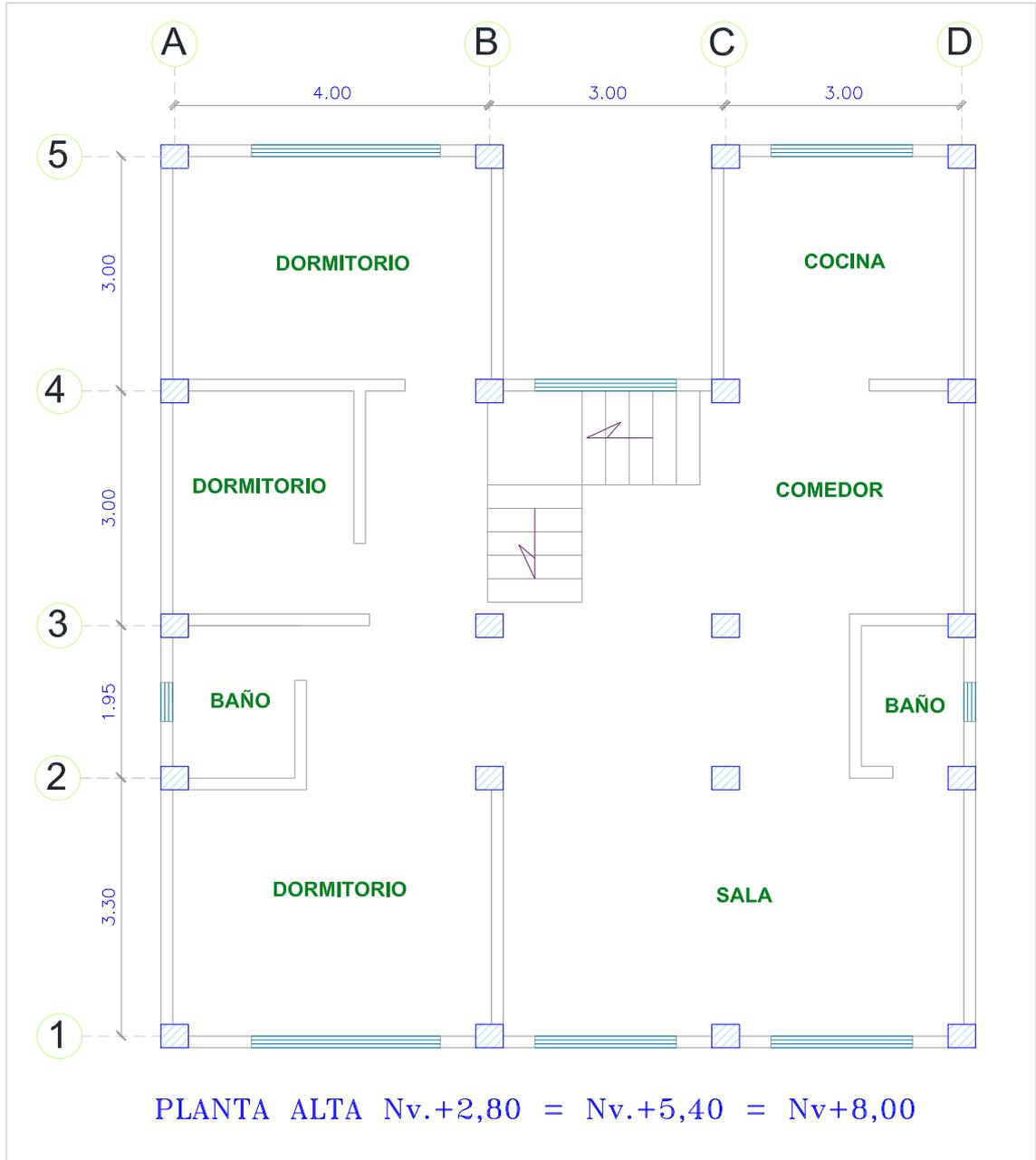
Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 16. Vista en planta de la Estructura de 3 pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 17. Vista en planta de la Estructura de 4 pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

4.1.6.4. Comportamiento estructural de las edificaciones

Para el análisis del comportamiento estructural de tres estructuras representativas del sitio de estudio se empleó el programa ETABS 2016 V16, ingresando la información necesaria. Los modelos de las estructuras de 2, 3 y 4 pisos son presentados en el ANEXO H, de la presente investigación.

a) Reducción de los espectros elásticos

Empleando la Ecuación 14, se procede a reducir el espectro NEC - 2015 y el espectro específico.

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

Los valores presentados en la Tabla 41, se obtuvieron de criterios establecidos por la NEC - SE - DS 2015.

Tabla 41. Factores para la reducción de los espectros elásticos

Estructuras Tipo	R	I	ϕ_P	ϕ_E
2 Pisos	8	1	0,9	0,9
3 Pisos	8	1	0,9	1
4 Pisos	8	1	0,9	0,9

Elaboración: Cinthya Sosa

b) Cálculo del Período de Vibración Fundamental

Los valores de **C_t** y α se obtienen de la siguiente tabla para pórticos especiales de hormigón armado.

Tabla 42. Valores de C_t y α para el cálculo del período fundamental de vibración

Pórticos especiales de hormigón armado

Tipo de estructura	Ct	α
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0,055	0,9

Fuente: Peligro Sísmico. NEC - SE - DS 2015

– **Cálculo de T para estructuras de 2 pisos**

$$T = 0,055 * 5,60^{0,9} = 0,259 \text{ seg}$$

– **Cálculo de T para estructuras de 3 pisos**

$$T = 0,055 * 8,04^{0,9} = 0,359 \text{ seg}$$

– **Cálculo de T para estructuras de 4 pisos**

$$T = 0,055 * 9,6^{0,9} = 0,421 \text{ seg}$$

c) Cálculo del Período Límite de Vibración

Para este parámetro se emplea las Ecuaciones 9.1 y 9.2, mencionadas en el capítulo 2. Las expresiones son:

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

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

Los valores de F_a , F_d y F_s , son tomados de las Tablas 10, 11 y 12 respectivamente en función al tipo de suelo y a la zona sísmica analizada.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de estos parámetros.

Tabla 43. Valores para F_a , F_d y F_s del perfil Tipo D

Zona Sísmica	V
Z	0,40
F_a	1,20
F_d	1,19
F_s	1,28

Fuente: Peligro Sísmico. NEC - SE - DS 2015

– **Cálculo de T_0**

$$T_0 = 0,1 * 1,28 * \frac{1,19}{1,20}$$

$$T_0 = 0,1269 \text{ seg}$$

– **Cálculo de T_c**

$$T_c = 0,55 * 1,28 * \frac{1,19}{1,20}$$

$$T_c = 0,6981 \text{ seg}$$

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.2.1. Cálculo de Espectros

El presente estudio se enfoca en la evaluación del peligro sísmico para el sector Juan León Mera en la ciudad de Ambato mediante la aplicación de cada método detallado en los apartados anteriores.

Para cada metodología empleada Boore & Atkinson (2008), Akkar & Bommer (2010), Kanno (2006) para modelos corticales y Youngs (1997) y Zhao (2006) para modelos de subducción se presenta su respectivo espectro de respuesta en aceleración y su análisis asociado con el sistema de las cuatro fallas seleccionadas: Falla Huachi, Falla Ambato, Falla Totoras y Falla Samanga

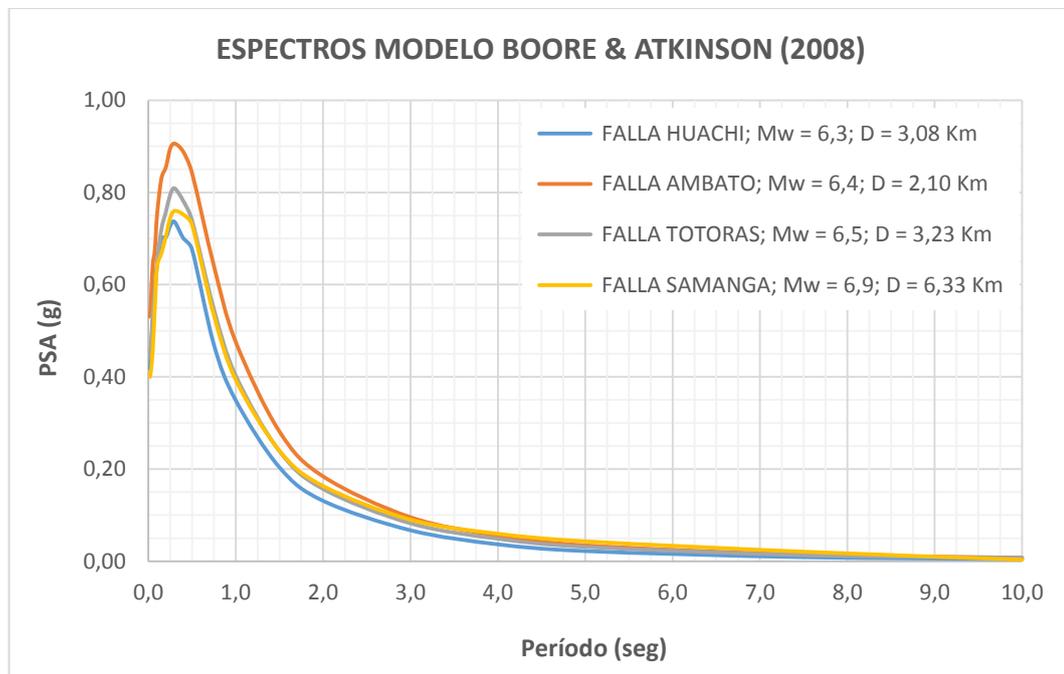
influyentes en la zona de emplazamiento. Así mismo, para cada falla se presenta un espectro de respuesta con las metodologías anteriormente mencionadas. Además, es importante mencionar que se realizó la obtención de cada espectro tomando un valor de $V_{S30} = 336,49$ m/s para todos los casos (Tabla 29. Resumen de los valores de velocidad de onda de corte (V_{S30}) promedio)

Finalmente, se presenta el espectro específico de aceleraciones obtenido de los valores máximos del conjunto de modelos anteriores, comparado con el espectro calculado según la NEC-15, y su respectivo análisis para el área de estudio.

4.2.1.1. Espectros calculados: ecuación de Boore & Atkinson

El siguiente gráfico representa espectros obtenido mediante el modelo de Boore & Atkinson (2008) para cada una de las fallas cortical seleccionadas.

Figura 18. Espectros de aceleración modelo Boore & Atkinson (2008)



Elaboración: Cinthya Sosa

La Figura 19, representa las cuatro fallas corticales: Huachi, Ambato, Totoras y Samanga. Los valores máximos de aceleración son de 0.74g, 0.91g, 0.81g y 0.76g

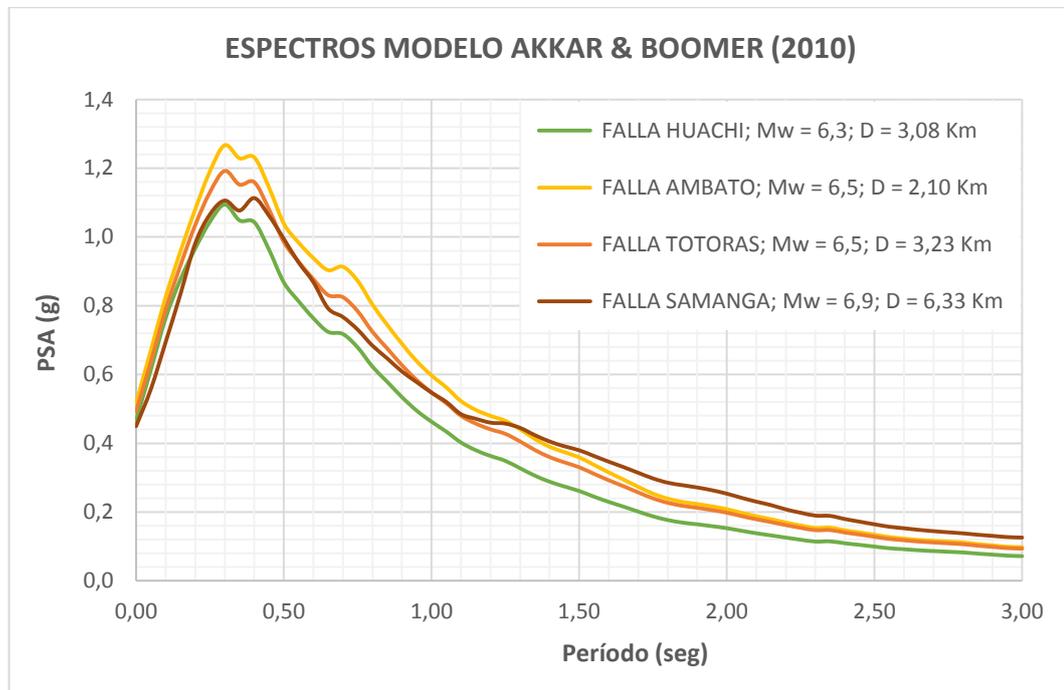
respectivamente, los cuales son alcanzados a los 0,30 seg. Además, se puede concluir que la curva envolvente en aceleración corresponde a la Falla Ambato debido a la relación que existe con la distancia al sitio, es decir mientras menor sea la distancia al sitio de falla la aceleración aumentará.

A continuación, en las siguientes figuras con la aplicación de diferentes ecuaciones de atenuación se observa cómo las aceleraciones van variando considerablemente de acuerdo a la longitud, magnitud de momento y distancia para cada una de las fallas seleccionadas.

4.2.1.2. Espectros calculados: ecuación de Akkar & Bommer

El siguiente gráfico representa espectros obtenido mediante el modelo de Akkar & Bommer (2010) para cada una de las fallas cortical seleccionadas.

Figura 19. Espectros de aceleración modelo Akkar & Bommer (2010)



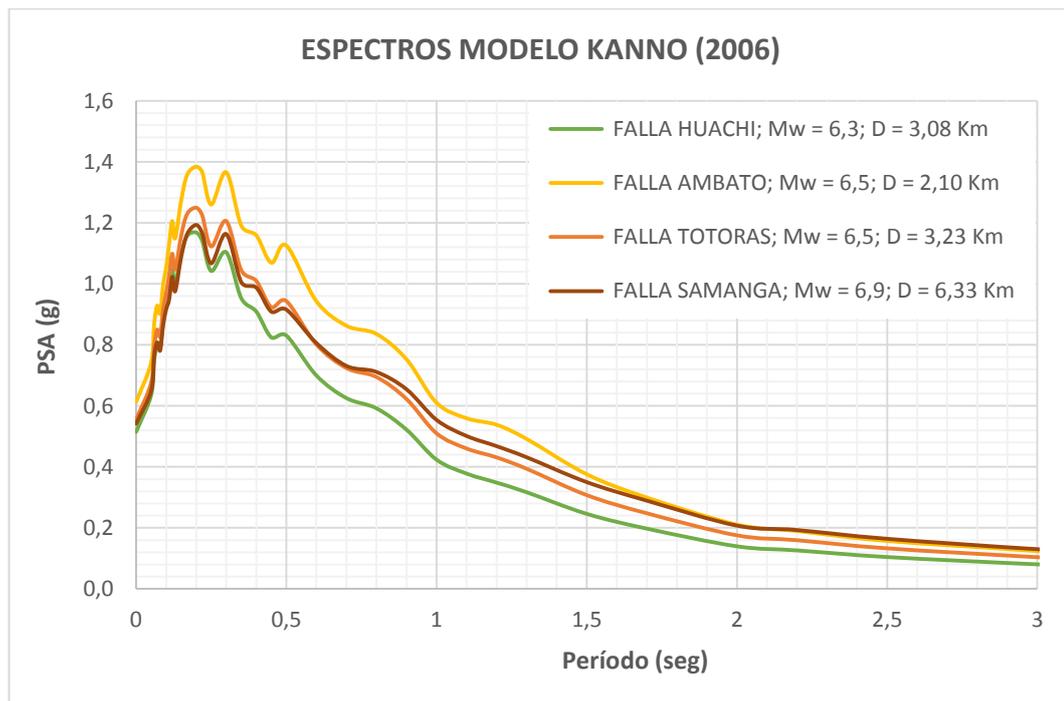
Elaboración: Cinthya Sosa

La Figura 20, representa las cuatro fallas corticales: Huachi, Ambato, Totoras y Samanga. Los valores máximos de aceleración son de 1.09g, 1.27g, 1.19g y 1.11g respectivamente, los cuales son alcanzados a los 0,30 seg. Además, se observa que la curva envolvente en aceleración, corresponde a la Falla Ambato hasta los 1,30 seg debido a la relación que existe con la distancia al sitio, es decir mientras menor sea la distancia al sitio de falla la aceleración aumentará.

4.2.1.3. Espectros calculados: ecuación de Kanno

El siguiente gráfico representa espectros obtenido mediante el modelo de Kanno (2006) para cada una de las fallas cortical seleccionadas.

Figura 20. Espectros de aceleración modelo Kanno (2006)



Elaboración: Cinthya Sosa

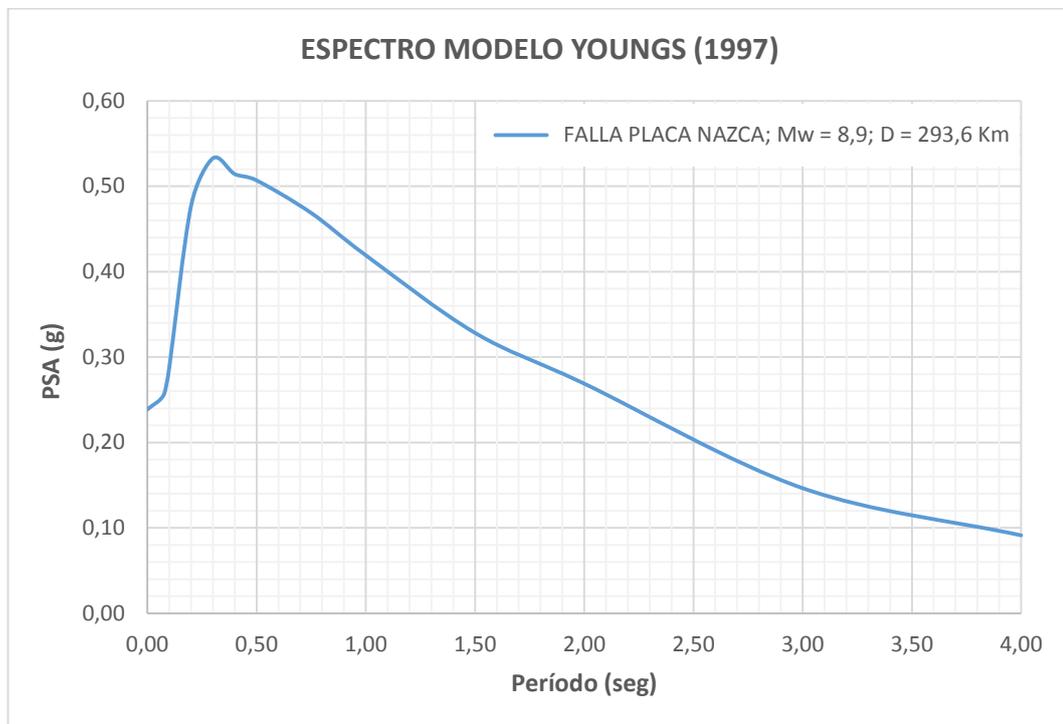
La Figura 21, representa las cuatro fallas corticales: Huachi, Ambato, Totoras y Samanga. Los valores máximos de aceleración son de 1.17g, 1.38g, 1.25g y 1.19g respectivamente, los cuales son alcanzados a los 0,20 seg. Además, se puede concluir que la curva envolvente en aceleración corresponde a la Falla Ambato

debido a la relación que existe con la distancia al sitio, es decir mientras menor sea la distancia al sitio de falla la aceleración aumentará.

4.2.1.4. Espectro calculado: ecuación de Youngs

El siguiente gráfico representa el espectro obtenido mediante el modelo de Youngs (1997) para la falla de subducción que influye al territorio.

Figura 21. Espectro de aceleración modelo Youngs (1997)



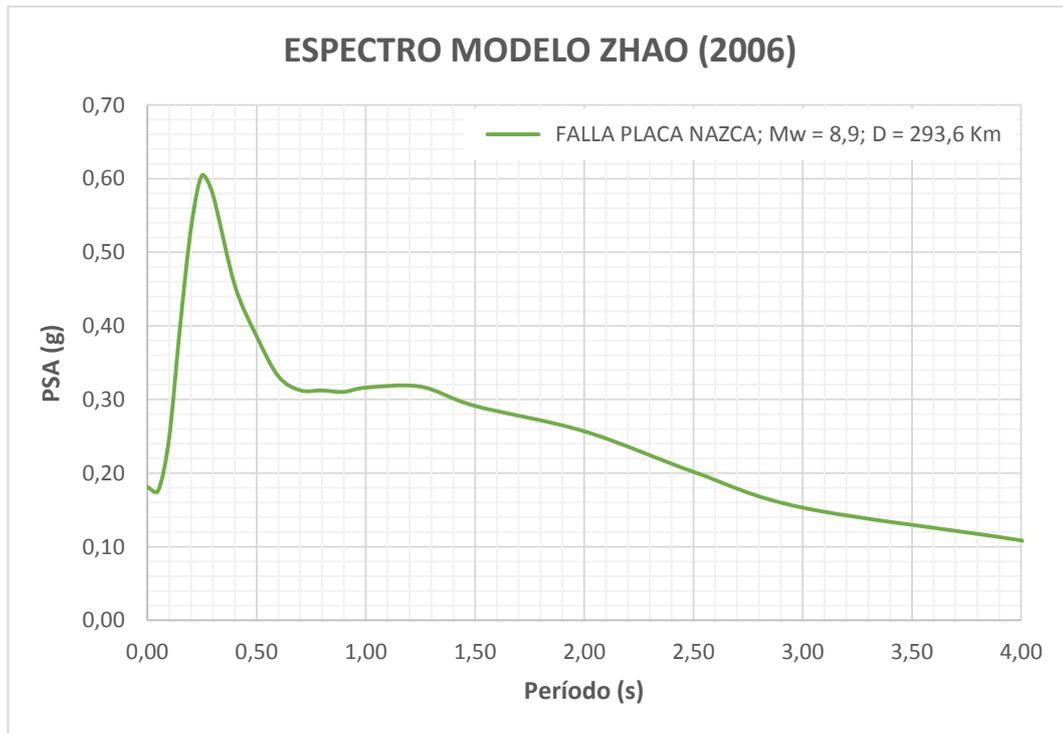
Elaboración: Cinthya Sosa

La Figura 22, representa el espectro de respuesta en aceleración correspondiente a la falla de subducción, el máximo valor para la aceleración es de 0,53g a los 0,30 seg.

4.2.1.5. Espectro calculado: ecuación de Zhao

El siguiente gráfico representa el espectro obtenido mediante el modelo de Zhao (2006) para la falla de subducción que influye al territorio.

Figura 22. Espectro de aceleración modelo Zhao (2006)



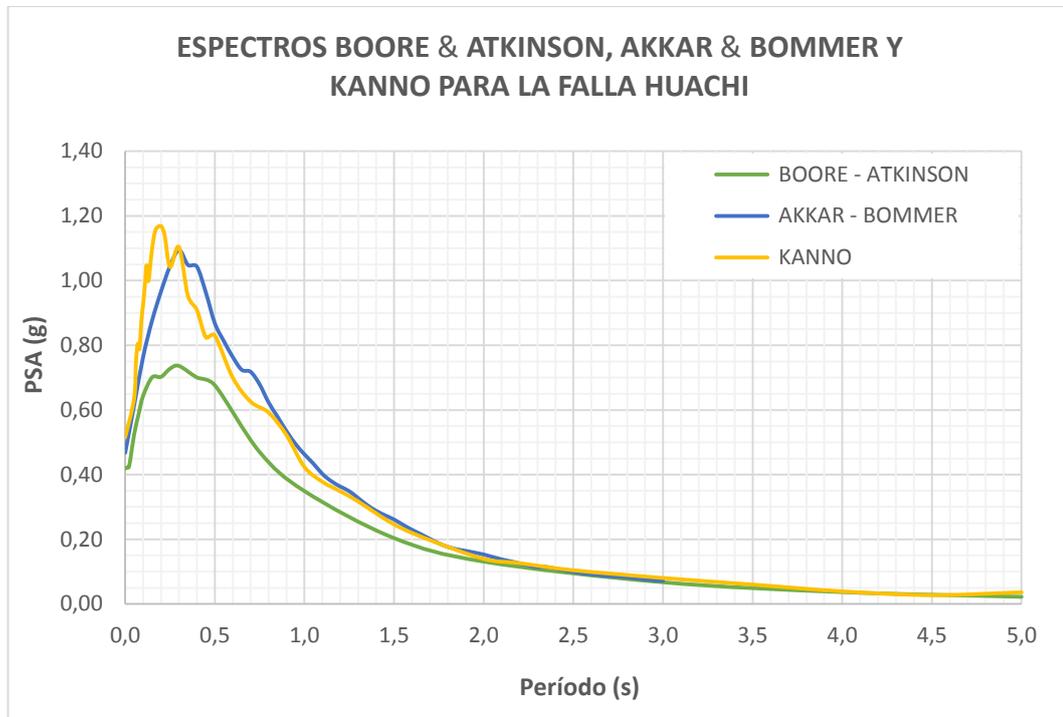
Elaboración: Cinthya Sosa

La Figura 23, representa el espectro de respuesta en aceleración correspondiente a la falla de subducción, el máximo valor para la aceleración es de 1,33g a los 0,25seg.

4.2.1.6. Espectros calculados: para la Falla Huachi

Para la Falla Huachi se presenta espectros de aceleración aplicando las tres ecuaciones de atenuación para eventos de tipo cortical, indicados en el siguiente gráfico.

Figura 23. Espectros de aceleración modelos Boore & Atkinson, Akkar & Bommer y Kanno para la Falla Huachi



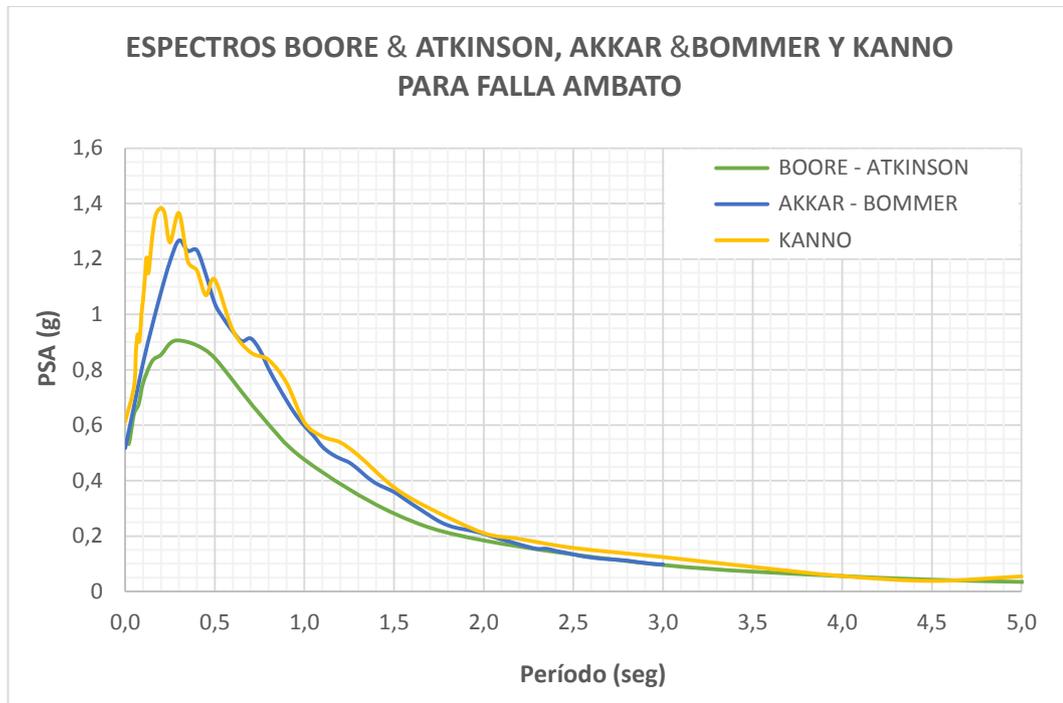
Elaboración: Cinthya Sosa

De la Figura 24, se puede apreciar que el grado de ajuste de dos de las tres ecuaciones para régimen cortical es bastante similar en la forma de su espectro. En cuanto a los resultados del período y la aceleración, se observa que para períodos entre 0,10seg y 0,30seg la ecuación de Kanno (2006) presenta valores máximos de aceleración, con un valor pico de 1,16g. Sin embargo, a partir de períodos mayores a 0,35seg la ecuación de Akkar & Bommer (2010), predomina el valor de aceleración respecto a las otras ecuaciones.

4.2.1.7. Espectros calculados: para la Falla Ambato

Para la Falla Ambato se presenta espectros de aceleración aplicando las tres ecuaciones de atenuación para eventos de tipo cortical, indicados en el siguiente gráfico.

Figura 24. Espectros de aceleración modelos Boore & Atkinson, Akkar & Bommer y Kanno para la Falla Ambato



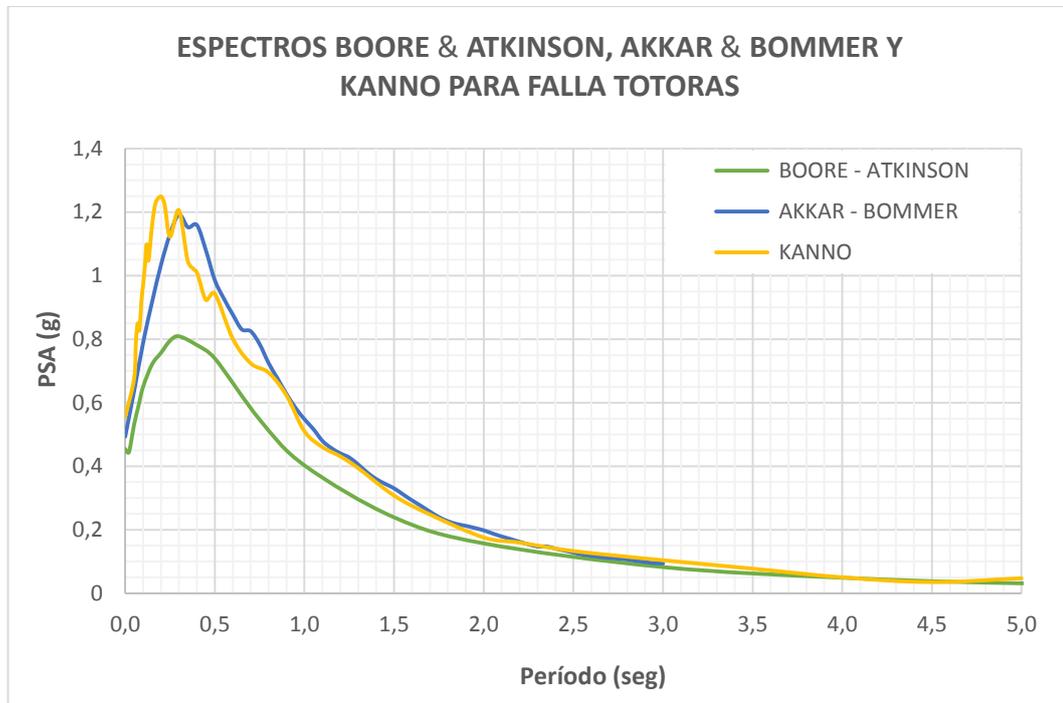
Elaboración: Cinthya Sosa

De la Figura 25, se puede apreciar que el grado de ajuste de dos de las tres ecuaciones para régimen cortical es bastante similar en la forma de su espectro. En cuanto a los resultados del período y la aceleración, se observa que para períodos entre 0,10seg y 0,30seg la ecuación de Kanno (2006) presenta valores máximos de aceleración de forma constante, con un valor pico de 1,36g. Sin embargo, a partir de períodos mayores a 0,35seg la ecuación de Akkar & Bommer (2010), el valor de la aceleración predomina respecto a la ecuación de Kanno (2006) en ciertos períodos.

4.2.1.8. Espectros calculados: para la Falla Totoras

Para la Falla Totoras se presenta espectros de aceleración aplicando las tres ecuaciones de atenuación para eventos de tipo cortical, indicados en el siguiente gráfico.

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



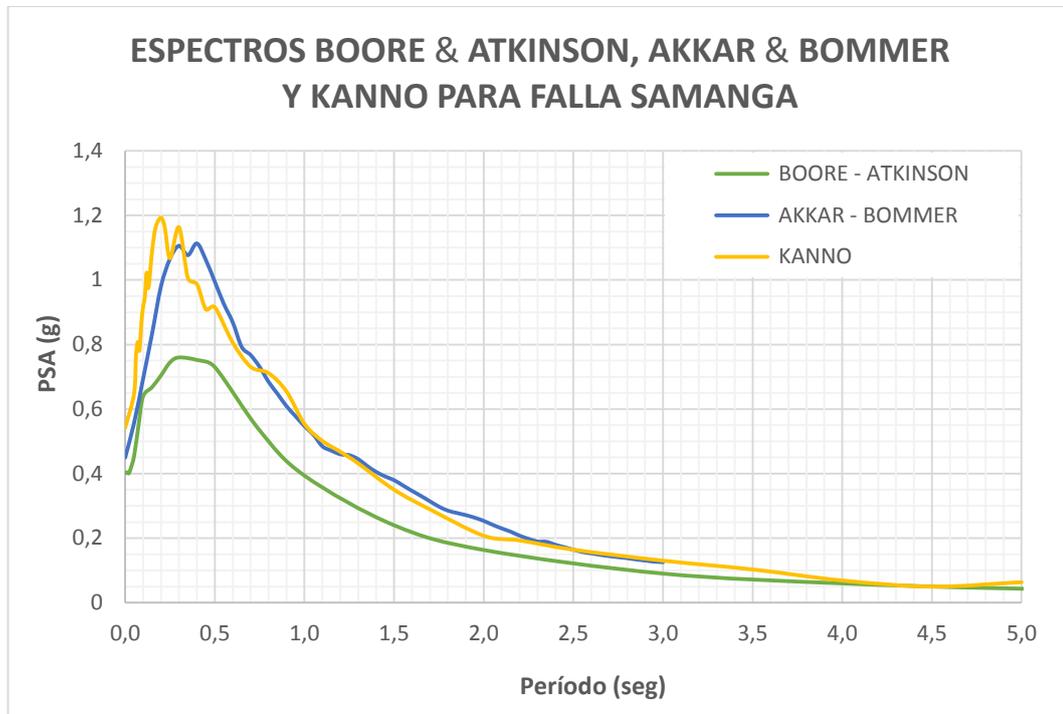
Elaboración: Cinthya Sosa

De la Figura 26, se puede apreciar que el grado de ajuste de dos de las tres ecuaciones para régimen cortical es bastante similar en la forma de su espectro. En cuanto a los resultados del período y la aceleración, se observa que para períodos entre 0,10seg y 0,30seg la ecuación de Kanno (2006) presenta valores máximos de aceleración, con un valor pico de 1,22g. Sin embargo, a partir de períodos mayores a 0,35seg la ecuación de Akkar & Bommer (2010), predomina el valor de aceleración respecto a las otras ecuaciones.

4.2.1.9. Espectros calculados: para la Falla Samanga

Para la Falla Totoras se presenta espectros de aceleración aplicando las tres ecuaciones de atenuación para eventos de tipo cortical, indicados en el siguiente gráfico.

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



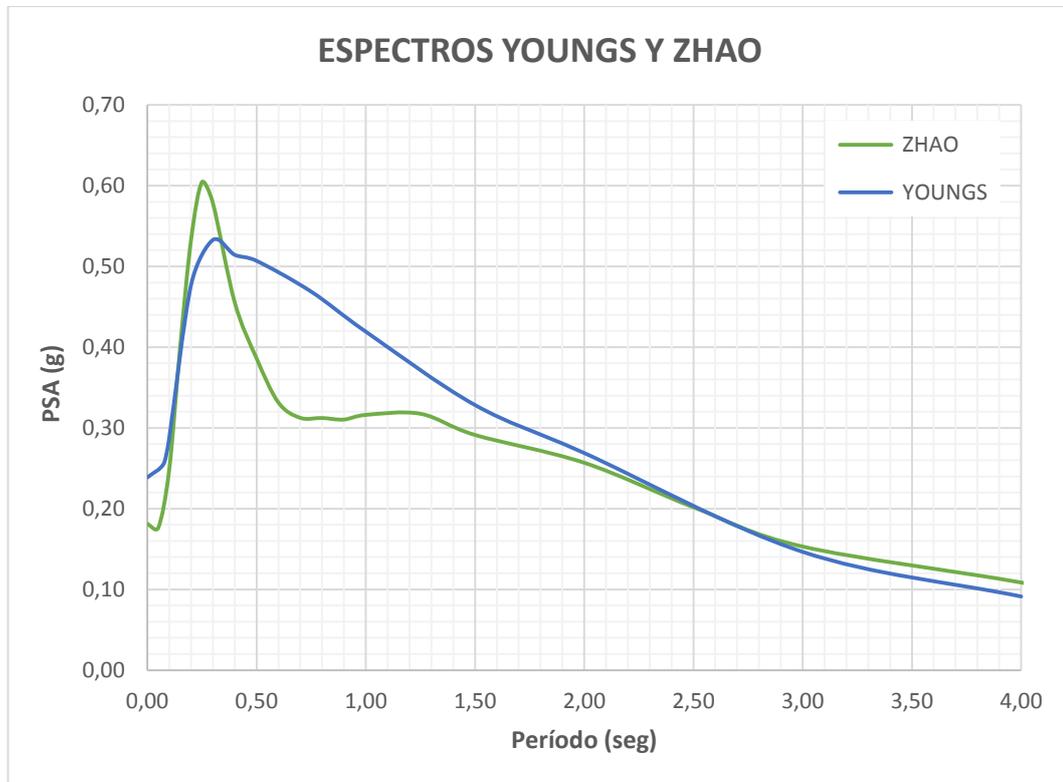
Elaboración: Cinthya Sosa

De la Figura 27, se puede apreciar que el grado de ajuste de dos de las tres ecuaciones para régimen cortical es bastante similar en la forma de su espectro. En cuanto a los resultados del período y la aceleración, se observa que para períodos entre 0,10seg y 0,30seg la ecuación de Kanno (2006) presenta valores máximos de aceleración, con un valor pico de 1,19g. Sin embargo, a partir de períodos mayores a 0,35seg la ecuación de Akkar & Bommer (2010), el valor de aceleración predomina respecto a la ecuación de Kanno (2006) en ciertos períodos.

4.2.1.10. Espectros calculados: para la Falla Placa de Nazca

Para la Falla Placa de Nazca se presenta espectros de aceleración aplicando las dos ecuaciones de atenuación para eventos de tipo subducción, indicados en el siguiente gráfico.

Figura 27. Espectros de aceleración modelos Youngs y Zhao



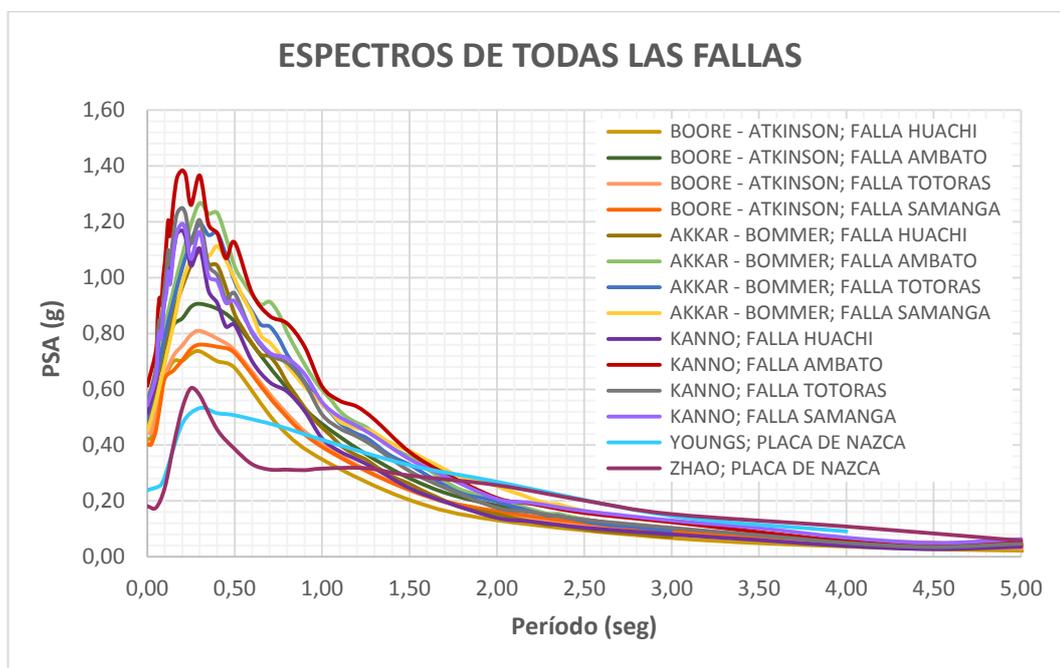
Elaboración: Cinthya Sosa

De la Figura 28, se observa que el ajuste entre las dos ecuaciones no presenta variación de datos significativo entre los 0,10 a 0,20 seg y entre los 2,00 a 4,00 seg. Además, se puede apreciar que la pendiente de caída de la aceleración en función del período estructural es menor en comparación con las ecuaciones para régimen cortical, lo cual muestra que para fallas lejanas al rango de períodos estructurales crítico es más amplio. Sin embargo, para períodos estructurales cortos en este caso en particular las aceleraciones para régimen de subducción son menores en comparación con las aceleraciones generadas por las fallas del régimen cortical.

4.2.1.11. Espectros calculados: todos los modelos y todas las fallas

A continuación, se presenta catorce espectros creados por las metodologías y las fallas seleccionadas para eventos corticales y de subducción.

Figura 28. Espectros generados para todas las fallas



Elaboración: Cinthya Sosa

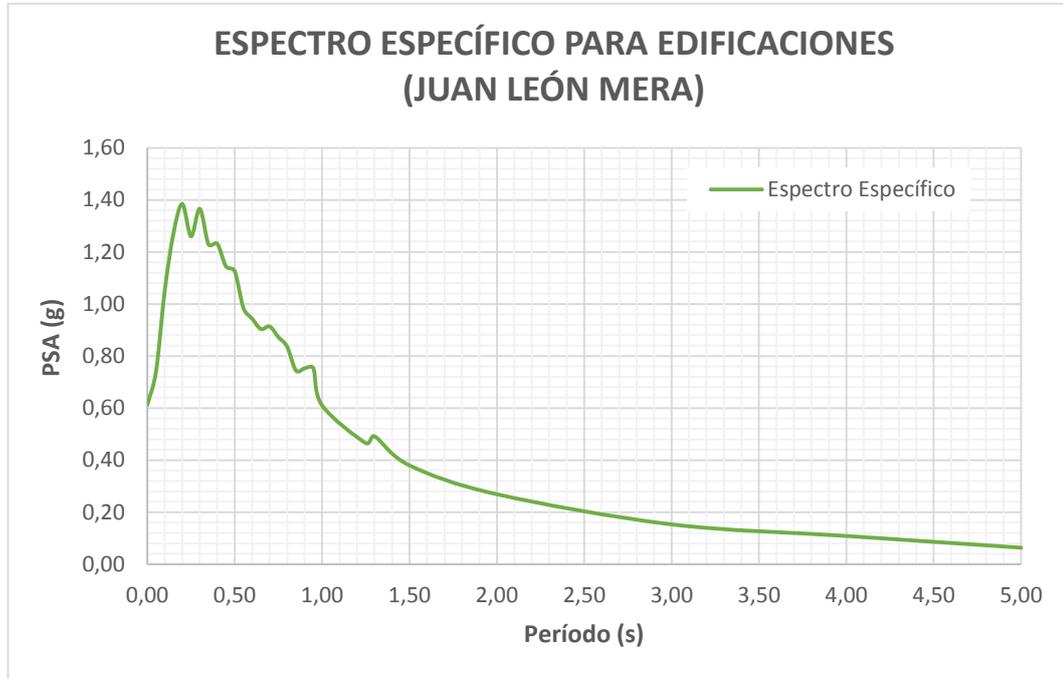
En la Figura 29, se puede apreciar que para períodos comprendidos entre 0,1seg y 1,5seg la Falla Ambato genera mayores aceleraciones en comparación con las demás fallas. Esto ocurre debido a que es la falla más cercana al sitio de estudio con 210m de proyección superficial. Sin embargo, para períodos estructurales de 1,5seg a 1,75seg la Falla de Samanga predomina su rango de aceleraciones. Y para valores mayores a 1,75 seg se observa que los efectos más peligrosos son causados por la falla de subducción. Tomando en cuenta el criterio de que para estructuras con periodos cortos de vibración las fallas que llegarán a afectar su comportamiento estructural serán fallas cercanas y para estructuras con periodos de vibración mayores a 1,5seg fallas lejanas afectarán su comportamiento, en el lugar de estudio.

4.2.2. Espectro Específico

Se construye el espectro específico para el sector Juan León Mera seleccionando los valores máximos en aceleración para cada período de los espectros de la

Figura 29, llegando a obtener un único espectro envolvente (Figura 30) que reúne particularidades de aceleraciones altas para períodos cortos del régimen cortical y aceleraciones bajas para períodos largos debido a la subducción.

Figura 29. Espectro Específico para el sector Juan León Mera



Elaboración: Cinthya Sosa

A continuación, se muestra la base de datos del espectro específico en la Tabla 44.

Tabla 44. Datos del Espectro Específico para el sector Juan León Mera

T (seg)	Sa (%g)		
0,00	0,613	0,65	0,903
0,05	0,742	0,70	0,913
0,10	1,054	0,75	0,873
0,15	1,273	0,80	0,836
0,20	1,384	0,85	0,745
0,25	1,260	0,90	0,753
0,30	1,366	0,95	0,753
0,35	1,229	1,00	0,610
0,40	1,232	1,25	0,465
0,45	1,144	1,30	0,492
0,50	1,126	1,50	0,380
0,55	0,984	2,00	0,269
0,60	0,943	3,00	0,153
		4,00	0,109

5,00	0,064
------	-------

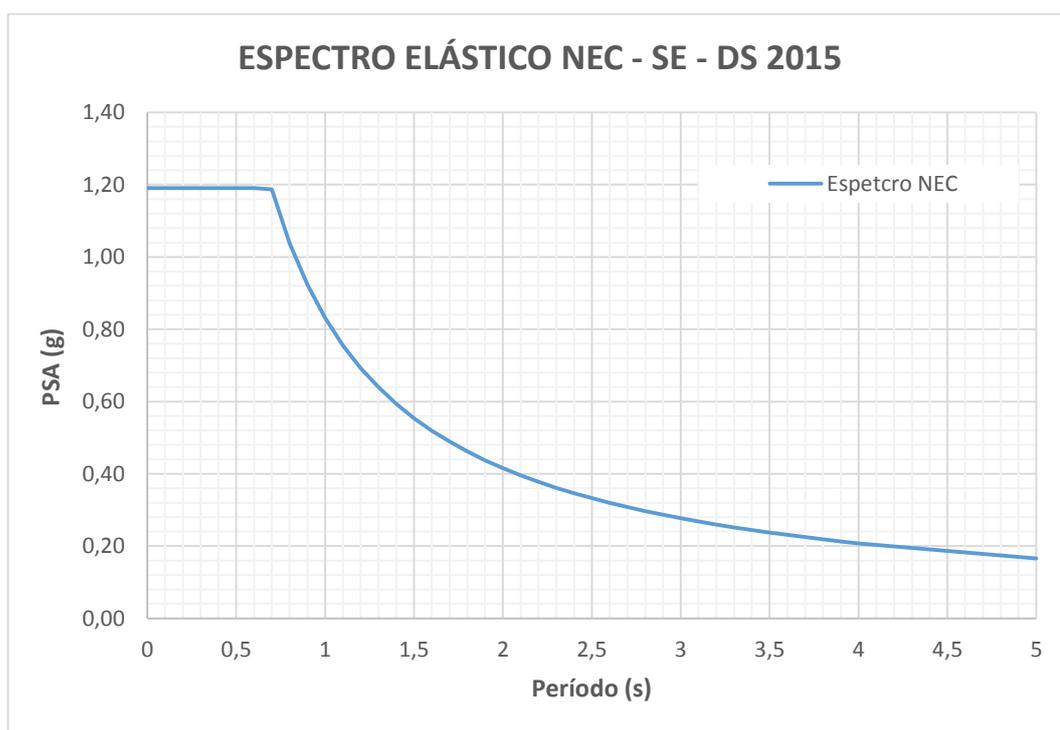
Elaboración: Cinthya Sosa

4.2.3. Espectro NEC – 2015

La obtención del Espectro NEC emplea los criterios establecidos en el apartado 2.1.10.1. de esta investigación para el sismo de diseño con un período de retorno de 475 años, de acuerdo a la NEC - SE - DS 2015.

En función al tipo de suelo y a la zona en la que se encuentra el sitio de estudio se consideran los valores para construir el espectro NEC presentado en el siguiente gráfico.

Figura 30. Espectro Elástico NEC-2015

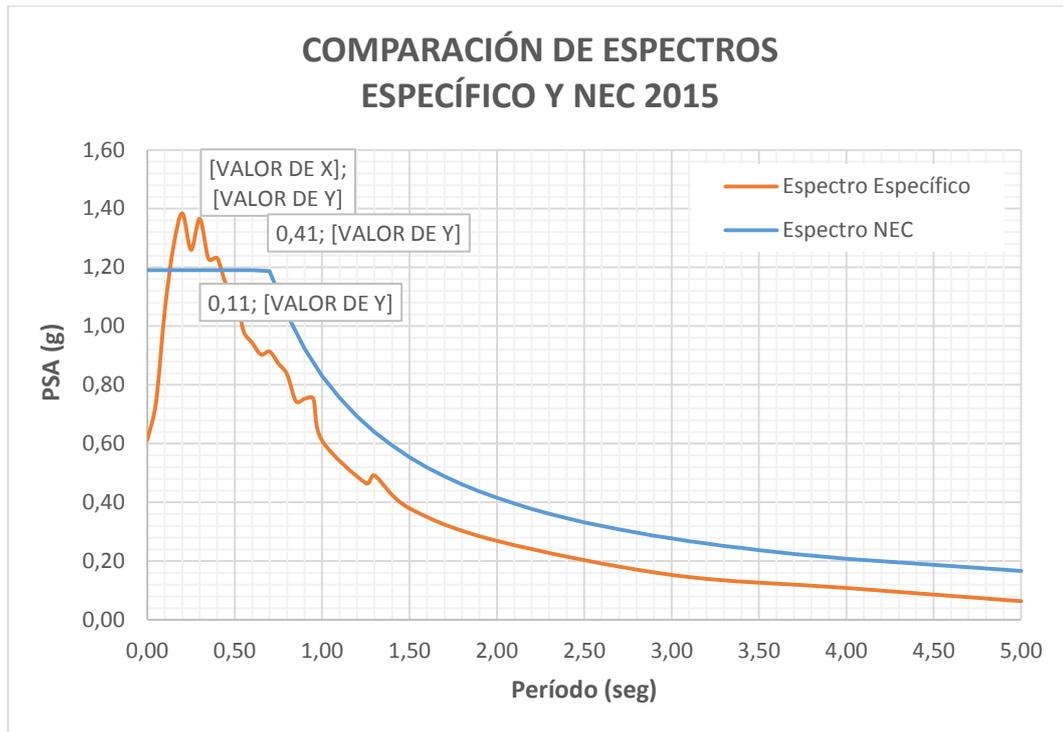


Elaboración: Cinthya Sosa

4.2.4. Comparación entre el Espectro Específico y NEC – 2015

En la Figura 32, se procede a determinar si las aceleraciones calculadas del espectro NEC cubre las aceleraciones del evento máximo obtenido del estudio de peligro sísmico.

Figura 31. Comparación de Espectros Específico y Espectro NEC - 2015



Elaboración: Cinthya Sosa

Del gráfico anterior, se puede observar que para períodos comprendidos entre 0,11 y 0,41seg el espectro específico resulta más crítico por presentar aceleraciones de hasta 1,38g, superando al valor de 1,19g obtenido con el espectro de la NEC - 2015. Por otra parte, para períodos mayores a 0,41seg el espectro de la NEC - 2015 proyecta resultados de aceleración más críticos.

4.2.5. Verificación del comportamiento estructural

Una vez modelada las estructuras e introducido el espectro de la NEC - 2015 y el espectro determinístico reducidos en el programa ETABS 2016 V16, se realiza una comparación de los resultados con ambos espectros. Los resultados se basan

en el análisis estático y dinámico de la estructura. Se verifica períodos de vibración, modos de vibración de la estructura, acumulación de la masa y derivas de piso.

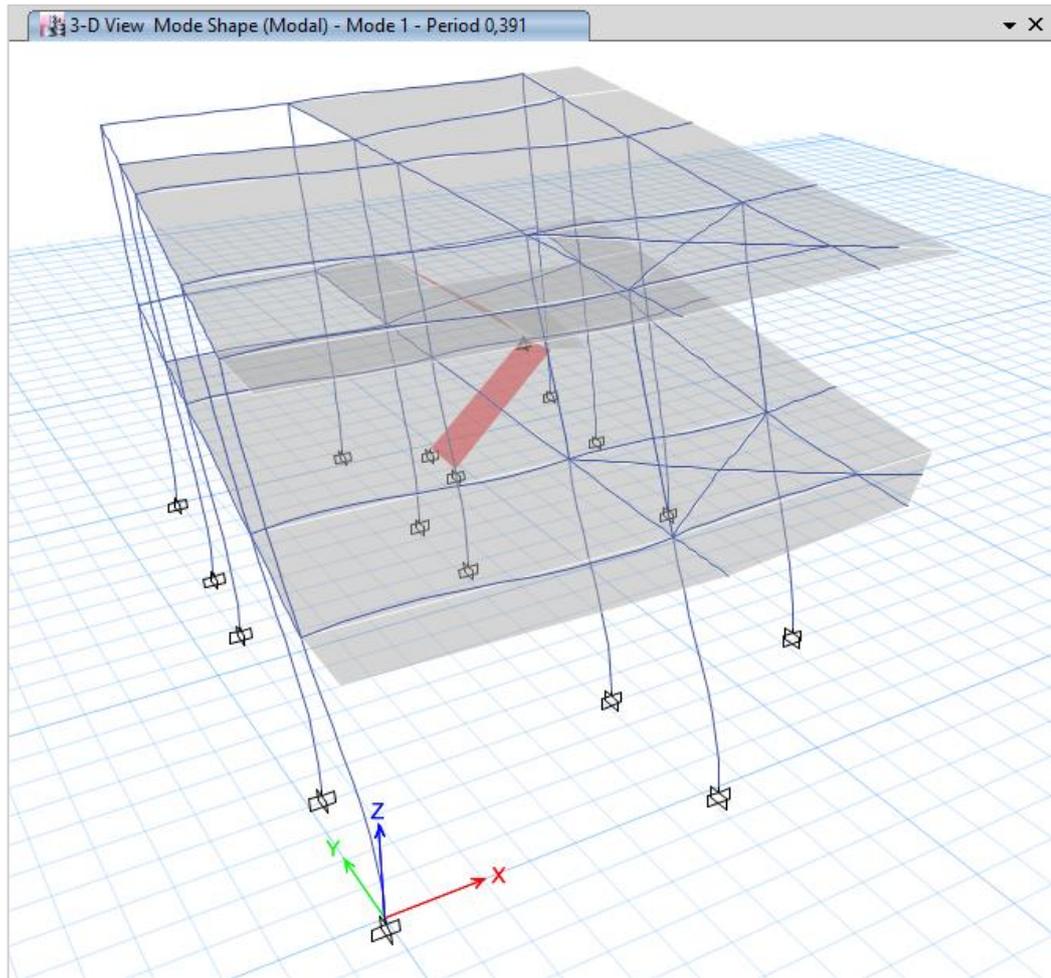
4.2.5.1. Estructura de 2 pisos

Análisis Estático

a) Períodos de vibración

Se presenta los periodos límites y periodos calculados con los métodos 1 y 2 respectivamente.

Figura 32. Período de vibración fundamental - Estructura 2 pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Tabla 45. Valores de períodos T_0 , T_c , T y T_2 - Estructura 2 pisos

Estructura	T_0	T_c	T (calculado)	T_2 (ETABS)
Estructura 2 Pisos	0,13	0,70	0,359	0,391

Elaboración: Cinthya Sosa

Se verifica con la siguiente ecuación, que T_2 no debe ser mayor en un 30% al valor de T .

$$T \leq T_2 \leq 1,3 T$$

$$0,359 \leq 0,391 \leq 0,467$$

Observación: El valor del período fundamental de vibración T2 para la estructura de dos pisos está dentro de los parámetros establecidos por la NEC 2015.

b) Modos de vibración de la estructura

Se emplea la Ecuación 12:

$$\frac{Rz}{Ux \text{ ó } Uy} * 100\% \leq 30 \% \text{ traslacional}$$

En la siguiente tabla se encuentra los resultados obtenidos del programa ETABS 2016

Tabla 46. Modos de vibración - Estructura de 2 pisos

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0.391	0.7803	0.011	0.126
Modal	2	0.345	0.0442	0.2978	0.5375
Modal	3	0.3	0.0777	0.5906	0.2363

Fuente: ETABS 2016 V16

En la siguiente Tabla se presenta el porcentaje de participación modal para la estructura de 2 pisos.

Tabla 47. Modos de vibración – Estructura 2 pisos

Modo	Ux, Uy	Rz	%	Tipo
1	0,7803	0,1260	16,15	Traslacional
2	0,2978	0,5375	180,49	Rotacional
3	0,5906	0,2363	40,01	Rotacional

Elaboración: Cinthya Sosa

Observación: El primer modo de vibración refleja efectos de torsión traslacionales menores al 30% y el tercer modo de vibración presenta efectos rotacionales mayores al 30%, al contrario del segundo modo de vibración que no cumple el

porcentaje de torsión esperado. Es decir, el desplazamiento máximo en Y con relación a la rotación sobre el eje Z es mayor al 30%, indicando que la estructura en esta dirección presenta baja rigidez.

c) Porcentaje de participación de la masa

La participación de la masa de la estructura de dos pisos se detalla a continuación en la siguiente tabla, tomando en cuenta el 90% de participación de la masa en las dos direcciones horizontales.

Tabla 48. Porcentaje de participación de la masa – Estructura 2 Pisos

Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,391	0,7803	0,011
Modal	2	0,345	0,8245	0,3087
Modal	3	0,3	0,9022	0,8994
Modal	4	0,118	0,969	0,8994
Modal	5	0,104	0,9862	0,9422
Modal	6	0,093	0,9941	0,9943

Fuente: ETABS 2016 V16

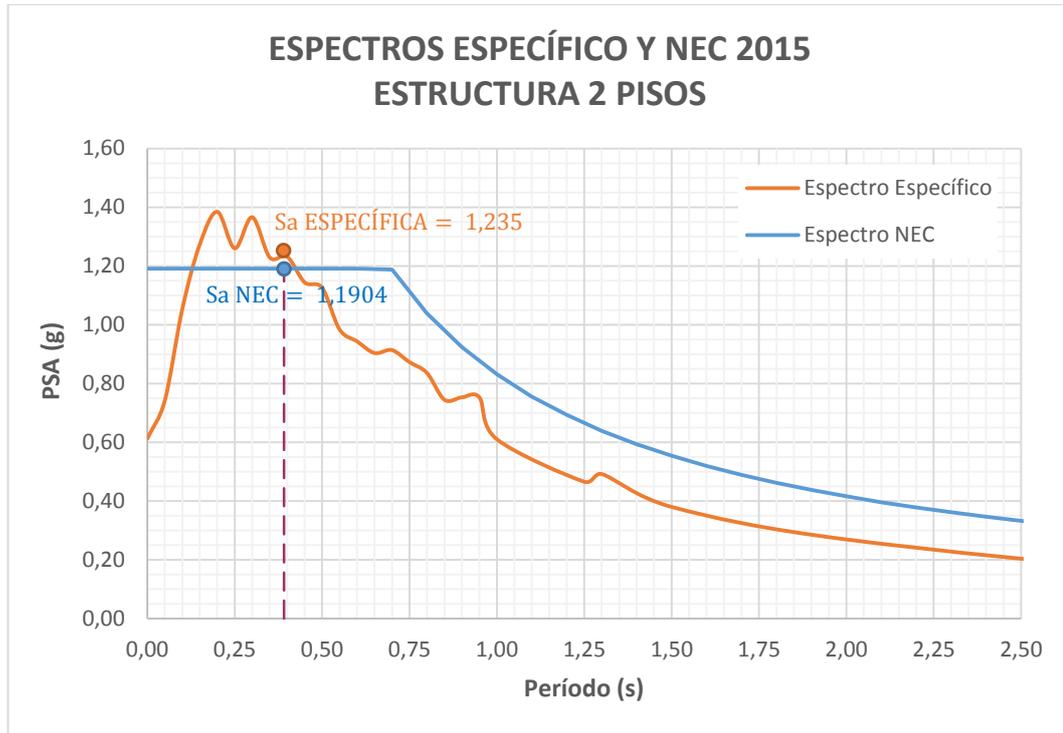
Observación: La acumulación modal del 90% de la masa de la estructura de dos pisos sucede en el quinto periodo de vibración con un 98,62% en X y un 94,22% en Y.

d) Control de la Deriva de Piso Estática

Se comprobará que la deriva inelástica sea menor o igual al 2%, para el análisis de Espectro NEC y Espectro Específico.

Este cálculo se lo realiza en base al período $T_2 = 0,391$ (ubicado en el eje de las abscisas), desde ese punto se traza una línea recta hasta los espectros de aceleraciones NEC y Específico, y así podremos obtener las aceleraciones para cada análisis. Para ello se emplea la siguiente figura.

Figura 33. Aceleración para el análisis con espectro NEC y Específico



Elaboración: Cinthya Sosa

– Análisis en función al Espectro NEC

Con la aceleración NEC obtenida de la Figura 33, calculamos los coeficientes C y k (valores ingresados en ETABS, que servirá para el cálculo de las derivas elásticas). Los coeficientes R, ϕ_P y ϕ_E de la Tabla 41. Factores para la reducción de los espectros elásticos

$$C = \frac{I * Sa}{R * \phi_P * \phi_E} = \frac{1 * 1,1904}{8 * 0,9 * 0,9} = 0,1837$$

Como $T_2 = 0,391$, usando la Tabla 13. Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T, $k = 1$

A continuación, se presenta las gráficas y tabla de derivas máximas elásticas estáticas (SISMO X y SISMO Y) obtenidas en ETABS.

Tabla 49. Derivas elásticas estáticas Espectro NEC - Estructura 2 Pisos

SISMO X

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv +5,60	5,6	Top	0,001815	0,000273
Nv +3,00	3	Top	0,001849	0,00026

SISMO Y

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv +5,60	5,6	Top	0,000398	0,001353
Nv +3,00	3	Top	0,000227	0,001181

Fuente: ETABS 2016 V16

- Análisis en función al Espectro Específico

Con la aceleración ESPECÍFICA obtenida de la Figura 33, calculamos los coeficientes C y k (valores ingresados en ETABS, que servirá para el cálculo de las derivas elásticas). Los coeficientes R, ϕ_P y ϕ_E de la Tabla 41. Factores para la reducción de los espectros elásticos.

$$C = \frac{I * Sa}{R * \phi_P * \phi_E} = \frac{1 * 1,235}{8 * 0,9 * 0,9} = 0,1906$$

Como $T = 0,391$, usando la Tabla 13. Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T; $k = 1$

A continuación, se presenta las gráficas y tabla de derivas máximas elásticas estáticas (SISMO X y SISMO Y) obtenidas en ETABS.

Tabla 50. Derivas elásticas estáticas Espectro ESPECÍFICO - Estructura 2 Pisos

SISMO X

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv +5,60	5,6	Top	0,001884	0,000283
Nv +3,00	3	Top	0,001919	0,000269

SISMO Y

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv +5,60	5,6	Top	0,000412	0,001403
Nv +3,00	3	Top	0,000235	0,001225

Fuente: ETABS 2016 V16

Obtenemos las derivas inelásticas para cada piso mediante la Ecuación 13:

$$\Delta M = 0,75 * R * \Delta E \leq 2\%$$

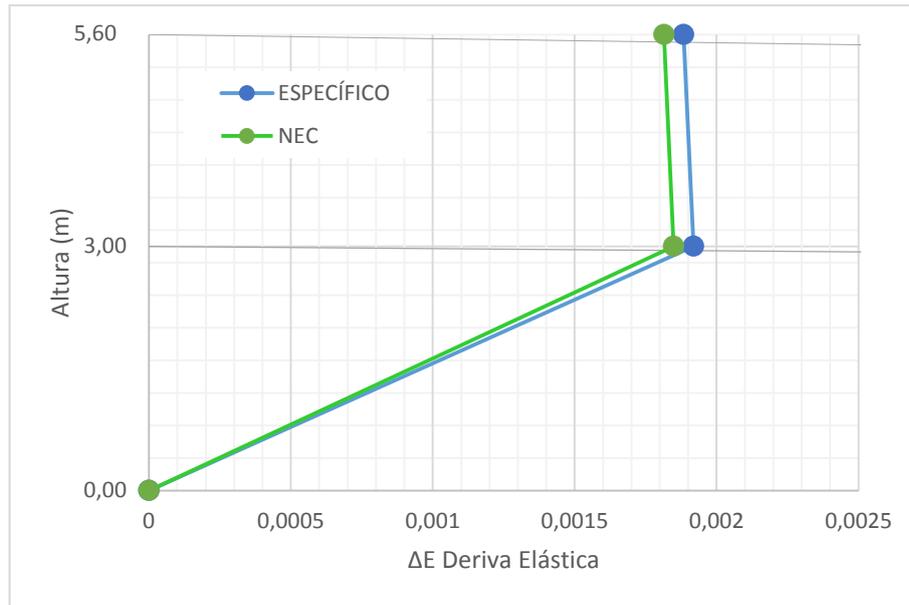
Tabla 51. Resumen Derivas elásticas y porcentaje de derivas inelásticas estáticas con el Espectro NEC-2015 y el Espectro Específico – Estructura 2 Pisos

Nivel (m)	NEC 2015				ESPECÍFICO			
	X		Y		X		Y	
	ΔE	ΔM						
Nv + 5,60	0,001815	1,09%	0,001353	0,81%	0,001884	1,13%	0,001403	0,84%
Nv + 3,00	0,001849	1,11%	0,001181	0,71%	0,001919	1,15%	0,001225	0,74%

Elaboración: Cinthya Sosa

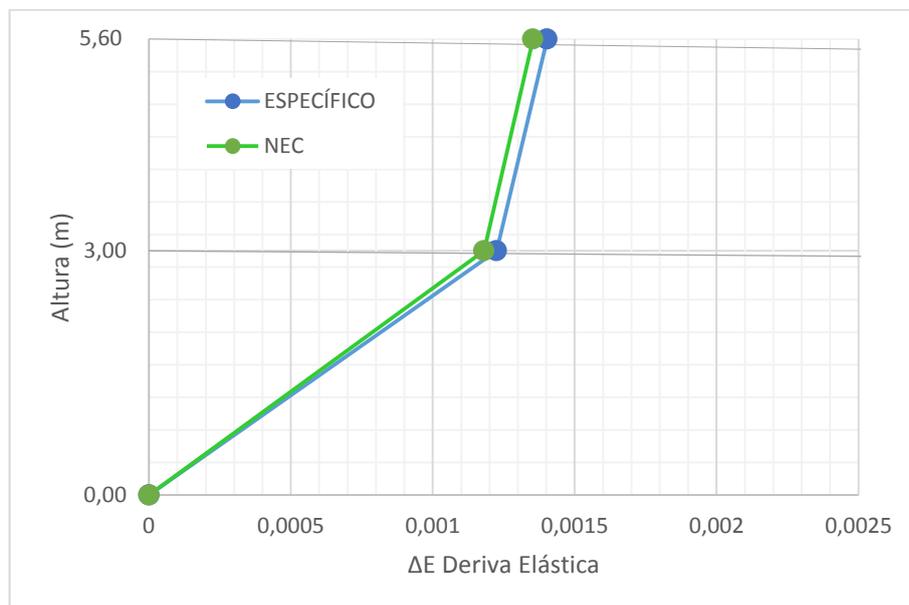
Observación: La estructura de dos pisos presenta deformaciones inelásticas controlables menores al 2% en sus desplazamientos laterales tanto en el sentido X como en el sentido Y.

Figura 34. Comparación de Derivas Elásticas Estáticas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 2 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 35. Comparación de Derivas Elásticas Estáticas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 2 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Observación: Para la estructura de dos pisos las derivas predominantes son las generadas por el Espectro Específico en ambos sentidos. Y las derivas elásticas de mayor valor resultan ser en el Sentido X.

Análisis Dinámico

a) Control de la Deriva de Piso Dinámica

En la siguiente Tabla se muestran los valores correspondientes a las derivas dinámicas elásticas obtenidas para cada piso y las derivas inelásticas dinámicas calculadas con la Ecuación 13.

$$\Delta M = 0,75 * R * \Delta E \leq 2\%$$

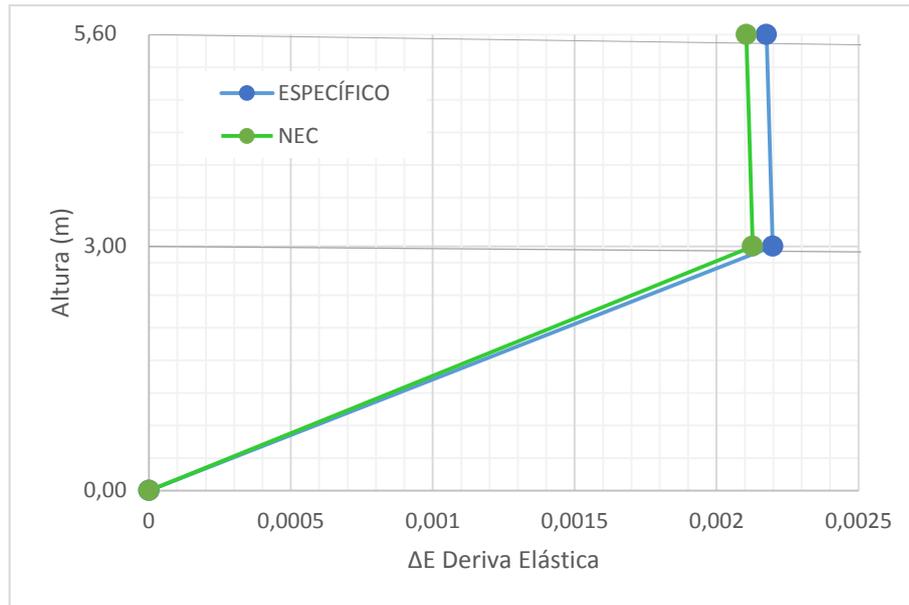
Tabla 52. Resumen Derivas elásticas y porcentaje de derivas inelásticas dinámicas con el Espectro NEC-2015 y el Espectro Específico – Estructura 2 Pisos

Nivel (m)	NEC 2015				ESPECÍFICO			
	X		Y		X		Y	
	ΔE	ΔM						
Nv + 5,60	0,002105	1,26%	0,001071	0,64%	0,002176	1,31%	0,001229	0,74%
Nv + 3,00	0,002127	1,28%	0,001270	0,76%	0,002198	1,32%	0,001335	0,80%

Elaboración: Cinthya Sosa

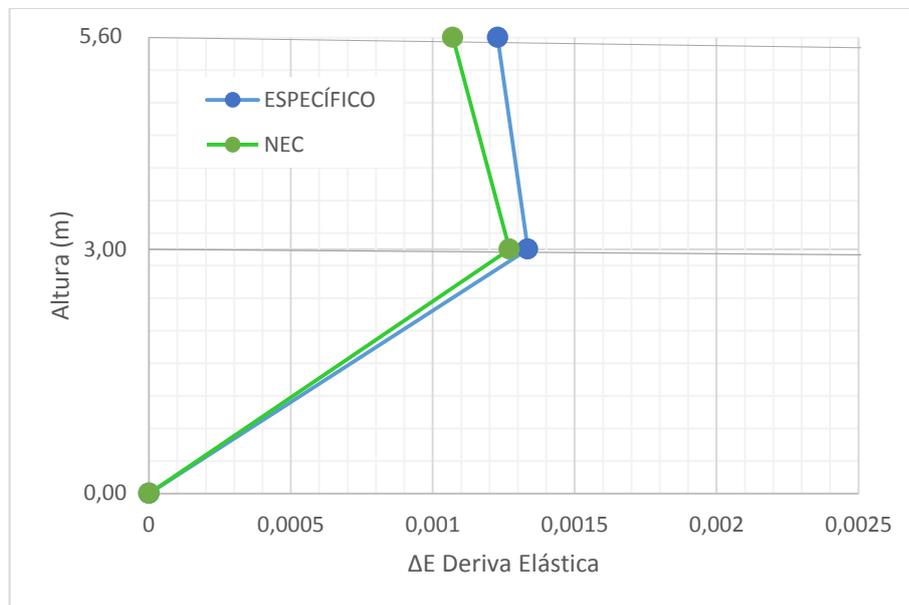
Observación: La estructura de dos pisos presenta deformaciones inelásticas controlables menores al 2% en sus desplazamientos laterales tanto en el sentido X como en el sentido Y.

Figura 36. Comparación de Derivas Elásticas Dinámicas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 2 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 37. Comparación de Derivas Elásticas Dinámicas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 2 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Observación: Para la estructura de dos pisos las derivas predominantes son las generadas por el Espectro Específico en ambos sentidos. Y las derivas elásticas dinámicas de mayor valor resultan ser en el Sentido X.

b) Validación del análisis dinámico

Al tratarse de una estructura irregular en elevación y en planta se debe verificar que el cortante basal V obtenido del análisis dinámico sea mayor al 85% del cortante basal estático. Para ello se empleará la Ecuación 18:

$$\frac{V_{\text{dinámico}}}{V_{\text{estático}}} \geq 85\%$$

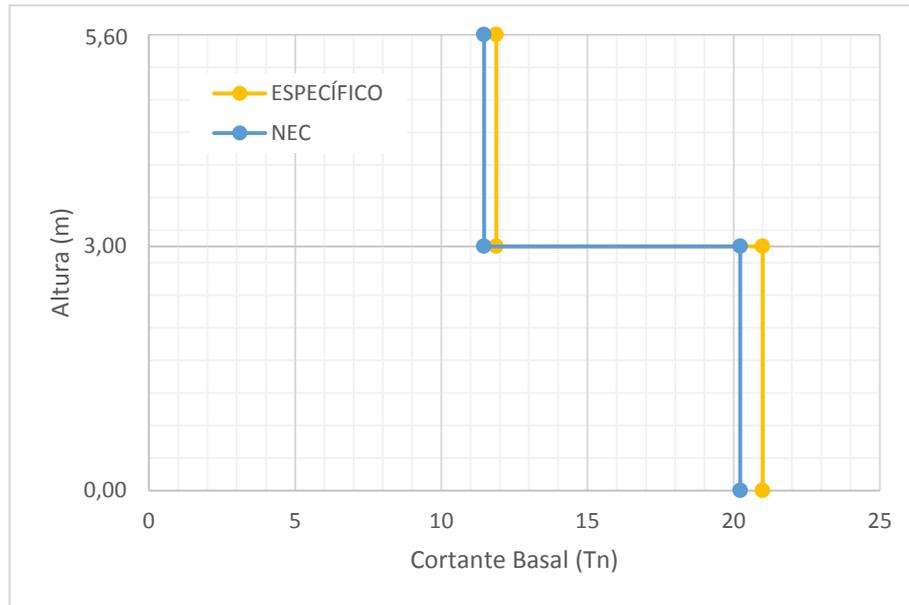
En las siguientes tablas se presentan valores de cortante basal dinámico y estático para el Espectro NEC y Espectro Específico en sentido X y Y, obtenidos de un análisis dinámico y estático para la estructura.

Tabla 53. Resumen Cortante Basal Dinámico y Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en Sentido X para la Estructura de 2 Pisos

Nivel (m)	NEC 2015			ESPECÍFICO		
	V din X	V est X	$\frac{V_{\text{din}}}{V_{\text{est}}}$ %	V din X	V est X	$\frac{V_{\text{din}}}{V_{\text{est}}}$ %
Nv + 5,60	10,89 Tn	11,46 Tn	95,03%	11,26 Tn	11,88 Tn	94,68%
Nv + 3,00	18,75 Tn	20,23 Tn	92,68%	19,43 Tn	20,99 Tn	92,57%

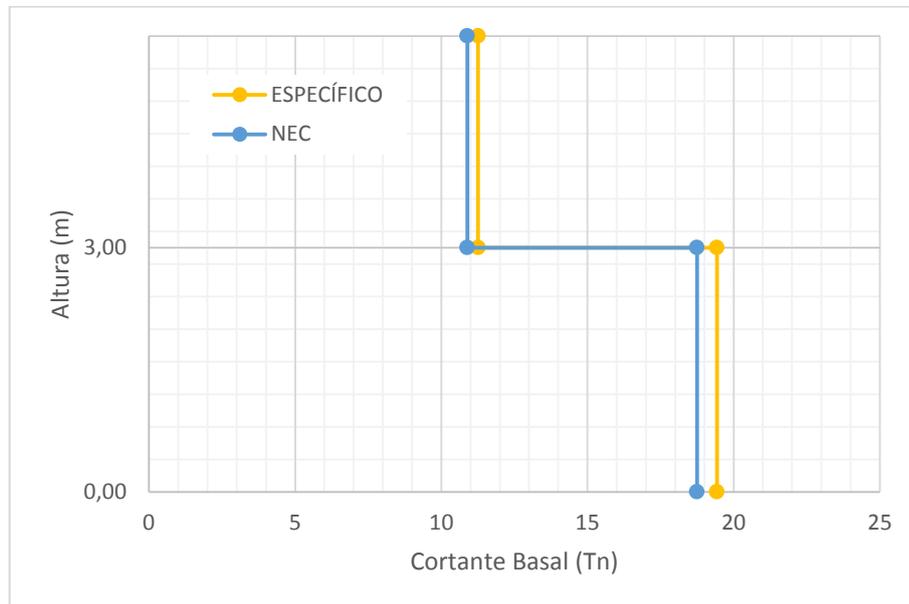
Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 38. Comparación del Cortante Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 2 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 39. Comparación del Cortante Dinámico entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 2 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Observación: La distribución del Cortante Basal Estático y Dinámico para la estructura de dos pisos en Sentido X es mayor para el Espectro Específico debido

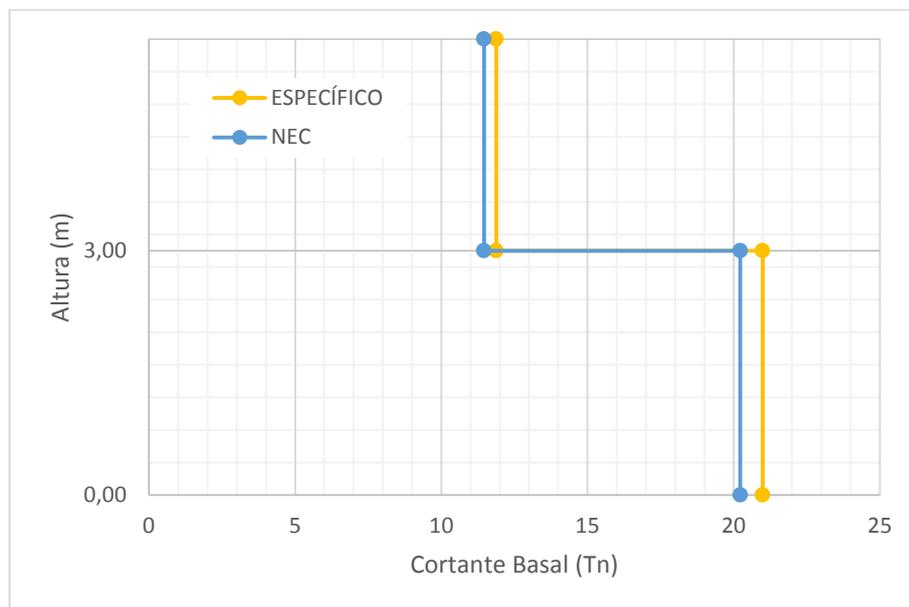
al incremento de aceleraciones, es decir los elementos estructurales se someterán a esfuerzos y desplazamientos mayores con el Espectro Específico.

Tabla 54. Resumen Cortante Basal Dinámico y Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en Sentido Y para la Estructura de 2 Pisos

Nivel (m)	NEC 2015			ESPECÍFICO		
	V din Y	V est Y	$\frac{V_{din}}{V_{est}} \%$	V din Y	V est Y	$\frac{V_{din}}{V_{est}} \%$
Nv + 5,60	9,98 Tn	11,46 Tn	87,09%	11,05 Tn	11,88 Tn	93,01%
Nv + 3,00	17,29 Tn	20,23 Tn	85,47%	19,31 Tn	20,99 Tn	91,99%

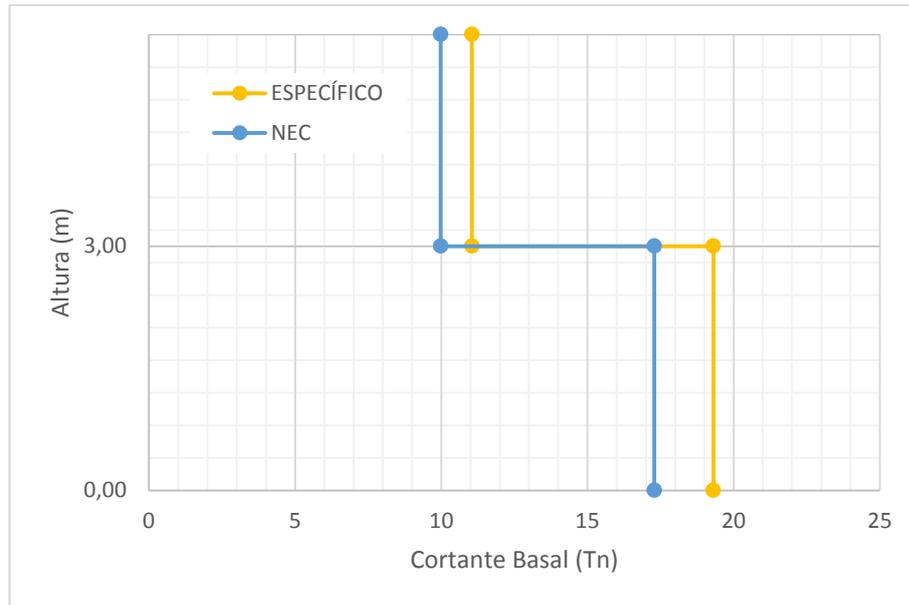
Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 40. Comparación del Cortante Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 2 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 41. Comparación del Cortante Dinámico entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 2 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Observación: La distribución del Cortante Basal Estático y Dinámico para la estructura de dos pisos en Sentido Y es mayor para el Espectro Específico debido al incremento de aceleraciones, es decir los elementos estructurales se someterán a esfuerzos y desplazamientos mayores con el Espectro Específico.

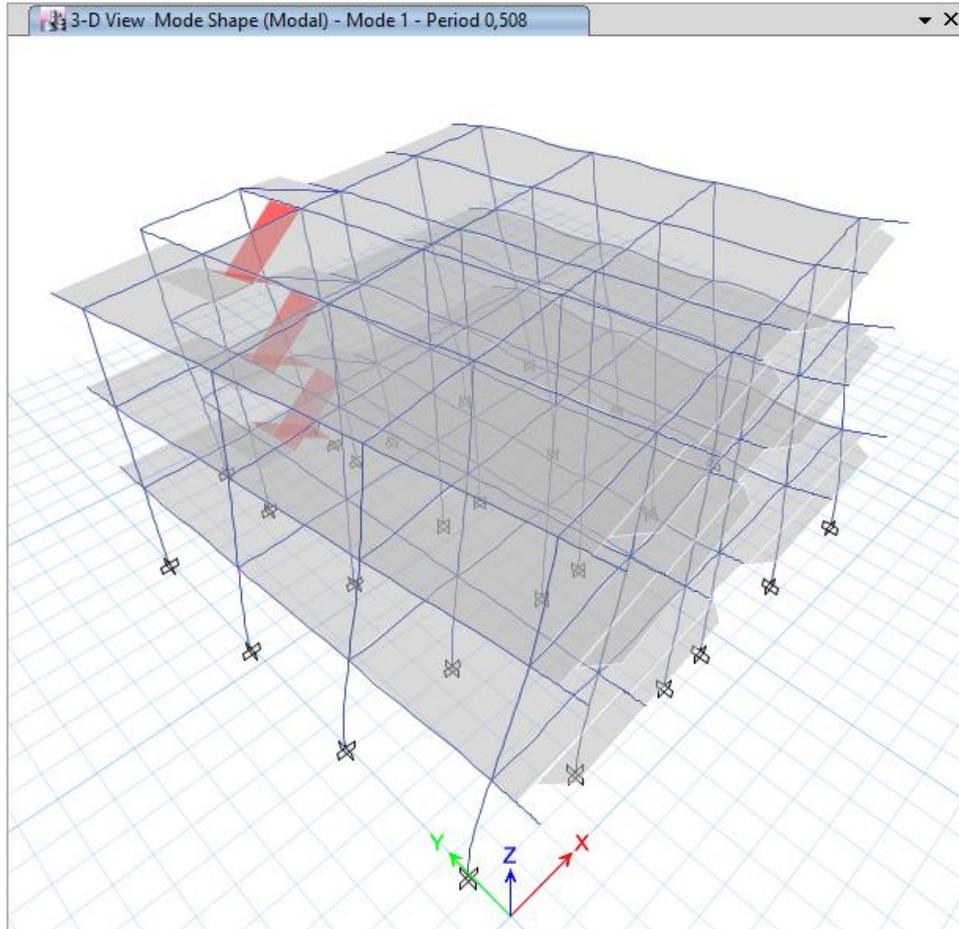
4.2.5.2. Estructura de 3 pisos

Análisis Estático

e) **Períodos de vibración**

Se presenta los periodos límites y periodos calculados con los métodos 1 y 2 respectivamente.

Figura 42. Período límite de vibración - Estructura 3 pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Tabla 55. Valores de períodos T_0 , T_c , T y T_2 - Estructura 3 pisos

Estructura	T_0	T_c	T (calculado)	T_2 (ETABS)
Estructura 3 Pisos	0,13	0,70	0,359	0,508

Elaboración: Cinthya Sosa

Se verifica con la siguiente ecuación, que T_2 no debe ser mayor en un 30% al valor de T .

$$T \leq T_2 \leq 1,3 T$$

$$0,359 \leq 0,508 \leq 0,467$$

Observación: Para la estructura de tres pisos el periodo fundamental de vibración T2 no se encuentra dentro del rango establecido. Es decir, la estructura es muy flexible.

f) Modos de vibración de la estructura

Se emplea la Ecuación 12:

$$\frac{Rz}{Ux \text{ ó } Uy} * 100\% \leq 30 \% \text{ traslacional}$$

En la siguiente tabla se encuentra resultados obtenidos del programa ETABS 2016

Tabla 56. Modos de vibración - Estructura de 3 pisos

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0,508	0,1554	0,2082	0,472
Modal	2	0,496	0,677	0,027	0,1282
Modal	3	0,445	0,0036	0,5936	0,2323

Fuente: ETABS 2016 V16

En la siguiente Tabla se presenta el porcentaje de participación modal para la estructura de tres pisos.

Tabla 57. Modos de vibración – Estructura 3 pisos

Modo	Ux, Uy	Rz	%	Tipo
1	0,2082	0,4720	226,71	Rotacional
2	0,6770	0,1282	18,94	Traslacional
3	0,5936	0,2323	39,13	Rotacional

Elaboración: Cinthya Sosa

Observación: El primer modo de vibración refleja efectos rotacionales mayores al 30%, indicando que la estructura en el Sentido X presenta baja rigidez. Mientras

que el segundo y tercer periodo cumplen con un movimiento traslacional y rotacional respectivamente, cumpliendo el porcentaje de rotación requerido.

g) Porcentaje de participación de la masa

La participación de la masa de la estructura de tres pisos se detalla a continuación en la siguiente tabla, tomando en cuenta el 90% de participación de la masa en las dos direcciones horizontales.

Tabla 58. Porcentaje de participación de la masa – Estructura 3 Pisos

Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,1554	0,2082
Modal	2	0,8324	0,2352
Modal	3	0,836	0,8289
Modal	4	0,8704	0,8661
Modal	5	0,9624	0,8783
Modal	6	0,9624	0,9591
Modal	7	0,9836	0,9654
Modal	8	0,9985	0,9792
Modal	9	0,999	0,9986

Fuente: ETABS 2016 V16

Observación: La acumulación modal del 90% de la masa de la estructura de tres pisos sucede en el sexto periodo de vibración con un 96,24% en X y un 95,91% en Y.

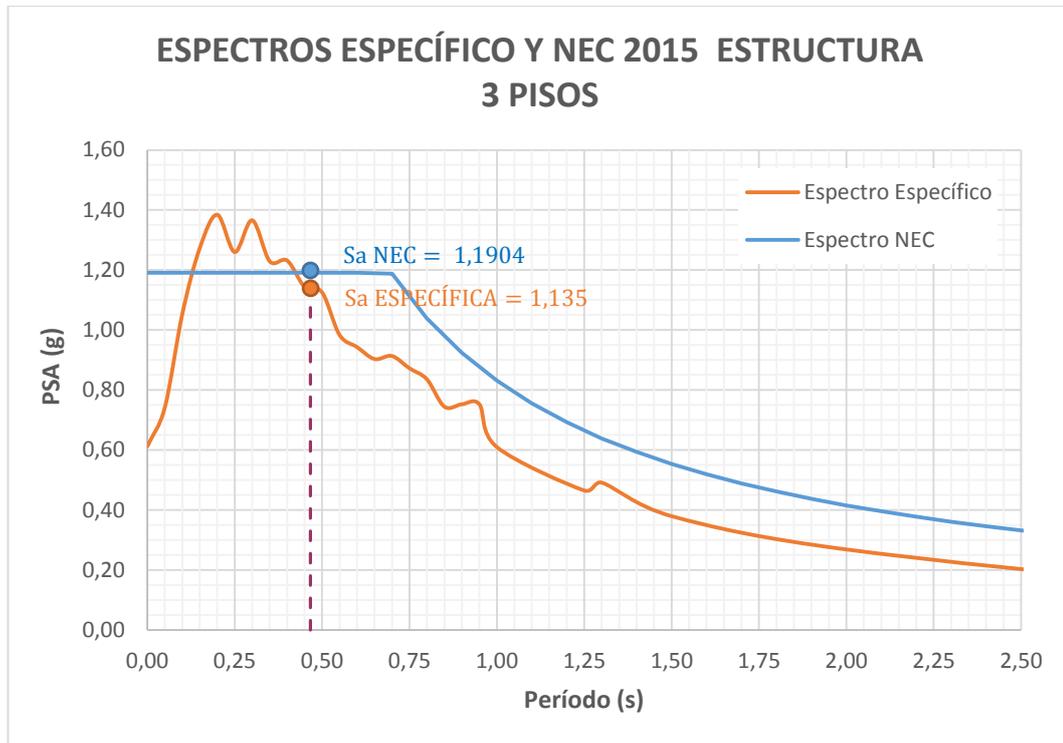
h) Control de la Deriva de Piso

Se comprobará que la deriva inelástica sea menor o igual al 2%, para el análisis de Espectro NEC y Espectro Específico.

Este cálculo se lo realiza en base al período $1,3 T = 0,467$ (ubicado en el eje de las abscisas), desde ese punto se traza una línea recta hasta los espectros de aceleraciones NEC y Específico, y así podremos obtener las aceleraciones para

cada análisis. Cabe recalcar que se empleó el valor de $1,3 T$, debido a que el valor de T_2 no debe ser mayor al 30% del valor de T [4]. Para ello se emplea la siguiente figura.

Figura 43. Aceleración para el análisis con espectro NEC y Específico



Elaboración: Cinthya Sosa

– Análisis en función al Espectro NEC

Con la aceleración NEC obtenida de la Figura 43, calculamos los coeficientes C y k (valores ingresados en ETABS, que servirá para el cálculo de las derivas elásticas). Los coeficientes R , ϕ_P y ϕ_E de la Tabla 41. Factores para la reducción de los espectros elásticos

$$C = \frac{I * Sa}{R * \phi_P * \phi_E} = \frac{1 * 1,1904}{8 * 0,9 * 1}$$

$$C = 0,1653$$

Como $T = 0,508$, usando la Tabla 13. Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T, k es igual a: $k = 1$

A continuación, se presenta las gráficas y tabla de derivas máximas elásticas estáticas (SISMO X y SISMO Y) obtenidas en ETABS.

Tabla 59. Derivas elásticas estáticas Espectro NEC - Estructura 3 Pisos

SISMO X

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv+8,04	8,04	Top	0,001673	3,8E-05
Nv +5,36	5,36	Top	0,00258	6,4E-05
Nv +2,68	2,68	Top	0,001865	6,1E-05

SISMO Y

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv+8,04	8,04	Top	0,000252	0,001691
Nv +5,36	5,36	Top	0,000376	0,002519
Nv +2,68	2,68	Top	0,000227	0,001773

Fuente: ETABS 2016 V16

– Análisis en función al Espectro Específico

Con la aceleración ESPECÍFICA obtenida de la Figura 43, calculamos los coeficientes C y k (valores ingresados en ETABS, que servirá para el cálculo de las derivas elásticas). Los coeficientes R, ϕ_P y ϕ_E de la Tabla 41. Factores para la reducción de los espectros elásticos

$$C = \frac{I * Sa}{R * \phi_P * \phi_E} = \frac{1 * 1,135}{8 * 0,9 * 1} = 0,1576$$

Como $1,3 T = 0,467$, usando la Tabla 13. Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T, por lo tanto $k = 1$

A continuación, se presenta las gráficas y tabla de derivas máximas elásticas estáticas (SISMO X y SISMO Y) obtenidas en ETABS.

Tabla 60. Derivas elásticas estáticas Espectro ESPECÍFICO - Estructura 3 Pisos

SISMO X

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv+8,04	8,04	Top	0,001595	3,6E-05
Nv +5,36	5,36	Top	0,00246	6,1E-05
Nv +2,68	2,68	Top	0,001779	5,8E-05

SISMO Y

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv+8,04	8,04	Top	0,00024	0,001612
Nv +5,36	5,36	Top	0,000359	0,002402
Nv +2,68	2,68	Top	0,000217	0,00169

Fuente: ETABS 2016 V16

Obtenemos las derivas inelásticas para cada piso mediante la Ecuación 13:

$$\Delta M = 0,75 * R * \Delta E \leq 2\%$$

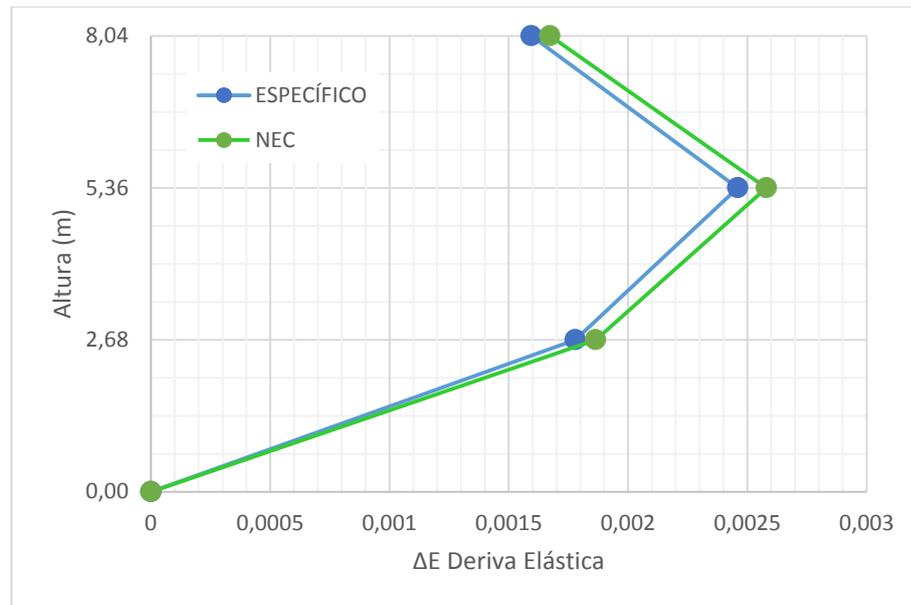
Tabla 61. Resumen Derivas elásticas y porcentaje de derivas inelásticas estáticas con el Espectro NEC-2015 y el Espectro Específico – Estructura 3 Pisos

Nivel (m)	NEC 2015				ESPECÍFICO			
	X		Y		X		Y	
	ΔE	ΔM						
Nv + 8,04	0,001673	1,00%	0,001691	1,01%	0,001595	0,96%	0,001612	0,97%
Nv + 5,36	0,002580	1,55%	0,002519	1,51%	0,002460	1,48%	0,002402	1,44%
Nv + 2,68	0,001865	1,12%	0,001773	1,06%	0,001779	1,07%	0,001690	1,01%

Elaboración: Cinthya Sosa

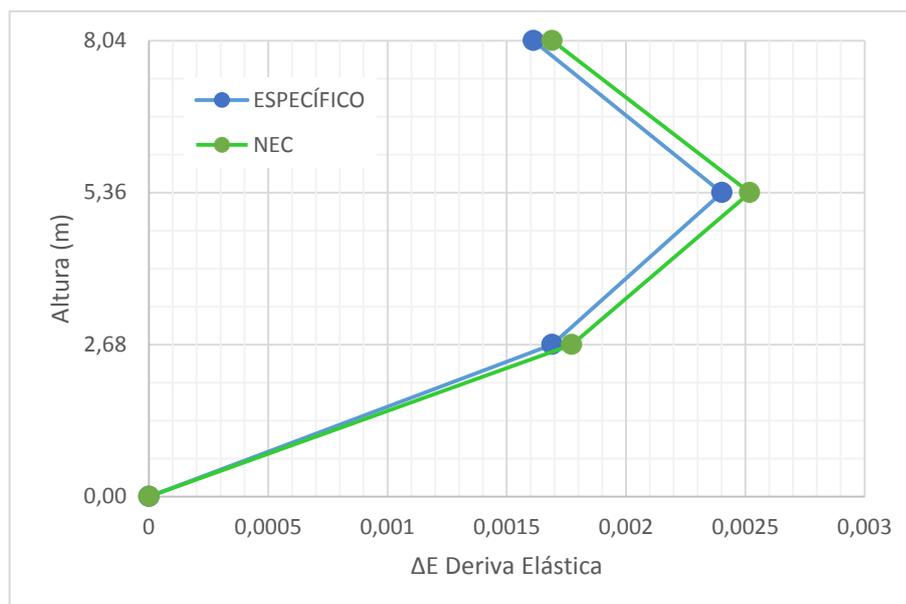
Observación: La estructura de tres pisos presenta deformaciones inelásticas controlables menores al 2% en sus desplazamientos laterales tanto en el sentido X como en el sentido Y.

Figura 44. Comparación de Derivas Elásticas Estáticas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 3 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 45. Comparación de Derivas Elásticas Estáticas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 3 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Observación: Para la estructura de tres pisos las derivas predominantes son las generadas por el Espectro NEC en ambos sentidos. Y las derivas elásticas de mayor valor resultan ser en el Sentido X.

Análisis Dinámico

a) Control de la Deriva de Piso Dinámica

En la siguiente Tabla se muestran los valores correspondientes a las derivas dinámicas elásticas obtenidas para cada piso y las derivas inelásticas dinámicas calculadas con la Ecuación 13.

$$\Delta M = 0,75 * R * \Delta E \leq 2\%$$

Tabla 62. Resumen Derivas elásticas y porcentaje de derivas inelásticas dinámicas con el Espectro NEC-2015 y el Espectro Específico – Estructura 3 Pisos

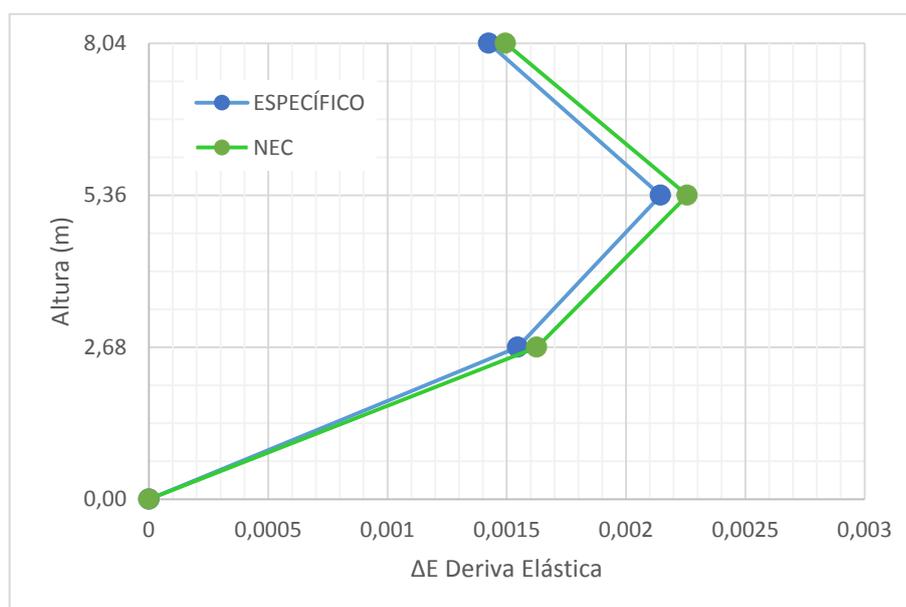
Nivel (m)	NEC 2015				ESPECÍFICO			
	X		Y		X		Y	
	ΔE	ΔM	ΔE	ΔM	ΔE	ΔM	ΔE	ΔM

Nv + 8,04	0,001495	0,90%	0,001368	0,82%	0,001425	0,86%	0,00133	0,80%
Nv + 5,36	0,002257	1,35%	0,001995	1,20%	0,002145	1,29%	0,001935	1,16%
Nv + 2,68	0,001626	0,98%	0,001404	0,84%	0,001546	0,93%	0,001363	0,82%

Elaboración: Cinthya Sosa

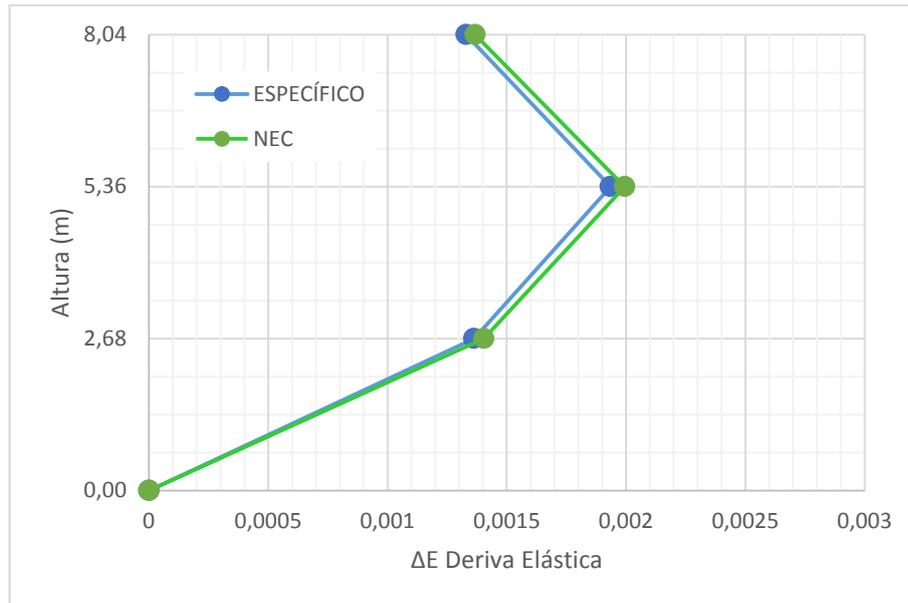
Observación: La estructura de tres pisos presenta deformaciones inelásticas controlables menores al 2% en sus desplazamientos laterales tanto en el sentido X como en el sentido Y.

Figura 46. Comparación de Derivas Elásticas Dinámicas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 3 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 47. Comparación de Derivas Elásticas Dinámicas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 3 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Observación: Para la estructura de tres pisos las derivas predominantes son las generadas por el Espectro NEC en ambos sentidos. Y las derivas elásticas dinámicas de mayor valor resultan ser en el Sentido X.

b) Validación del análisis dinámico

Al tratarse de una estructura regular en planta, pero irregular en elevación se debe verificar que el cortante basal V obtenido del análisis dinámico sea mayor al 85% del cortante basal estático.

Para ello se empleará la Ecuación 18:

$$\frac{V_{\text{dinámico}}}{V_{\text{estático}}} \geq 85\%$$

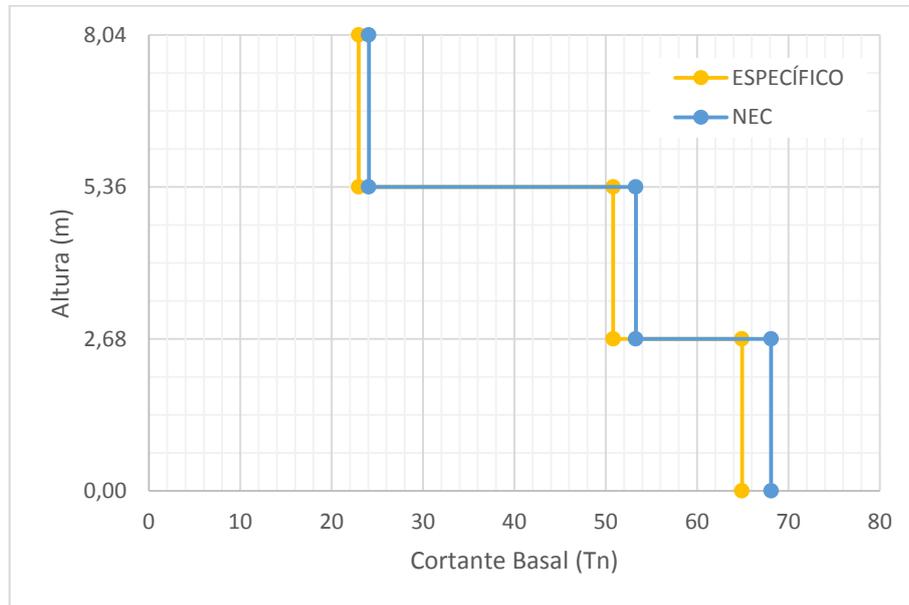
En las siguientes tablas se presentan valores de cortante basal dinámico y estático para el Espectro NEC y Espectro Específico en sentido X y Y, obtenidos de un análisis dinámico y estático para la estructura.

Tabla 63. Resumen Cortante Basal Dinámico y Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en Sentido X para la Estructura de 3 Pisos

Nivel (m)	NEC 2015			ESPECÍFICO		
	V din X	V est X	$\frac{V_{din}}{V_{est}} \%$	V din X	V est X	$\frac{V_{din}}{V_{est}} \%$
Nv + 8,04	21,61 Tn	24,08 Tn	89,74%	20,68Tn	22,96 Tn	90,06%
Nv + 5,36	46,74 Tn	53,30 Tn	87,69%	44,07 Tn	50,82 Tn	86,72%
Nv + 2,68	58,33 Tn	68,11 Tn	85,64%	55,19 Tn	64,93 Tn	85,00%

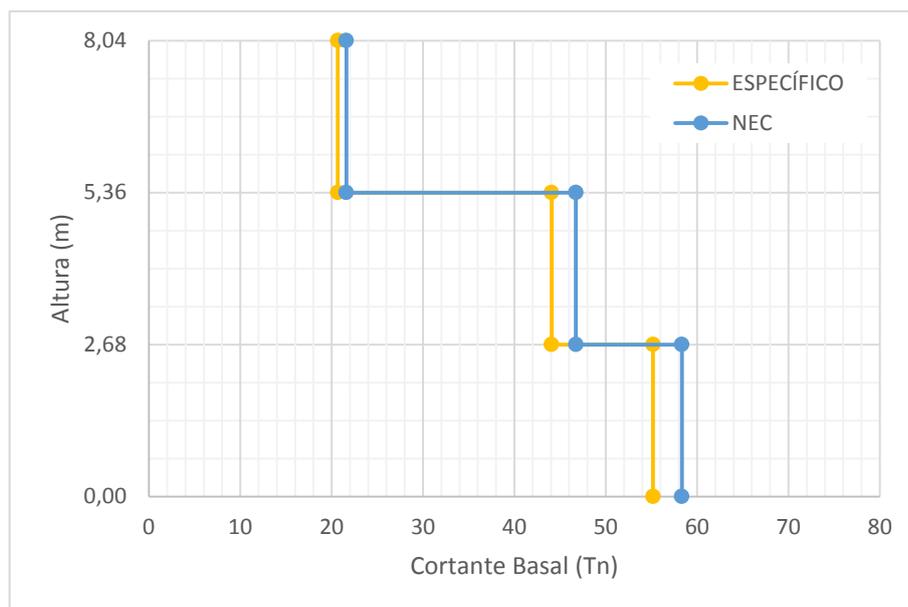
Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 48. Comparación del Cortante Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 3 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 49. Comparación del Cortante Dinámico entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 3 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

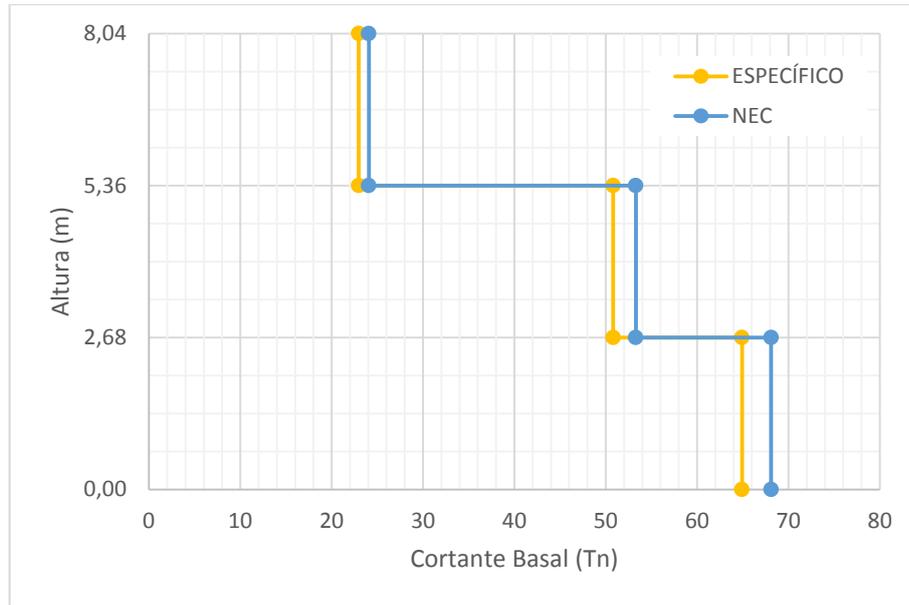
Observación: La distribución del Cortante Basal Estático y Dinámico para la estructura de tres pisos en Sentido X es mayor para el Espectro NEC debido a la máxima aceleración generada por este espectro en comparación con el específico. Es decir, los elementos estructurales se someterán a esfuerzos y desplazamientos mayores con el Espectro NEC.

Tabla 64. Resumen Cortante Basal Dinámico y Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en Sentido Y para la Estructura de 3 Pisos

Nivel (m)	NEC 2015			ESPECÍFICO		
	V din X	V est X	$\frac{V_{din}}{V_{est}} \%$	V din X	V est X	$\frac{V_{din}}{V_{est}} \%$
Nv + 8,04	21,64 Tn	24,08 Tn	89,87%	21,01 Tn	22,96 Tn	91,51%
Nv + 5,36	46,66 Tn	53,30 Tn	87,54%	44,78 Tn	50,82 Tn	88,11%
Nv + 2,68	58,11 Tn	68,11 Tn	85,32%	55,95 Tn	64,93 Tn	86,17%

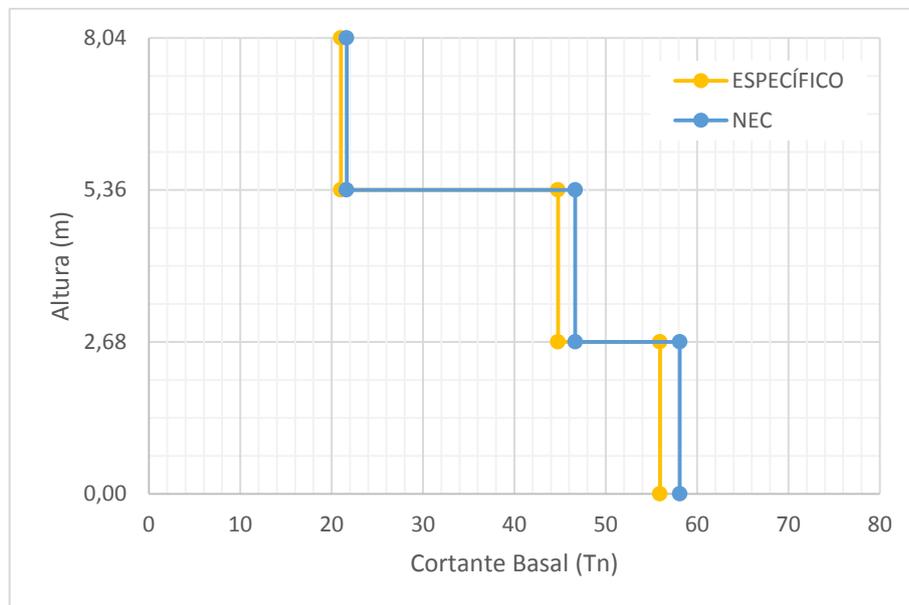
Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 50. Comparación del Cortante Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 3 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 51. Comparación del Cortante Dinámico entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 3 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Observación: La distribución del Cortante Basal Estático y Dinámico para la estructura de tres pisos en Sentido Y es mayor para el Espectro NEC debido a la

máxima aceleración generada por este espectro en comparación con el específico. Es decir, los elementos estructurales se someterán a esfuerzos y desplazamientos mayores con el Espectro NEC.

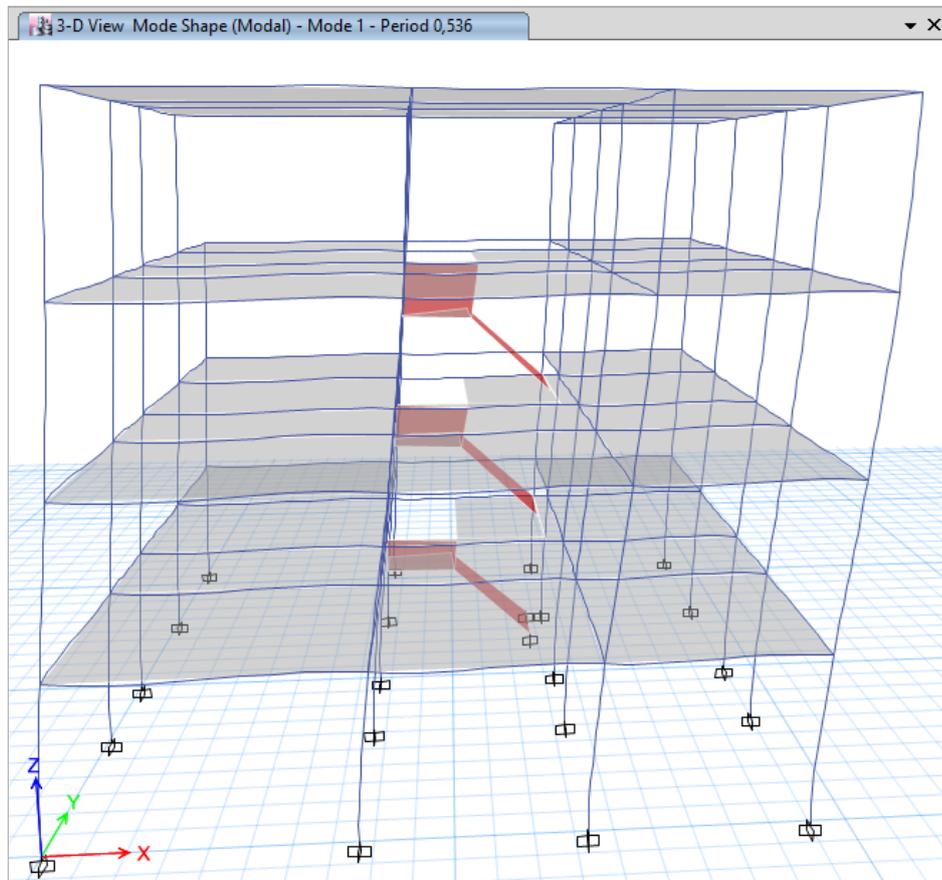
4.2.5.3. Estructura de 4 pisos

Análisis Estático

a) **Períodos de vibración**

Se presenta los periodos límites y periodos calculados con los métodos 1 y 2 respectivamente.

Figura 52. Período límite de vibración - Estructura 4 pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Tabla 65. Valores de períodos T_0 , T_c , T y T_2 - Estructura 4 pisos

Estructura	T_0	T_c	T (calculado)	T_2 (ETABS)
Estructura 4 Pisos	0,13	0,70	0,421	0,536

Elaboración: Cinthya Sosa

Se verifica con la siguiente ecuación, que T_2 no debe ser mayor en un 30% al valor de T .

$$T \leq T_2 \leq 1,3 T$$

$$0,421 \leq 0,536 \leq 0,547$$

Observación: El valor del período fundamental de vibración T_2 para la estructura de cuatro pisos está dentro de los parámetros establecidos por la NEC 2015.

b) Modos de vibración de la estructura

Se emplea la Ecuación 12:

$$\frac{R_z}{U_x \text{ ó } U_y} * 100\% \leq 30\% \text{ traslacional}$$

En la siguiente tabla se encuentra resultados obtenidas del programa ETABS 2016

Tabla 66. Modos de vibración - Estructura de 4 pisos

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0,536	0,4565	0,3234	0,0386
Modal	2	0,473	0,0006	0,1021	0,7225
Modal	3	0,3	0,3334	0,3861	0,0652

Fuente: ETABS 2016 V16

En la siguiente Tabla se presenta el porcentaje de participación modal para la estructura de 4 pisos.

Tabla 67. Modos de vibración – Estructura 4 pisos

Modo	Ux, Uy	Rz	%	Tipo
1	0,4565	0,0386	8,46	Traslacional
2	0,1021	0,7225	707,64	Rotacional
3	0,3861	0,0652	16,89	Traslacional

Elaboración: Cinthya Sosa

Observación: El primer modo de vibración refleja efectos de torsión traslacionales menores al 30%, al contrario del segundo y tercer modo de vibración que no cumplen el porcentaje de torsión esperado. Es decir, el desplazamiento máximo en Y con relación a la rotación sobre el eje Z es mayor al 30%, indicando que la estructura en esta dirección presenta baja rigidez.

c) **Porcentaje de participación de la masa**

La participación de la masa de la estructura de cuatro pisos se detalla a continuación en la siguiente tabla, tomando en cuenta el 90% de participación en las dos direcciones horizontales.

Tabla 68. Porcentaje de participación de la masa – Estructura 4 Pisos

Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,4565	0,3234
Modal	2	0,4571	0,4255
Modal	3	0,7905	0,8116
Modal	4	0,8654	0,8523
Modal	5	0,8668	0,8658
Modal	6	0,9165	0,918
Modal	7	0,9344	0,9465
Modal	8	0,9344	0,9471
Modal	9	0,9745	0,9793
Modal	10	0,9845	0,9862
Modal	11	0,9845	0,9862
Modal	12	0,9846	0,9875

Fuente: ETABS 2016 V16

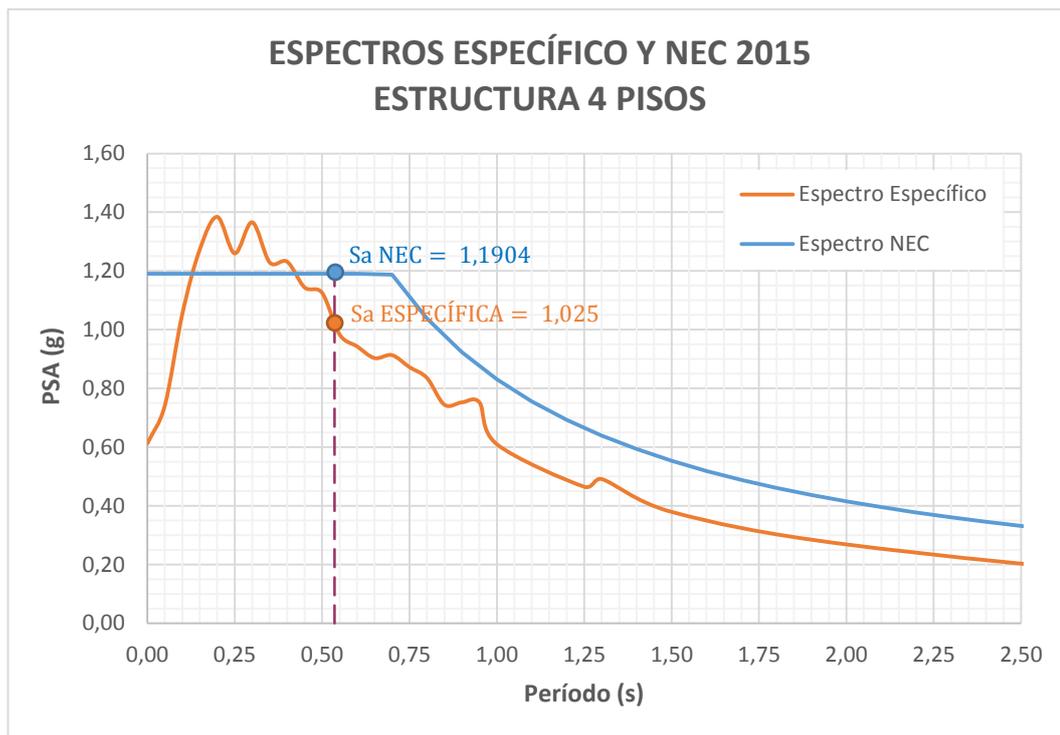
Observación: La acumulación modal del 90% de la masa de la estructura de cuatro pisos sucede en el sexto periodo de vibración con un 91,65% en X y un 91,80% en Y.

d) Control de la Deriva de Piso

Se comprobará que la deriva inelástica sea menor o igual al 2%, para el análisis de Espectro NEC y Espectro Específico.

Este cálculo se lo realiza en base al período $T_2 = 0,536$ (ubicado en el eje de las abscisas), desde ese punto se traza una línea recta hasta los espectros de aceleraciones NEC y Específico, y así podremos obtener las aceleraciones para cada análisis. Para ello se emplea la siguiente figura.

Figura 53. Aceleración para el análisis con espectro NEC y Específico



Elaboración: Cinthya Sosa

– Análisis en función al Espectro NEC

Con la aceleración NEC obtenida de la Figura 53, calculamos los coeficientes C y k (valores ingresados en ETABS, que servirá para el cálculo de las derivas elásticas). Los coeficientes R, ϕ_P y ϕ_E de la Tabla 41. Factores para la reducción de los espectros elásticos

$$C = \frac{I * Sa}{R * \phi_P * \phi_E} = \frac{1 * 1,1904}{8 * 0,9 * 0,9} = 0,1837$$

Como $T_2 = 0,536$, usando la Tabla 13. Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T, k es igual a:

$$k = 0,75 + 0,50 T = 1,018$$

A continuación, se presenta las gráficas y tabla de derivas máximas elásticas estáticas (SISMO X y SISMO Y) obtenidas en ETABS.

Tabla 69. Derivas elásticas estáticas Espectro NEC - Estructura 4 Pisos

SISMO X

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv +9,6	9,6	Top	0,001432	0,000415
Nv +7,2	7,2	Top	0,002121	0,001174
Nv +4,8	4,8	Top	0,00248	0,001417
Nv +2,4	2,4	Top	0,001583	0,000866

SISMO Y

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv +9,6	9,6	Top	0,00035	0,001123
Nv +7,2	7,2	Top	0,000954	0,001729
Nv +4,8	4,8	Top	0,001248	0,002114
Nv +2,4	2,4	Top	0,0008	0,001435

Fuente: ETABS 2016 V16

- Análisis en función al Espectro Específico

Con la aceleración ESPECÍFICA obtenida de la Figura 53, calculamos los coeficientes C y k (valores ingresados en ETABS, que servirá para el cálculo de las derivas elásticas). Los coeficientes R, ϕ_P y ϕ_E de la Tabla 41. Factores para la reducción de los espectros elásticos

$$C = \frac{I * Sa}{R * \phi_P * \phi_E} = \frac{1 * 1,025}{8 * 0,9 * 0,9} = 0,1582$$

Como T = 0,536 , usando la Tabla 13. Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T, k es igual a:

$$k = 0,75 + 0,50 T = 1,018$$

A continuación, se presenta las gráficas y tabla de derivas máximas elásticas estáticas (SISMO X y SISMO Y) obtenidas en ETABS.

Tabla 70. Derivas elásticas estáticas Espectro ESPECÍFICO - Estructura 4 Pisos

SISMO X

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv +9,6	9,6	Top	0,001233	0,000358
Nv +7,2	7,2	Top	0,001826	0,001011
Nv +4,8	4,8	Top	0,002135	0,00122
Nv +2,4	2,4	Top	0,001363	0,000746

SISMO Y

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
Nv +9,6	9,6	Top	0,000302	0,000967
Nv +7,2	7,2	Top	0,000822	0,001489
Nv +4,8	4,8	Top	0,001075	0,001821
Nv +2,4	2,4	Top	0,000689	0,001236

Fuente: ETABS 2016 V16

Obtenemos las derivas inelásticas para cada piso mediante la Ecuación 13:

$$\Delta M = 0,75 * R * \Delta E \leq 2\%$$

Tabla 71. Resumen Derivas elásticas y porcentaje de derivas inelásticas estáticas con el Espectro NEC-2015 y el Espectro Específico – Estructura 4 Pisos

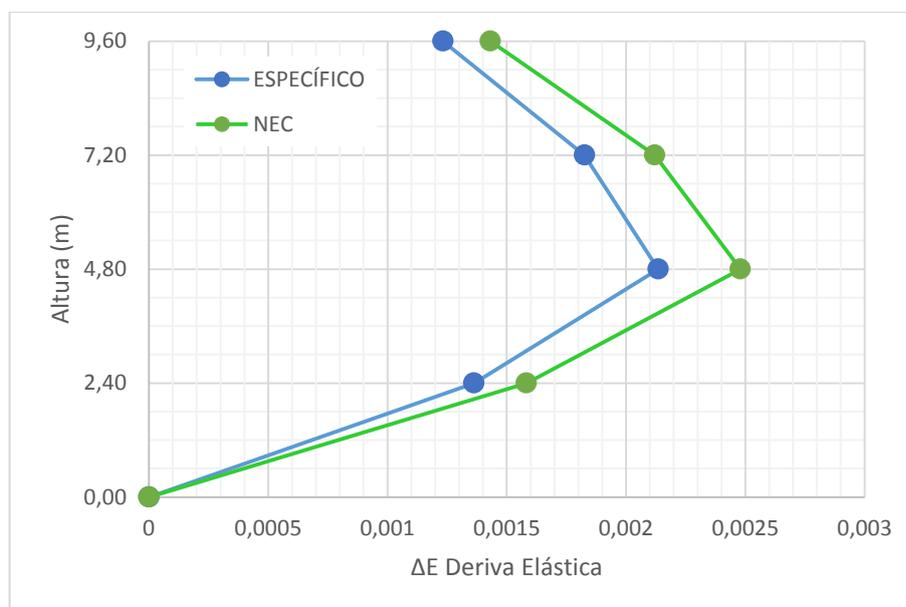
Nivel (m)	NEC 2015				ESPECÍFICO			
	X		Y		X		Y	
	ΔE	ΔM						
Nv + 9,60	0,001432	0,86%	0,001123	0,67%	0,001233	0,74%	0,000967	0,58%

Nv + 7,20	0,002121	1,27%	0,001729	1,04%	0,001826	1,10%	0,001489	0,89%
Nv + 4,80	0,002480	1,49%	0,002114	1,27%	0,002135	1,28%	0,001821	1,09%
Nv + 2,40	0,001583	0,95%	0,001435	0,86%	0,001363	0,82%	0,001236	0,74%

Elaboración: Cinthya Sosa

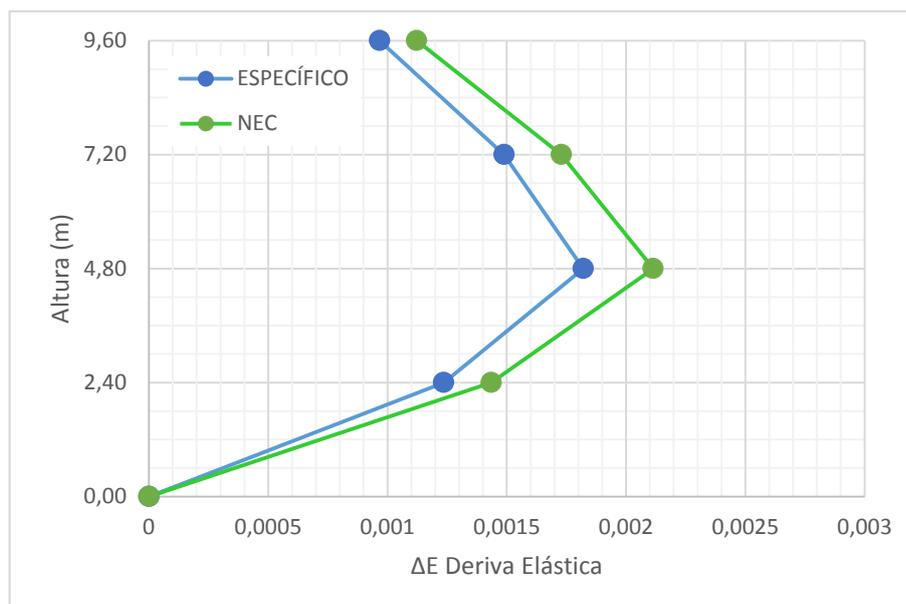
Observación: La estructura de cuatro pisos presenta deformaciones inelásticas controlables menores al 2% en sus desplazamientos laterales tanto en el sentido X como en el sentido Y.

Figura 54. Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 4 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 55. Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 4 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Observación: Para la estructura de cuatro pisos las derivas predominantes son las generadas por el Espectro NEC en ambos sentidos. Y las derivas elásticas dinámicas de mayor valor resultan ser en el Sentido X.

Análisis Dinámico

a) Control de la Deriva de Piso Dinámica

En la siguiente Tabla se muestran los valores correspondientes a las derivas dinámicas elásticas obtenidas para cada piso y las derivas inelásticas dinámicas calculadas con la Ecuación 13.

$$\Delta M = 0,75 * R * \Delta E \leq 2\%$$

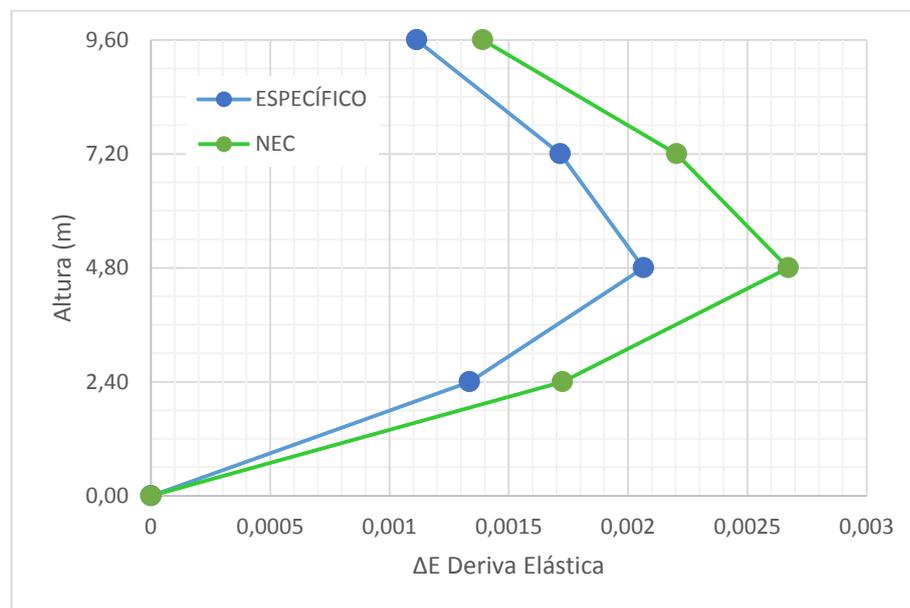
Tabla 72. Resumen Derivas elásticas y porcentaje de derivas inelásticas dinámicas con el Espectro NEC-2015 y el Espectro Específico – Estructura 4 Pisos

Nivel (m)	NEC 2015				ESPECÍFICO			
	X		Y		X		Y	
	ΔE	ΔM						
Nv + 9,60	0,001432	0,86%	0,001123	0,67%	0,001233	0,74%	0,000967	0,58%
Nv + 7,20	0,002121	1,27%	0,001729	1,04%	0,001826	1,10%	0,001489	0,89%
Nv + 4,80	0,002480	1,49%	0,002114	1,27%	0,002135	1,28%	0,001821	1,09%
Nv + 2,40	0,001583	0,95%	0,001435	0,86%	0,001363	0,82%	0,001236	0,74%

Elaboración: Cinthya Sosa

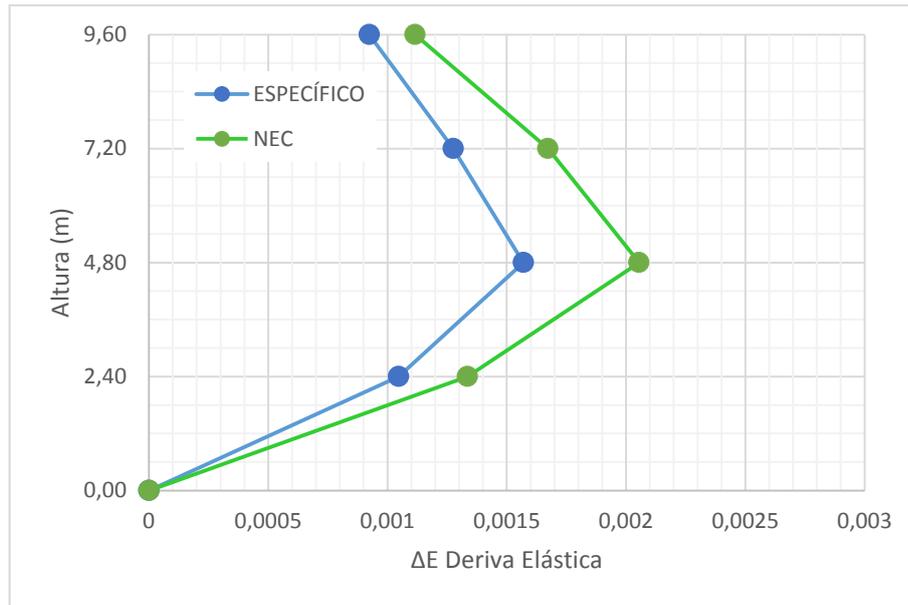
Observación: La estructura de cuatro pisos presenta deformaciones inelásticas controlables menores al 2% en sus desplazamientos laterales tanto en el sentido X como en el sentido Y.

Figura 56. Comparación de Derivas Elásticas Dinámicas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 4 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 57. Comparación de Derivas Elásticas Dinámicas entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 4 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Observación: Para la estructura de cuatro pisos las derivas predominantes son las generadas por el Espectro Específico en ambos sentidos. Y las derivas elásticas dinámicas de mayor valor resultan ser en el Sentido X.

a) Validación del análisis dinámico

Al tratarse de una estructura irregular en elevación y en planta se debe verificar que el cortante basal V obtenido del análisis dinámico sea mayor al 85% del cortante basal estático. Para ello se empleará la Ecuación 18:

$$\frac{V_{\text{dinámico}}}{V_{\text{estático}}} \geq 85\%$$

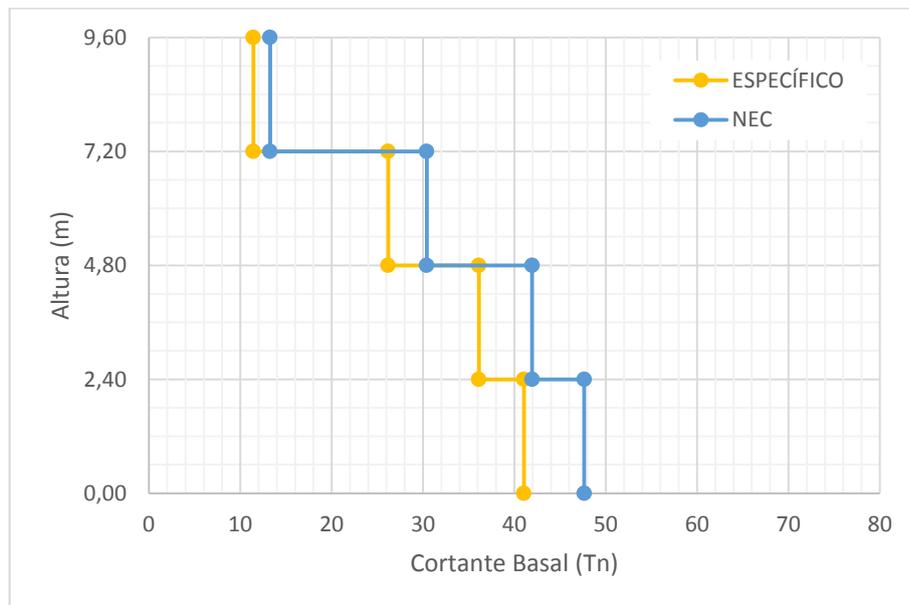
En las siguientes tablas se presentan valores de cortante basal dinámico y estático para el Espectro NEC y Espectro Específico en sentido X y Y, obtenidos de un análisis dinámico y estático para la estructura.

Tabla 73. Resumen Cortante Basal Dinámico y Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en Sentido X para la Estructura de 4 Pisos

Nivel (m)	NEC 2015			ESPECÍFICO		
	V din X	V est X	$\frac{V_{din}}{V_{est}} \%$	V din X	V est X	$\frac{V_{din}}{V_{est}} \%$
Nv+ 9,60	12,15 Tn	13,27 Tn	91,56%	10,73 Tn	11,43 Tn	93,88%
Nv+ 7,20	26,40 Tn	30,41 Tn	86,81%	23,03 Tn	26,18 Tn	87,97%
Nv+ 4,80	36,11 Tn	41,94 Tn	86,10%	31,39 Tn	36,12 Tn	86,90%
Nv+ 2,40	40,60 Tn	47,65 Tn	85,20%	35,26 Tn	41,04 Tn	85,92%

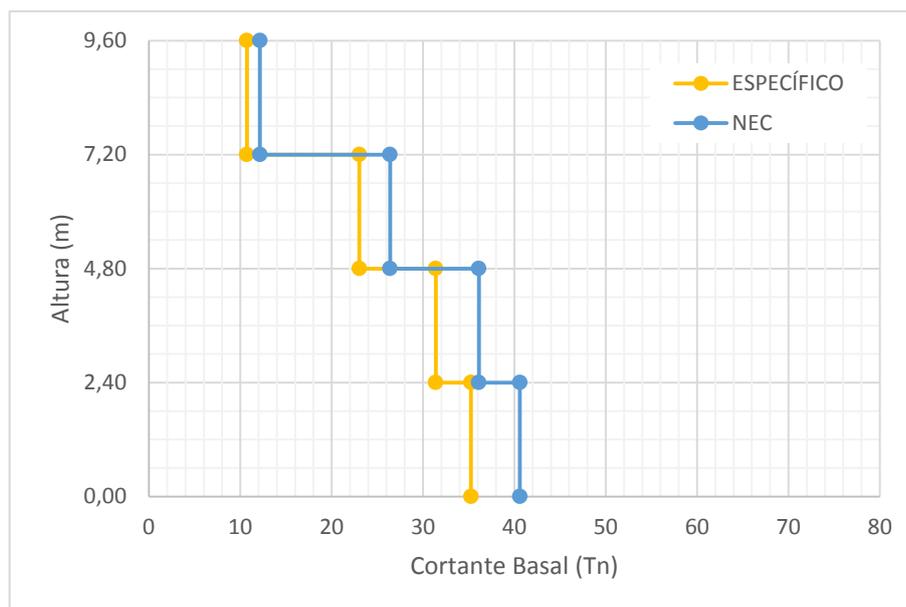
Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 58. Comparación del Cortante Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 4 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 59. Comparación del Cortante Dinámico entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido X para la Estructura de 4 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

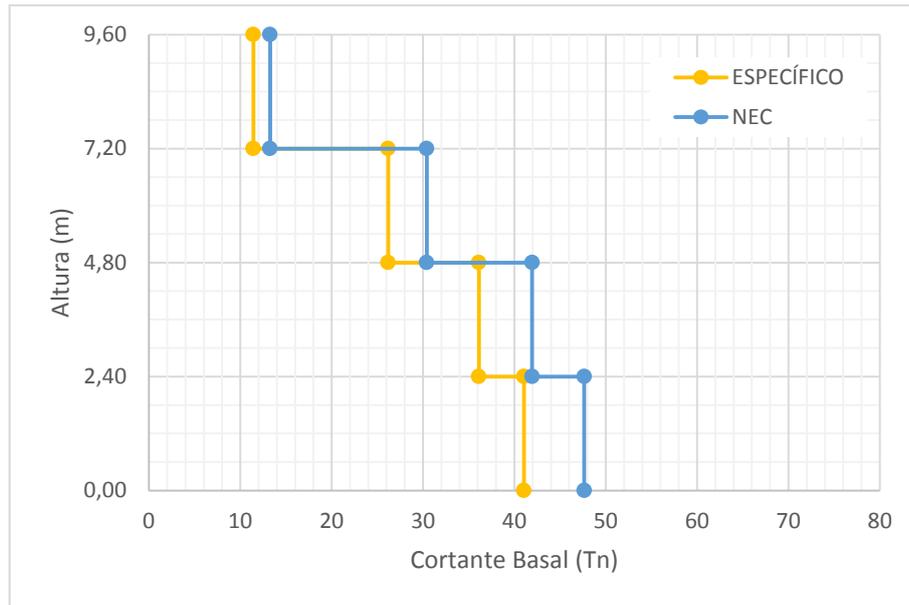
Observación: La distribución del Cortante Basal Estático y Dinámico para la estructura de cuatro pisos en Sentido X es mayor para el Espectro NEC debido a la máxima aceleración generada por este espectro en comparación con el específico. Es decir, los elementos estructurales se someterán a esfuerzos y desplazamientos mayores con el Espectro NEC.

Tabla 74. Resumen Cortante Basal Dinámico y Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en Sentido Y para la Estructura de 4 Pisos

Nivel (m)	NEC 2015			ESPECÍFICO		
	V din Y	V est Y	$\frac{V_{din}}{V_{est}} \%$	V din Y	V est Y	$\frac{V_{din}}{V_{est}} \%$
Nv+ 9,60	11,73 Tn	13,27 Tn	88,39%	10,15 Tn	11,43 Tn	88,80%
Nv+ 7,20	25,85 Tn	30,41 Tn	85,00%	22,27 Tn	26,18 Tn	85,06%
Nv+ 4,80	35,92 Tn	41,94 Tn	85,65%	30,96 Tn	36,12 Tn	85,71%
Nv+ 2,40	40,62 Tn	47,65 Tn	85,25%	35,00 Tn	41,04 Tn	85,28%

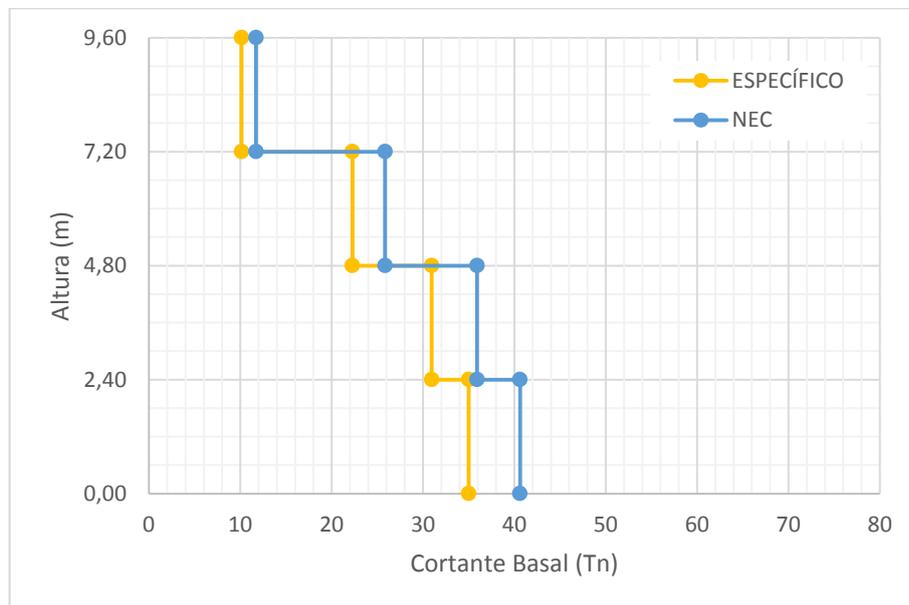
Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 60. Comparación del Cortante Estático entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 4 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Figura 61. Comparación del Cortante Dinámico entre los Espectros NEC 2015 y Específico en el Sentido Y para la Estructura de 4 Pisos



Elaboración: Cinthya Sosa

Observación: La distribución del Cortante Basal Estático y Dinámico para la estructura de cuatro pisos en Sentido Y es mayor para el Espectro NEC debido a la máxima aceleración generada por este espectro en comparación con el

específico. Es decir, los elementos estructurales se someterán a esfuerzos y desplazamientos mayores con el Espectro NEC.

4.3.VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo a la hipótesis planteada en esta investigación “Un estudio de peligro sísmico determinista influye en el comportamiento estructural de las edificaciones del sector Juan León Mera de la Parroquia Huachi Loreto”.

Se afirma que la aplicación del estudio de peligro sísmico determinista a las edificaciones del sector Juan León Mera tiene influencia en su comportamiento estructural debido a que las aceleraciones producidas por el Espectro Específico supera al espectro de la NEC-15 en un período de 0,11 seg a 0,41 seg en donde la aceleración máxima del modelo es de 1,38g; lo cual indica que las edificaciones que poseen periodos dentro de este intervalo presentan un incremento en cortantes y derivas a diferencia de aquellas estructuras en donde el Espectro NEC cubre su comportamiento estructural.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Para el emplazamiento de estudio, por medio de los cinco ensayos de penetración estándar SPT ejecutados, se determinó que en todos los estratos hasta los 2.00 m se tiene un perfil de suelo Tipo D para todos los pozos. De la misma manera se encontró suelo Tipo C en el último metro de cada profundidad alcanzada de 3, 4 y hasta 5m donde culminó el ensayo. Por lo tanto, a partir de esta clasificación litológica, para esta investigación se estableció que en el sector Juan León Mera se tiene suelo Tipo D (arena con finos).
- Por medio de las ecuaciones de atenuación y de la selección de fallas que afecta a la zona de estudio (Falla de Ambato, Huachi, Samanga y Totoras en el régimen cortical y Placa de Nazca en el régimen de subducción), se encontró un Espectro Específico conformado por los valores máximos de aceleraciones de tres ecuaciones de atenuación y dos Fallas: con la Falla de Ambato la ecuación de Kanno de 0 a 1.75seg y la ecuación de Akkar & Bommer en períodos puntuales de 0.33 a 0.46seg y 0.70seg y con la Falla de subducción para valores mayores a 1.75seg la metodología de Zhao predominó su rango de aceleraciones.
- Mediante los resultados obtenidos se determinó que empleando las cinco fallas (Placa de Nazca, Huachi, Ambato, Totoras y Samanga) influyentes al sector Juan León Mera, la que produjo mayores aceleraciones resultó ser la falla local con menor distancia de 2,10 km asociada a Falla de Ambato al régimen cortical.
- Mediante la comparación entre el Espectro Específico para el sector Juan León Mera y el Espectro NEC 2015 se concluye que las aceleraciones del Espectro Específico superan a las aceleraciones del Espectro establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 en un período de

tiempo de 0,11 a 0,41 segundos denominado intervalo crítico, alcanzando una aceleración de 1,38g, valor que supera a la aceleración de 1,1904g del espectro normado.

- Del comportamiento estructural de los tres edificios analizados con las formas espectrales, se establece que para períodos de vibración cortos dentro del rango crítico se producen aceleraciones altas, mayores a las del Espectro NEC como para el caso de la estructura de dos pisos. Mientras que para las estructuras de tres y cuatro pisos el Espectro NEC predomina sobre el comportamiento estructural.
- A partir del análisis lineal estático y dinámico para las diferentes estructuras se obtuvieron derivas y cortantes en sus dos sentidos dominados por el Espectro NEC. Las solicitaciones en el comportamiento estructural de las edificaciones especificados por la normativa se cumplieron en todas las estructuras con ambos espectros.
- Del análisis estructural lineal en sus respectivos desplazamientos, para el edificio de dos pisos se obtuvo resultados de derivas y cortantes dominados por el Espectro Específico debido al incremento de aceleraciones encontradas en el rango del período de vibración crítico. Por otra parte, para las estructuras de tres y cuatro pisos la distribución del cortante basal y el resultado de derivas fueron mayores con el Espectro NEC.

5.2. RECOMENDACIONES

- Considerando que las características del suelo representan una parte importante dentro de las ecuaciones de atenuación y a pesar de que se generalizó el Tipo de perfil de suelo para el sector en esta investigación, se recomienda realizar estudios geotécnicos propios al lugar de construcción para que los resultados sean más cercanos a la realidad a si evitar futuros daños en las estructuras.
- El estudio de las ecuaciones de atenuación cada vez es más amplio y se siguen generando nuevos modelos a nivel mundial, por ello es necesario actualizar la utilización de nuevas ecuaciones, con ello obtendremos resultados más reales del lugar inmerso en estudio.
- Para el diseño de futuras construcciones dentro del emplazamiento de estudio de la presente investigación, se recomienda el uso del Espectro Específico para edificaciones que presenten períodos de vibración dentro del rango crítico (0,11seg a 0,41seg), y para las demás edificaciones se sugiere emplear el Espectro NEC.
- Además de un análisis lineal se recomienda evaluar el desempeño estructural con un análisis no lineal especialmente para estructuras que tengan períodos de vibración, los cuales se ubiquen dentro del intervalo crítico.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. M. Taipe Acosta, «Análisis de las ecuaciones de predicción de movimientos de suelo para el Ecuador utilizando datos registrados durante el período 2000 - 2011 en estaciones sísmicas de banda ancha y acelerógrafos,» Junio 2013. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6447>.
- [2] R. Aguiar Falconí, E. García y J. Villamarín , «Leyes de atenuación para sismos corticales y de subducción para el Ecuador,» 2010. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/266877479_LEYES_DE_ATENUACION_PARA_SISMOS_CORTICALES_Y_DE_SUBDUCCION_PARA_EL_ECUADOR.
- [3] O. C. Ortiz Panchi, «Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador,» 2013. [En línea]. Available: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf>.
- [4] «Norma Ecuatoriana NEC - SE - DS, Peligro Sísmico-Diseño Sismoresistente,» 2015.
- [5] F. P. Cobos Torres, «Estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi,» 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25147>.
- [6] C. J. Castro Chang, «Actualización de la evaluación del riesgo sísmico de edificios de estructura mixta en los sectores con mayor riesgo sísmico de Guayaquil,» 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1112>.
- [7] A. M. Bolaños Luna y O. M. Monroy Concha, «Espectros de Pígo Sísmico Uniforme,» 2004. [En línea]. Available: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1331>.
- [8] C. «Mapa de las Placas Tectónicas,» [En línea]. Available: <http://clebinho.pro.br/wp/wp-content/uploads/2016/04/placas-tectonicas.png>.
- [9] M. Rodríguez, «Geomorfología y tectónica de placas,» 2013. [En línea]. Available: <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/BioMarina/02.pdf>.
- [10] C. Rodríguez, «Límites de las placas,» [En línea]. Available: http://iespoetaclaudio.centros.educa.jcyl.es/sitio/index.cgi?wid_item=1728&wid_seccion=19.
- [11] S. Klarica, «La Física y la Tierra,» 2010. [En línea]. Available:

http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/klarica/Clases/FISICA_TIERRA.pdf.

- [12] S. Caldera, «Movimientos de las Placas Tectónicas, tipos de límites y tipos de fallas geológicas,» [En línea]. Available: <https://steemit.com/geology/@stefanycaldera/movimientos-de-las-placas-tectonicas-tipos-de-limites-y-tipos-de-fallas-geologicas>.
- [13] T. Hanks y H. Kanamori, «A Moment Magnitude Scale,» [En línea]. Available: <https://scits.stanford.edu/hanks-t-c-and-h-kanamori-1979-moment-magnitude-scale-journal-geophysical-research-84-5-2348-2350>.
- [14] C. Wells, «Nuevas relaciones empíricas entre la magnitud, longitud de rotura, ancho de rotura, ruptura de la zona y desplazamiento de la superficie,» Agosto 1994. [En línea]. Available: <http://seismo.berkeley.edu/~rallen/teaching/eps256-s07/WellsCoppersmith1994.pdf>.
- [15] Z. Aguilar Bardales, «Análisis de peligro sísmico y estimado del movimiento sísmico de diseño,» 2016. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/237684107_ANALISIS_DE_PELIGRO_SISMICO_Y_ESTIMADO_DEL_MOVIMIENTO_SISMICO_DE_DISENO.
- [16] P. Quinde Martínez y E. Reinoso Angulo, «Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca,» 2016. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001.
- [17] R. Saragoni, «Terremoto de Chile del 27 de Febrero del 2010 Mw=8.8,» [En línea]. Available: https://issuu.com/laraditzel/docs/2010.04.10_rodolfo_saragoni.
- [18] D. M. Boore y G. M. Atkinson, «Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01 s,» 2008. [En línea]. Available: http://www.daveboore.com/pubs_online/subduction_equations.pdf.
- [19] S. Akkar y J. J. Bommer, «Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East,» 2010. [En línea]. Available: <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/srl/article-abstract/81/2/195/143661/empirical-equations-for-the-prediction-of-pga-pgv?redirectedFrom=fulltext>.
- [20] T. Kanno, A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara y Y. Fukushima, «A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded

- Data,» 2006. [En línea]. Available: <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/96/3/879/146775/a-new-attenuation-relation-for-strong-ground?redirectedFrom=fulltext>.
- [21] R. R. Youngs y S. J. Chiou, «Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes,» 1997. [En línea]. Available: <http://www.pacificengineering.org/GM%20Attenuation/Strong%20GM%20Attenuation.pdf>.
- [22] J. X. Zhao y e. al., «Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period,» 2006. [En línea]. Available: <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/96/3/898/146759>.
- [23] S. I. Pérez, M. A. Muñoz, G. A. Carbó y F. J. J. Ruiz, «Correlaciones empíricas entre la velocidad de propagación de las ondas S (Vs) y otros parámetros geotécnicos para los suelos de Madrid,» 2012. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Alfonso_Munoz-Martin/publication/233810663_Correlaciones_empiricas_entre_la_velocidad_de_propagacion_de_las_ondas_s_Vs_y_otros_parametros_geotecnicos_para_los_suelos_de_Madrid/links/00b4951ee9d22d77b8000000/Correlacion.
- [24] «Norma INEN Designación: NTE INEN 689, Mecánica de suelos Ensayo de Penetración Estándar,» Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005.
- [25] «Norma Mexicana M-MMP-1-11/03, Método de muestreo y Prueba de materiales, Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México,» 2003.
- [26] R. Borchardt, «Estimates of Site-Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification),» [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/249872802_Estimates_of_Site-Dependent_Response_Spectra_for_Design_Methodology_and_Justification.
- [27] R. Aguiar Falconí, Microzonificación sísmica de Quito, Quito, 2017.
- [28] F. Leiva Zea, Nociones de metodología de Investigación Científica, Quito, 1996.
- [29] E. L. Herrera, F. A. Medina y L. G. Naranjo, Tutoría de la Investigación Científica, Quito, 2004.
- [30] Google Maps, «Sector Juan León Mera,» [En línea]. Available: <https://www.google.com.ec/maps/place/Juan+Leon+Mera,+Ambato+180201/@-1.2402859,-78.6210349,17z/data=!4m13!1m7!3m6!1s0x91d381a408f29d33:0xcdaffd8b4ad70f>

a0!2sJuan+Leon+Mera,+Ambato+180201!3b1!8m2!3d-1.2413456!4d-78.6185941!3m4!1s0x91d381a408f29d33:0xcdaffd8.

- [31] «Norma Ecuatoriana NEC - SE - CM, Geotécnia y Cimentaciones,» 2015.
- [32] Neotectonic Open Database, «NeoTec - Fallas activas,» [En línea]. Available: <http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?url=http%3A%2F%2Fvmneotec-dev.ird.fr%3A8080%2Farcgis%2Frest%2Fservices%2FNeoTec%2FEcuador%2FMapServer&source=sd>.
- [33] A. Eguez, A. Alvarado, H. Yepes, M. Machette, C. Costa y R. Dart, «Database and Map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions,» 2003. [En línea]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.593.980&rep=rep1&type=pdf>.
- [34] Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, «Informes Sísmicos Especiales de cada año,» [En línea]. Available: <http://www.igepn.edu.ec/informes-sismicos/sismicos-anuales?limit=100>.
- [35] «Norma Ecuatoriana NEC - SE - CG, Cargas no sísmicas,» 2015.
- [36] A. Alvarado, «Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Equateur,» 2012. [En línea]. Available: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00870332/document>.

2. ANEXOS

ANEXO A



Fotografía 1. Realización del Ensayo de Penetración Estándar SPT



Fotografía 2. Suelo retenido en el muestreador



Fotografía 3. Perforación realizada por el equipo SPT



Fotografía 4. Ensayo granulométrico empleando la tamizadora eléctrica



Fotografía 5. Pesando la muestra del Pozo 1; Nv. -3,00 m



Fotografía 6. Muestras de suelo colocadas en el horno



Fotografía 7. Estructura de 2 Pisos



Fotografía 8. Estructura de 3 Pisos



Fotografía 9. Estructura de 4 Pisos

ANEXO B

B - 1. Coeficientes de escala de magnitud

Período	e_1	e_2	e_3	e_4
PGA	-0,53804	-0,50350	-0,75472	-0,50970
0,01	-0,52883	-0,49429	-0,74551	-0,49966
0,02	-0,52192	-0,48508	-0,73906	-0,48895
0,03	-0,45285	-0,41831	-0,66722	-0,42229
0,05	-0,28476	-0,25022	-0,48462	-0,26092
0,075	0,00767	0,04912	-0,20578	0,02706
0,10	0,20109	0,23102	0,03058	0,22193
0,15	0,46128	0,48661	0,30185	0,49328
0,20	0,57180	0,59253	0,40860	0,61472
0,25	0,51884	0,53496	0,33880	0,57747
0,30	0,43825	0,44516	0,25356	0,51990
0,40	0,39220	0,40602	0,21398	0,46080
0,50	0,18957	0,19878	0,00967	0,26337
0,75	-0,21338	-0,19496	-0,49176	-0,10813
1,00	-0,46896	-0,43443	-0,78465	-0,39330
1,50	-0,86271	-0,79593	-1,20902	-0,88085
2,00	-1,22652	-1,15514	-1,57697	-1,27669
3,00	-1,82979	-1,74690	-2,22584	-1,91814
4,00	-2,24656	-2,15906	-2,58228	-2,38168
5,00	-1,28408	-1,21270	-1,50904	-1,41093
7,50	-1,43145	-1,31632	-1,81022	-1,59217
10,00	-2,15446	-2,16137	-2,53323	-2,14635

Fuente: Modelo Atkinson y Boore 2008

B - 2. Coeficientes de escala de magnitud

e_5	e_6	e_7	M_h
0,28805	-0,10164	0,00000	6,75
0,28897	-0,10019	0,00000	6,75
0,25144	-0,11006	0,00000	6,75
0,17976	-0,12858	0,00000	6,75
0,06369	-0,15752	0,00000	6,75
0,01170	-0,17051	0,00000	6,75
0,04697	-0,15948	0,00000	6,75
0,17990	-0,14539	0,00000	6,75
0,52729	-0,12964	0,00102	6,75
0,60880	-0,13843	0,08607	6,75
0,64472	-0,15694	0,10601	6,75
0,78610	-0,07843	0,02262	6,75
0,76837	-0,09054	0,00000	6,75
0,75179	-0,14053	0,10302	6,75
0,67880	-0,18257	0,05393	6,75
0,70689	-0,25950	0,19082	6,75
0,77989	-0,29657	0,29888	6,75
0,77966	-0,45384	0,67466	6,75
1,24961	-0,35874	0,79508	6,75
0,14271	-0,39006	0,00000	8,50
0,52407	-0,37578	0,00000	8,50
0,40387	-0,48492	0,00000	8,50

Fuente: Modelo Atkinson y Boore 2008

B - 3. Coeficientes de escala de distancia ($M_{ref} = 4,5$ y $R_{ref} = 1,0$ km para todos los períodos, excepto $R_{ref} = 5,0$ km para *pga4nl*)

Período	c₁	c₂	c₃	h
PGA	-0,66050	0,11970	-0,01151	1,35
0,01	-0,66220	0,12000	-0,01151	1,35
0,02	-0,66600	0,12280	-0,01151	1,35
0,03	-0,69010	0,12830	-0,01151	1,35
0,05	-0,71700	0,13170	-0,01151	1,35
0,075	-0,72050	0,12370	-0,01151	1,55
0,10	-0,70810	0,11170	-0,01151	1,68
0,15	-0,69610	0,09884	-0,01113	1,86
0,20	-0,58300	0,04273	-0,00952	1,98
0,25	-0,57260	0,02977	-0,00837	2,07
0,30	-0,55430	0,01955	-0,00750	2,14
0,40	-0,64430	0,04394	-0,00626	2,24
0,50	-0,69140	0,06080	-0,00540	2,32
0,75	-0,74080	0,07518	-0,00409	2,46
1,00	-0,81830	0,10270	-0,00334	2,54
1,50	-0,83030	0,09793	-0,00255	2,66
2,00	-0,82850	0,09432	-0,00217	2,73
3,00	-0,78440	0,07282	-0,00191	2,83
4,00	-0,68540	0,03758	-0,00191	2,89
5,00	-0,50960	-0,02391	-0,00191	2,93
7,50	-0,37240	-0,06568	-0,00191	3,00
10,00	-0,09824	-0,13800	-0,00191	3,04

Fuente: Modelo Atkinson y Boore 2008

B - 4. Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del período

Período	b_{lin}	b_1	b_2
PGA	-0,36	-0,64	-0,14
0,01	-0,36	-0,64	-0,14
0,02	-0,34	-0,63	-0,12
0,03	-0,33	-0,62	-0,11
0,05	-0,29	-0,64	-0,11
0,075	-0,23	-0,64	-0,11
0,10	-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	-0,291	0,00
7,50	-0,692	-0,247	0,00
10,00	-0,65	-0,215	0,00

Fuente: Modelo Atkinson y Boore 2008

ANEXO C

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

Período	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
0,00	1,0416	0,9133	-0,0814	-2,9273	0,2812	7,8664
0,05	2,1153	0,7257	-0,0735	-3,3320	0,3353	7,7473
0,10	2,1199	0,7518	-0,0745	-3,1054	0,3025	8,2141
0,15	1,6449	0,8368	-0,0754	-2,7585	0,2549	8,3179
0,20	0,9207	0,9682	-0,079	-2,4926	0,2179	8,2191
0,25	0,1398	1,1307	-0,0876	-2,3382	0,2009	7,2069
0,30	-0,8401	1,3744	-0,1035	-2,1912	0,1814	6,5430
0,35	-1,3221	1,4706	-0,1087	-2,1299	0,1749	6,2475
0,40	-1,7032	1,5593	-0,1139	-2,1272	0,1714	6,5717
0,45	-1,9720	1,6165	-0,1174	-2,1662	0,177	6,7808
0,50	-2,7693	1,8327	-0,132	-2,1297	0,1688	7,1742
0,55	-3,5167	2,0252	-0,145	-2,0421	0,1562	6,7617
0,60	-3,9276	2,0847	-0,1465	-1,8814	0,1362	6,101
0,65	-4,4949	2,2115	-0,1552	-1,7903	0,1292	5,1914
0,70	-4,6293	2,2176	-0,1549	-1,7980	0,135	4,4632
0,75	-4,9505	2,2914	-0,1598	-1,8132	0,1392	4,2795
0,80	-5,3286	2,3839	-0,1657	-1,7727	0,1327	4,3701
0,85	-5,7580	2,5064	-0,1748	-1,7707	0,1310	4,6219
0,90	-5,8269	2,5029	-0,1737	-1,7630	0,1306	4,6539
0,95	-5,9059	2,5141	-0,1742	-1,7985	0,1354	4,8454
1,00	-6,1707	2,5856	-0,1794	-1,8072	0,136	4,976
1,05	-6,6034	2,6958	-0,1865	-1,7384	0,1249	5,0449
1,10	-6,9038	2,7704	-0,1917	-1,7111	0,1223	5,0098
1,15	-6,9618	2,7586	-0,1889	-1,6659	0,1145	5,089
1,20	-6,9924	2,7343	-0,1849	-1,5912	0,1027	5,0327
1,25	-6,7461	2,6238	-0,1739	-1,5289	0,0913	5,0835
1,30	-6,5172	2,5187	-0,1633	-1,4653	0,0801	5,1442
1,35	-6,5582	2,5224	-0,1631	-1,4822	0,0817	5,2901
1,40	-6,6195	2,5261	-0,1627	-1,4826	0,0821	5,3349
1,45	-6,6274	2,4986	-0,1591	-1,4331	0,0758	5,1941
1,50	-6,7179	2,4949	-0,1569	-1,3530	0,0638	5,1575

1,55	-6,8078	2,5029	-0,1563	-1,3123	0,0570	5,2744
1,60	-6,8363	2,5101	-0,1568	-1,3326	0,0587	5,5454
1,65	-6,8868	2,5405	-0,1600	-1,4093	0,0686	5,9383
1,70	-6,9460	2,5715	-0,1629	-1,4768	0,0767	6,366
1,75	-7,0917	2,6294	-0,1679	-1,5404	0,0843	6,8229
1,80	-7,2282	2,6682	-0,1706	-1,5427	0,0833	7,116
1,85	-7,2977	2,6757	-0,1700	-1,5094	0,0766	7,3193
1,90	-7,3552	2,6775	-0,1693	-1,4699	0,0707	7,2599
1,95	-7,4072	2,6821	-0,1691	-1,4382	0,0653	7,2534
2,00	-7,5040	2,7100	-0,1713	-1,444	0,066	7,2606
2,05	-7,5560	2,7274	-0,1729	-1,4579	0,0677	7,4032
2,10	-7,5346	2,7171	-0,1722	-1,4666	0,0694	7,4617
2,15	-7,5081	2,7104	-0,1721	-1,4968	0,0743	7,5127
2,20	-8,0917	2,9116	-0,1892	-1,5564	0,0843	7,7706
2,25	-8,1106	2,9209	-0,1904	-1,5954	0,0905	7,8770
2,30	-8,1627	2,9333	-0,1916	-1,6046	0,0928	7,9175
2,35	-7,9470	2,8533	-0,1854	-1,5743	0,0908	7,6196
2,40	-7,9668	2,8536	-0,1856	-1,5783	0,0929	7,5964
2,45	-7,9788	2,8490	-0,1853	-1,5773	0,0943	7,5034
2,50	-7,8840	2,8182	-0,1832	-1,6038	0,0989	7,5395
2,55	-7,6810	2,7572	-0,1791	-1,6521	0,1068	7,6189
2,60	-7,7257	2,8204	-0,1872	-1,8878	0,1405	8,1225
2,65	-7,5329	2,7482	-0,1814	-1,8953	0,1436	7,9224
2,70	-7,4159	2,6901	-0,1763	-1,8704	0,1428	7,5000
2,75	-7,3454	2,6535	-0,1731	-1,8608	0,1434	7,2667
2,80	-7,2456	2,6103	-0,1695	-1,8561	0,1444	7,1186
2,85	-7,0711	2,5612	-0,1662	-1,9042	0,1513	7,3628
2,90	-6,9933	2,5270	-0,1630	-1,897	0,1504	7,4504
2,95	-6,9567	2,5101	-0,1614	-1,9013	0,1508	7,6023
3,00	-6,9292	2,4590	-0,1551	-1,7680	0,1331	7,2195

Fuente: Modelo Akkar y Boomer 2010

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

b_7	b_8	b_9	b_{10}	σ_1	σ_2
0,0875	0,0153	-0,0419	0,0802	0,2610	0,0994
0,0471	-0,0243	-0,0426	0,0865	0,2720	0,1142
0,0267	-0,0006	-0,0491	0,0791	0,2728	0,1167
0,0258	0,0170	-0,0418	0,0784	0,2788	0,1192
0,0656	0,0211	-0,0210	0,0844	0,2821	0,1081
0,0981	0,0392	-0,0485	0,0858	0,2871	0,0990
0,1285	0,0434	-0,0555	0,0922	0,2902	0,0976
0,1621	0,0670	-0,0472	0,0900	0,2983	0,1054
0,2122	0,0920	-0,0515	0,0990	0,2998	0,1101
0,2412	0,1168	-0,0520	0,0994	0,3037	0,1123
0,2594	0,1356	-0,0428	0,0858	0,3078	0,1163
0,265	0,1445	-0,0426	0,0695	0,307	0,1274
0,2772	0,1516	-0,0385	0,0593	0,3007	0,143
0,2857	0,1524	-0,0342	0,0511	0,3004	0,1546
0,3035	0,1565	-0,0415	0,0466	0,2978	0,1626
0,3152	0,1633	-0,0405	0,0425	0,2973	0,1602
0,3215	0,1737	-0,0395	0,0337	0,2927	0,1584
0,3352	0,1848	-0,0379	0,0287	0,2917	0,1543
0,3485	0,1906	-0,0288	0,0248	0,2915	0,1521
0,3592	0,1941	-0,0221	0,025	0,2912	0,1484
0,3662	0,1952	-0,0227	0,0212	0,2895	0,1483
0,3728	0,1946	-0,0261	0,0112	0,2888	0,1465
0,3776	0,1942	-0,0266	0,0014	0,2896	0,1427
0,3815	0,1940	-0,0209	0,0015	0,2871	0,1435
0,3812	0,1931	-0,0162	0,0041	0,2878	0,1439
0,3878	0,1939	-0,0183	0,0041	0,2863	0,1453
0,3886	0,1927	-0,019	-0,0037	0,2869	0,1427
0,3868	0,1908	-0,0184	-0,009	0,2885	0,1428
0,3863	0,1929	-0,0161	-0,0088	0,2875	0,1458
0,3829	0,1916	-0,0129	-0,0056	0,2857	0,1477

0,3787	0,1881	-0,0121	-0,0022	0,2839	0,1468
0,3727	0,1857	-0,0085	-0,0005	0,2845	0,145
0,3695	0,1815	-0,0053	-6E-05	0,2844	0,1457
0,3653	0,1762	-0,0085	-0,003	0,2841	0,1503
0,3594	0,1730	-0,0120	-0,0074	0,2840	0,1537
0,3528	0,1695	-0,0139	-0,0139	0,2840	0,1558
0,3478	0,1674	-0,0140	-0,0149	0,2834	0,1582
0,3456	0,1673	-0,0153	-0,0119	0,2828	0,1592
0,3414	0,1633	-0,0156	-0,0070	0,2826	0,1611
0,3372	0,1617	-0,0185	-0,0035	0,2832	0,1642
0,3330	0,1584	-0,0226	-0,0049	0,2835	0,1657
0,3301	0,1550	-0,0263	-0,0073	0,2836	0,1665
0,3265	0,1534	-0,0292	-0,0087	0,2832	0,1663
0,3244	0,1526	-0,0348	-0,0123	0,2830	0,1661
0,3135	0,1443	-0,0399	-0,0193	0,2830	0,1627
0,3100	0,1443	-0,0416	-0,0232	0,2830	0,1627
0,3083	0,1441	-0,0424	-0,0263	0,2829	0,1633
0,3207	0,1432	-0,0496	-0,0234	0,2815	0,1632
0,3180	0,1430	-0,0491	-0,0257	0,2826	0,1645
0,3140	0,1432	-0,0481	-0,0264	0,2825	0,1665
0,3110	0,1433	-0,0471	-0,0277	0,2818	0,1681
0,3088	0,1434	-0,0461	-0,0282	0,2818	0,1688
0,3112	0,1426	-0,0511	-0,0297	0,2838	0,1741
0,3094	0,1422	-0,0502	-0,0293	0,2845	0,1759
0,3069	0,1407	-0,0489	-0,0296	0,2854	0,1772
0,3064	0,1405	-0,0474	-0,0292	0,2862	0,1783
0,3053	0,1392	-0,0473	-0,0275	0,2867	0,1794
0,3051	0,1393	-0,0452	-0,0278	0,2869	0,1788
0,3036	0,1378	-0,0420	-0,0262	0,2874	0,1784
0,2999	0,1358	-0,0386	-0,0249	0,2872	0,1783
0,2977	0,1320	-0,0386	-0,0247	0,2876	0,1785

Fuente: Modelo Akkar y Boomer 2010

ANEXO D

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

Período	a_1	b_1	c_1	d_1	ε_1	p	q
0,00	0,56	-0,0031	0,26	0,0055	0,37	-0,55	1,35
0,05	0,54	-0,0035	0,48	0,0061	0,37	-0,32	0,80
0,06	0,54	-0,0037	0,57	0,0065	0,38	-0,26	0,65
0,07	0,53	-0,0039	0,67	0,0066	0,38	-0,24	0,60
0,08	0,52	-0,004	0,75	0,0069	0,39	-0,26	0,64
0,09	0,52	-0,0041	0,80	0,0071	0,40	-0,29	0,72
0,10	0,52	-0,0041	0,85	0,0073	0,40	-0,32	0,78
0,11	0,50	-0,004	0,96	0,0061	0,40	-0,35	0,84
0,12	0,51	-0,004	0,93	0,0062	0,40	-0,39	0,94
0,13	0,51	-0,0039	0,91	0,0062	0,40	-0,43	1,04
0,15	0,52	-0,0038	0,89	0,0060	0,41	-0,53	1,28
0,17	0,53	-0,0037	0,84	0,0056	0,41	-0,61	1,47
0,20	0,54	-0,0034	0,76	0,0053	0,40	-0,68	1,65
0,22	0,54	-0,0032	0,73	0,0048	0,40	-0,72	1,74
0,25	0,54	-0,0029	0,66	0,0044	0,40	-0,75	1,82
0,30	0,56	-0,0026	0,51	0,0039	0,39	-0,8	1,96
0,35	0,56	-0,0024	0,42	0,0036	0,40	-0,85	2,09
0,40	0,58	-0,0021	0,26	0,0033	0,40	-0,87	2,13
0,45	0,59	-0,0019	0,13	0,0030	0,41	-0,89	2,18
0,50	0,59	-0,0016	0,04	0,0022	0,41	-0,91	2,25
0,60	0,62	-0,0014	-0,22	0,0025	0,41	-0,92	2,30
0,70	0,63	-0,0012	-0,37	0,0022	0,41	-0,96	2,41
0,80	0,65	-0,0011	-0,54	0,002	0,41	-0,98	2,46
0,90	0,68	-0,0009	-0,80	0,0019	0,41	-0,97	2,44
1,00	0,71	-0,0009	-1,04	0,0021	0,41	-0,93	2,32
1,10	0,72	-0,0007	-1,19	0,0018	0,41	-0,92	2,30
1,20	0,73	-0,0006	-1,32	0,0014	0,41	-0,91	2,26

1,30	0,74	-0,0006	-1,44	0,0014	0,41	-0,88	2,20
1,50	0,77	-0,0005	-1,70	0,0017	0,40	-0,85	2,12
1,70	0,79	-0,0005	-1,89	0,0019	0,39	-0,83	2,06
2,00	0,80	-0,0004	-2,08	0,0020	0,39	-0,78	1,92
2,20	0,82	-0,0004	-2,24	0,0022	0,38	-0,76	1,88
2,50	0,84	-0,0003	-2,46	0,0023	0,38	-0,72	1,80
3,00	0,86	-0,0002	-2,72	0,0021	0,38	-0,68	1,70
3,50	0,90	-0,0003	-2,99	0,0032	0,37	-0,66	1,64
4,00	0,92	-0,0005	-3,21	0,0045	0,38	-0,62	1,54
4,50	0,94	-0,0007	-3,39	0,0064	0,38	-0,60	1,50
5,00	0,92	-0,0004	-3,35	0,003	0,38	-0,59	1,46

Fuente: Modelo Kanno 2006

ANEXO E

E - 1. Relaciones de atenuación para aceleración espectral de respuesta horizontal
(amortiguación del 5%) para eventos de subducción

Período	c_1	c_2	c_3	c_4^*	c_5^*
0,00	0,000	0,0000	-2,329	1,45	-0,1
0,075	2,400	-0,0019	-2,697	1,45	-0,1
0,10	2,516	-0,0019	-2,697	1,45	-0,1
0,20	1,549	-0,0019	-2,464	1,45	-0,1
0,30	0,793	-0,0020	-2,327	1,45	-0,1
0,40	0,144	-0,0020	-2,230	1,45	-0,1
0,50	-0,438	-0,0035	-2,140	1,45	-0,1
0,75	-1,704	-0,0048	-1,952	1,45	-0,1
1,00	-2,870	-0,0066	-1,785	1,45	-0,1
1,50	-5,101	-0,0114	-1,470	1,5	-0,1
2,00	-6,433	-0,0164	-1,290	1,55	-0,1
3,00	-6,672	-0,0221	-1,347	1,65	-0,1
4,00	-7,618	-0,0235	-1,272	1,65	-0,1

Fuente: Youngs 1997

ANEXO F

F - 1. Coeficientes para los términos de clase de sitio

C_H	C_1	C_2	C_3	C_4	C_k
0,239	1,111	1,344	1,355	1,420	1,344
0,939	1,684	1,793	1,747	1,814	1,793
1,499	2,061	2,135	2,031	2,082	2,135
1,462	1,916	2,168	2,052	2,113	2,168
1,280	1,669	2,085	2,001	2,030	2,085
1,121	1,468	1,942	1,941	1,937	1,942
0,852	1,172	1,683	1,808	1,770	1,683
0,365	0,655	1,127	1,482	1,397	1,127
-0,207	0,071	0,515	0,934	0,955	0,515
-0,705	-0,429	-0,003	0,394	0,559	-0,003
-1,144	-0,866	-0,449	-0,111	0,188	-0,449
-1,609	-1,325	-0,928	-0,620	-0,246	-0,928
-2,023	-1,732	-1,349	-1,066	-0,643	-1,349
-2,451	-2,152	-1,776	-1,523	-1,084	-1,776
-3,243	-2,923	-2,542	-2,327	-1,936	-2,542
-3,888	-3,548	-3,169	-2,979	-2,661	-3,169
-4,783	-4,410	-4,039	-3,871	-3,640	-4,039
-5,444	-5,049	-4,698	-4,496	-4,341	-4,698
-5,839	-5,431	-5,089	-4,893	-4,758	-5,089
-6,598	-6,181	-5,882	-5,698	-5,588	-5,882
-6,752	-6,347	-6,051	-5,873	-5,798	-6,051

Fuente: Zhao 2006

F - 2. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria

Período T(s)	a	b	c	d	e	S_I	S_s	SSL
0,00	1,101	-0,00564	0,0055	1,080	0,01412	0,000	2,607	-0,528
0,05	1,076	-0,00671	0,0075	1,060	0,01463	0,000	2,764	-0,551
0,10	1,118	-0,00787	0,0090	1,083	0,01423	0,000	2,156	-0,420
0,15	1,134	-0,00722	0,0100	1,053	0,01509	0,000	2,161	-0,431
0,20	1,147	-0,00659	0,0120	1,014	0,01462	0,000	1,901	-0,372
0,25	1,149	-0,00590	0,0140	0,966	0,01459	0,000	1,814	-0,360
0,30	1,163	-0,00520	0,0150	0,934	0,01458	0,000	2,181	-0,450
0,40	1,200	-0,00422	0,0100	0,959	0,01257	-0,041	2,432	-0,506
0,50	1,250	-0,00338	0,0060	1,008	0,01114	-0,053	2,629	-0,554
0,60	1,293	-0,00282	0,0030	1,088	0,01019	-0,103	2,702	-0,575
0,70	1,336	-0,00258	0,0025	1,084	0,00979	-0,146	2,654	-0,572
0,80	1,386	-0,00242	0,0022	1,088	0,00944	-0,164	2,480	-0,540
0,90	1,433	-0,00232	0,0020	1,109	0,00972	-0,206	2,332	-0,522
1,00	1,479	-0,00220	0,0020	1,115	0,01005	-0,239	2,233	-0,509
1,25	1,551	-0,00207	0,0020	1,083	0,01003	-0,256	2,029	-0,469
1,50	1,621	-0,00224	0,0020	1,091	0,00928	-0,306	1,589	-0,379
2,00	1,694	-0,00201	0,0025	1,055	0,00833	-0,320	0,966	-0,248
2,50	1,748	-0,00187	0,0028	1,052	0,00776	-0,337	0,789	-0,221
3,00	1,759	-0,00147	0,0032	1,025	0,00644	-0,331	1,037	-0,263
4,00	1,826	-0,00195	0,0040	1,044	0,00590	-0,390	0,561	-0,169
5,00	1,825	-0,00237	0,0050	1,065	0,00510	-0,498	0,225	-0,120

Fuente: Zhao 2006

G - 3. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Kanno (2006)

$\text{Si } D \leq 30 \text{ Km: } \text{Log pre} = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 * 10^{0.1 M_w}) + C_1 + \epsilon_1$
 $\text{Si } D > 30 \text{ Km: } \text{Log pre} = a_2 M_w + b_2 X - \log(X) + C_2 + \epsilon_2$

FALLA HUACHI

Prof km

Mw Rjb Vs30

PGA	Si D ≤ 30 Km					Si D > 30 Km				Factores de sitio				log(pre)	log(pre)+g	Psa (gals)	%g		
	Periodo	a1	b1	c1	d1	ε1	Periodo	a2	b2	c2	ε2	p	q					g	
0,00	0,56	-0,0031	0,26	0,0055	0,37	0,00	0,41	-0,0039	1,56	0,40	-0,55	1,35	-0,0398	2,7431	2,7032	504,9279	0,51		
0,05	0,54	-0,0035	0,48	0,0061	0,37	0,05	0,39	-0,0040	1,76	0,42	-0,32	0,80	-0,0086	2,8032	2,7945	623,0656	0,64		
0,06	0,54	-0,0037	0,57	0,0065	0,38	0,06	0,39	-0,0041	1,86	0,43	-0,26	0,65	-0,0070	2,8721	2,8650	732,9053	0,75		
0,07	0,53	-0,0039	0,67	0,0066	0,38	0,07	0,38	-0,0042	1,96	0,45	-0,24	0,60	-0,0065	2,9035	2,8970	788,8542	0,80		
0,08	0,52	-0,004	0,75	0,0069	0,39	0,08	0,38	-0,0042	2,03	0,45	-0,26	0,64	-0,0170	2,9056	2,8886	773,6754	0,79		
0,09	0,52	-0,0041	0,80	0,0071	0,40	0,09	0,38	-0,0043	2,08	0,46	-0,29	0,72	-0,0128	2,9458	2,9330	856,9983	0,87		
0,10	0,52	-0,0041	0,85	0,0073	0,40	0,10	0,38	-0,0043	2,12	0,46	-0,32	0,78	-0,0286	2,9865	2,9579	907,6343	0,93		
0,11	0,5	-0,0040	0,96	0,0061	0,40	0,11	0,38	-0,0044	2,14	0,46	-0,35	0,84	-0,0444	3,0296	2,9852	966,4616	0,99		
0,12	0,51	-0,0040	0,93	0,0062	0,40	0,12	0,38	-0,0044	2,14	0,46	-0,39	0,94	-0,0455	3,0574	3,0119	1027,7615	1,05		
0,13	0,51	-0,0039	0,91	0,0062	0,40	0,13	0,38	-0,0044	2,13	0,46	-0,43	1,04	-0,0466	3,0377	2,9911	979,7639	1,00		
0,15	0,52	-0,0038	0,89	0,0060	0,41	0,15	0,39	-0,0044	2,12	0,46	-0,53	1,28	-0,0593	3,0915	3,0322	1077,0165	1,10		
0,17	0,53	-0,0037	0,84	0,0056	0,41	0,17	0,40	-0,0043	2,08	0,45	-0,61	1,47	-0,0715	3,1266	3,0551	1135,3898	1,16		
0,20	0,54	-0,0034	0,76	0,0053	0,40	0,20	0,40	-0,0042	2,02	0,44	-0,68	1,65	-0,0683	3,1276	3,0593	1146,1933	1,17		
0,22	0,54	-0,0032	0,73	0,0048	0,40	0,22	0,40	-0,0041	1,99	0,43	-0,72	1,74	-0,0794	3,1283	3,0488	1119,0235	1,14		
0,25	0,54	-0,0029	0,66	0,0044	0,40	0,25	0,41	-0,0040	1,88	0,42	-0,75	1,82	-0,0752	3,0848	3,0096	1022,3080	1,04		
0,30	0,56	-0,0026	0,51	0,0039	0,39	0,30	0,43	-0,0038	1,75	0,42	-0,8	1,96	-0,0616	3,0961	3,0345	1082,6221	1,10		
0,35	0,56	-0,0024	0,42	0,0036	0,40	0,35	0,43	-0,0036	1,62	0,41	-0,85	2,09	-0,0579	3,0286	2,9707	934,7991	0,95		
0,40	0,58	-0,0021	0,26	0,0033	0,40	0,40	0,45	-0,0034	1,49	0,41	-0,87	2,13	-0,0685	3,0187	2,9502	891,7604	0,91		
0,45	0,59	-0,0019	0,13	0,0030	0,41	0,45	0,46	-0,0032	1,33	0,41	-0,89	2,18	-0,0690	2,9768	2,9078	808,6738	0,82		
0,50	0,59	-0,0016	0,04	0,0022	0,41	0,50	0,47	-0,0030	1,19	0,40	-0,91	2,25	-0,0495	2,9606	2,9110	814,7161	0,83		
0,60	0,62	-0,0014	-0,22	0,0025	0,41	0,60	0,49	-0,0028	0,95	0,40	-0,92	2,30	-0,0248	2,8614	2,8366	686,4104	0,70		
0,70	0,63	-0,0012	-0,37	0,0022	0,41	0,70	0,51	-0,0026	0,72	0,40	-0,96	2,41	-0,0159	2,8038	2,7879	613,6062	0,63		
0,80	0,65	-0,0011	-0,54	0,0020	0,41	0,80	0,53	-0,0025	0,49	0,40	-0,98	2,46	-0,0164	2,7804	2,7640	580,7027	0,59		
0,90	0,68	-0,0009	-0,80	0,0019	0,41	0,90	0,56	-0,0023	0,27	0,40	-0,97	2,44	-0,0112	2,7205	2,7094	512,0997	0,52		
1,00	0,71	-0,0009	-1,04	0,0021	0,41	1,00	0,57	-0,0022	0,08	0,41	-0,93	2,32	-0,0301	2,6487	2,6187	415,5776	0,42		
1,10	0,72	-0,0007	-1,19	0,0018	0,41	1,10	0,59	-0,0022	-0,08	0,41	-0,92	2,30	-0,0248	2,5939	2,5691	370,7618	0,38		
1,20	0,73	-0,0006	-1,32	0,0014	0,41	1,20	0,60	-0,0021	-0,24	0,41	-0,91	2,26	-0,0395	2,5732	2,5337	341,7173	0,35		
1,30	0,74	-0,0006	-1,44	0,0014	0,41	1,30	0,62	-0,0020	-0,40	0,41	-0,88	2,20	-0,0237	2,5162	2,4925	310,7965	0,32		
1,50	0,77	-0,0005	-1,70	0,0017	0,40	1,50	0,64	-0,0020	-0,63	0,41	-0,85	2,12	-0,0279	2,4106	2,3826	241,3509	0,25		
1,70	0,79	-0,0005	-1,89	0,0019	0,39	1,70	0,66	-0,0018	-0,83	0,4	-0,83	2,06	-0,0374	2,3247	2,2874	193,8039	0,20		
2,00	0,8	-0,0004	-2,08	0,0020	0,39	2,00	0,68	-0,0017	-1,12	0,4	-0,78	1,92	-0,0510	2,1875	2,1365	136,9318	0,14		
2,20	0,82	-0,0004	-2,24	0,0022	0,38	2,20	0,69	-0,0017	-1,27	0,4	-0,76	1,88	-0,0405	2,1332	2,0927	123,8078	0,13		
2,50	0,84	-0,0003	-2,46	0,0023	0,38	2,50	0,71	-0,0017	-1,48	0,39	-0,72	1,8	-0,0194	2,0298	2,0103	102,4076	0,10		
3,00	0,86	-0,0002	-2,72	0,0021	0,38	3,00	0,73	-0,0017	-1,72	0,39	-0,68	1,7	-0,0183	1,9159	1,8976	78,9862	0,08		
3,50	0,9	-0,0003	-2,99	0,0032	0,37	3,50	0,75	-0,0017	-1,97	0,38	-0,66	1,64	-0,0278	1,7983	1,7705	58,9459	0,06		
4,00	0,92	-0,0005	-3,21	0,0045	0,38	4,00	0,77	-0,0016	-2,22	0,37	-0,62	1,54	-0,0267	1,6097	1,5829	38,2763	0,04		
4,50	0,94	-0,0007	-3,39	0,0064	0,38	4,50	0,79	-0,0016	-2,45	0,36	-0,6	1,5	-0,0162	1,4463	1,4301	26,9246	0,03		
5,00	0,92	-0,0004	-3,35	0,0030	0,38	5,00	0,82	-0,0017	-2,7	0,35	-0,59	1,46	-0,0309	1,5804	1,5495	35,4393	0,04		
																		MAX	1,17

Elaboración: Cinthya Sosa

G - 4. Hoja de cálculo en Excel para Modelo de Youngs (1997)

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

FALLA PLACA DE NAZCA

M	8,9	R	293,6	H	125	Zt	1
----------	-----	----------	-------	----------	-----	-----------	---

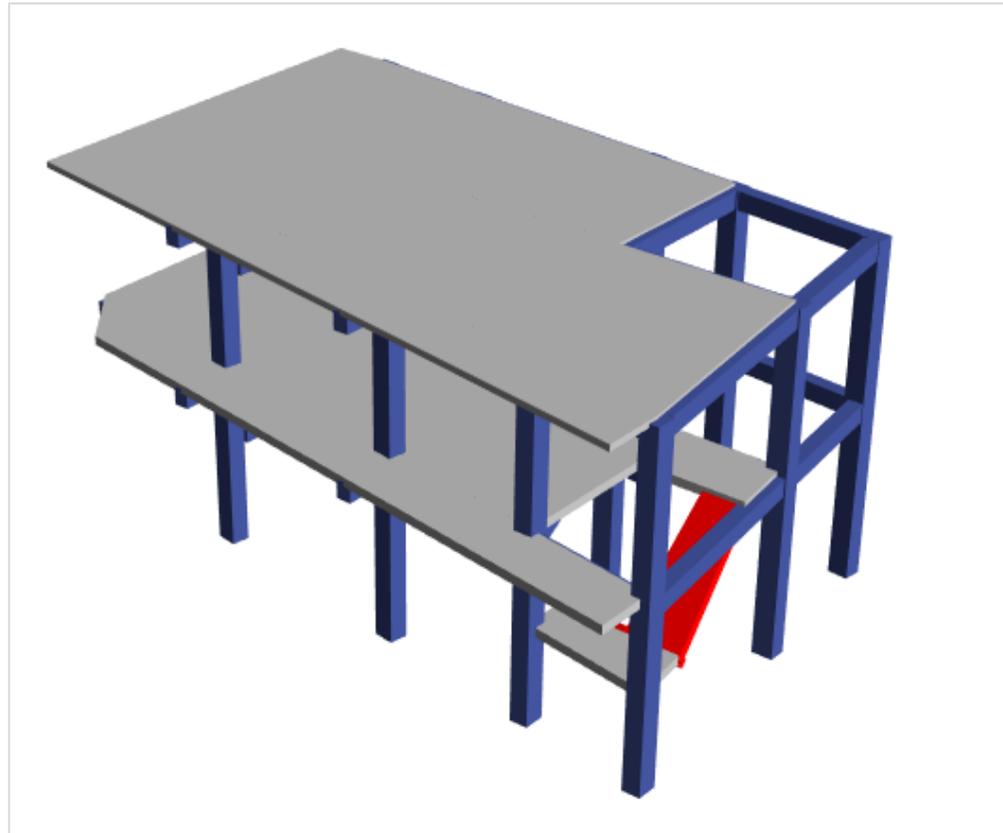
PGA

Período	c1	c2	c3	c4*	c5*	desviacion	ln(y)	ln(y)+desv	ln(y)-desv	Pga(gals)
0,00	0,000	0,0000	-2,329	1,45	-0,1	0,56	-1,43272	-0,87272	-1,99272	0,24
0,075	2,400	-0,0019	-2,697	1,45	-0,1	0,56	-1,36373	-0,80373	-1,92373	0,26
0,10	2,516	-0,0019	-2,697	1,45	-0,1	0,56	-1,24773	-0,68773	-1,80773	0,29
0,20	1,549	-0,0019	-2,464	1,45	-0,1	0,56	-0,74045	-0,18045	-1,30045	0,48
0,30	0,793	-0,0020	-2,327	1,45	-0,1	0,56	-0,62973	-0,06973	-1,18973	0,53
0,40	0,144	-0,0020	-2,230	1,45	-0,1	0,56	-0,66497	-0,10497	-1,22497	0,51
0,50	-0,438	-0,0035	-2,140	1,45	-0,1	0,56	-0,67950	-0,11950	-1,23950	0,51
0,75	-1,704	-0,0048	-1,952	1,45	-0,1	0,56	-0,75768	-0,19768	-1,31768	0,47
1,00	-2,870	-0,0066	-1,785	1,45	-0,1	0,56	-0,86940	-0,30940	-1,42940	0,42
1,50	-5,101	-0,0114	-1,470	1,5	-0,1	0,61	-1,11366	-0,50366	-1,72366	0,33
2,00	-6,433	-0,0164	-1,290	1,55	-0,1	0,66	-1,31338	-0,65338	-1,97338	0,27
3,00	-6,672	-0,0221	-1,347	1,65	-0,1	0,76	-1,92063	-1,16063	-2,68063	0,15
4,00	-7,618	-0,0235	-1,272	1,65	-0,1	0,76	-2,39393	-1,63393	-3,15393	0,09
MAX										0,53

Elaboración: Cinthya Sosa

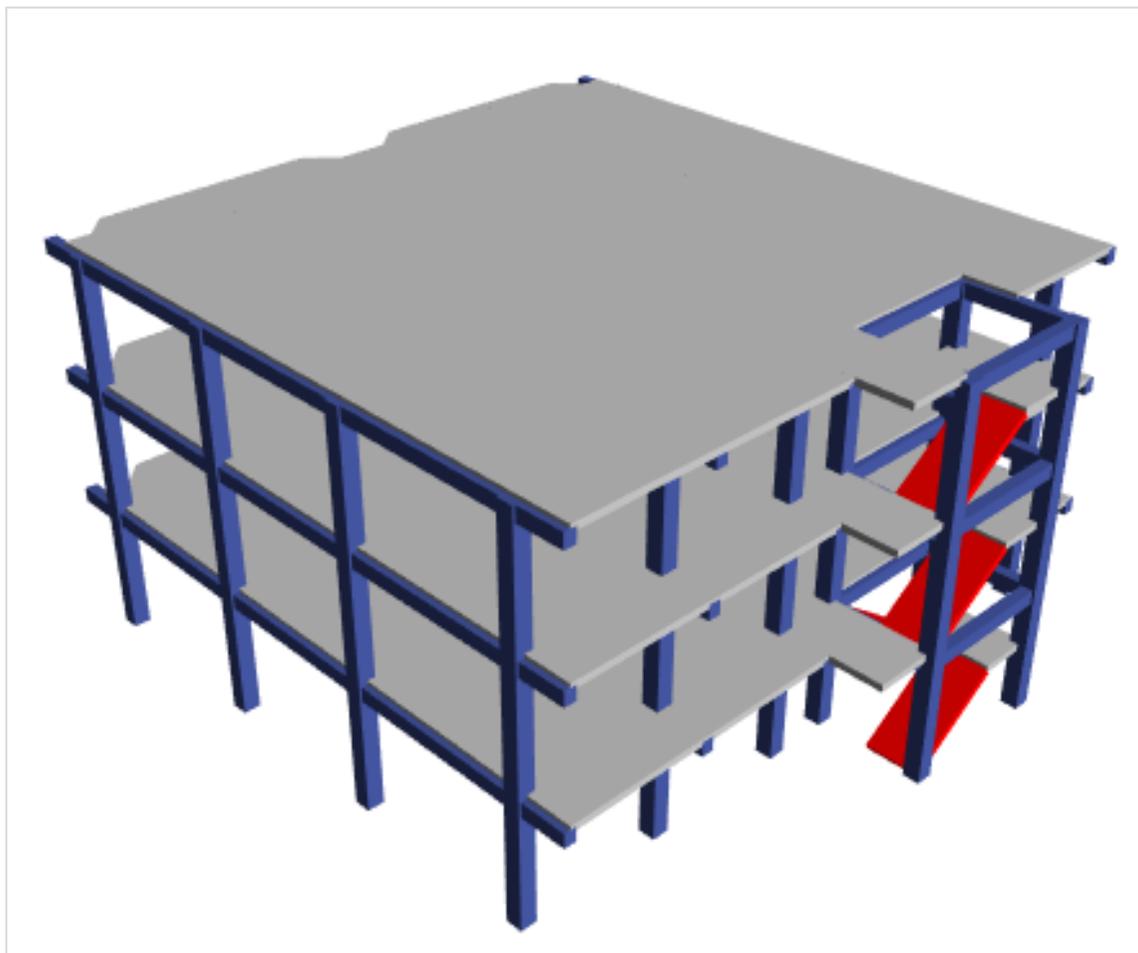
ANEXO H

H - 1. Modelo de la Estructura de 2 Pisos



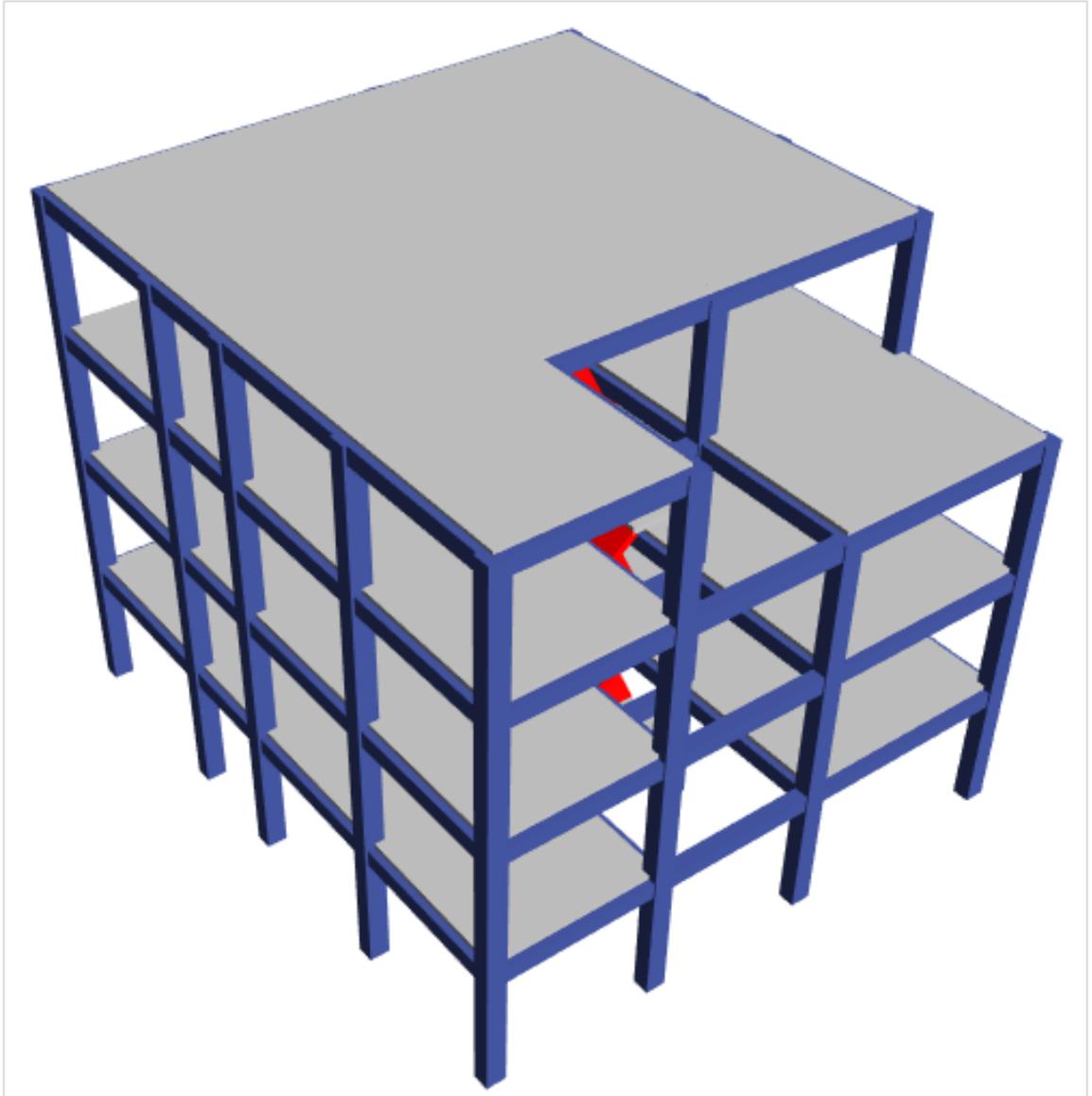
Fuente: ETABS 2016 V16

H - 2. Modelo de la Estructura de 3 Pisos



Fuente: ETABS 2016 V16

H - 3. Modelo Renderizado de la Estructura de 4 Pisos



Fuente: ETABS 2016