



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 DE AMBATO SECTOR LA UNIVERSAL UBICADO
ENTRE LAS CALLES BOLIVARIANA, HIPÓCRATES, JENOFONTE,
HORACIO, REAL AUDIENCIA Y PITÁGORAS”

Autor: Holger Fabricio Guamani Aguayo

Tutor: Ing. Maritza Ureña

Ambato – Ecuador

2019

CERTIFICACIÓN DEL AUTOR

Yo, Ing. Mg. Maritza Ureña, certifico que el presente trabajo bajo el tema: ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE AMBATO SECTOR LA UNIVERSAL UBICADO ENTRE LAS CALLES BOLIVARIANA, HIPÓCRATES, JENOFONTE, HORACIO, REAL AUDIENCIA Y PITÁGORAS, es de total autoría del Sr. Holger Fabricio Guamani Aguayo, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Abril del 2019

Ing. Maritza Ureña

AUTORÍA

Yo, Guamani Aguayo Holger Fabricio con C.I: 050364147-4, egresado de la Facultad de Ingeniería civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE AMBATO SECTOR LA UNIVERSAL UBICADO ENTRE LAS CALLES BOLIVARIANA, HIPÓCRATES, JENOFONTE, HORACIO, REAL AUDIENCIA Y PITÁGORAS, es de mi completa autoría.

Ambato, Abril del 2019

Guamani Aguayo Holger Fabricio

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 patrimonial 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 esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Abril del 2019

Autor

Guamani Aguayo Holger Fabricio

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE AMBATO SECTOR LA UNIVERSAL UBICADO ENTRE LAS CALLES BOLIVARIANA, HIPÓCRATES, JENOFONTE, HORACIO, REAL AUDIENCIA Y PITÁGORAS” del egresado Guamani Aguayo Holger Fabricio, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, Abril del 2019

Para constancia firman

Ing. Mg. Carlos Navarro

Ing. Mg. Christian Medina

DEDICATORIA

A Dios por bendecirme, guiarme en el caminar de mi vida y darme la fuerza necesaria para continuar y alcanzar mis metas trazadas.

A mis padres Olger y Marcia por ser mi pilar fundamental brindándome cariño, apoyo y esfuerzo para culminar mi carrera universitaria.

A mis hermanos quienes siempre me apoyaban, y estuvieron conmigo en todo este proceso académico.

A Veronica por compartir momentos significativos, por escucharme, ayudarme y ser parte de mi vida en cualquier circunstancia de la vida y porque Te amo.

A Liseth por ser la personita más indicada en llegar a mi vida para darme la fortaleza necesaria para seguir adelante y no desfallecer en este caminar universitario.

A toda mi familia porque con su apoyo y consejos me ayudaban a ser una mejor persona y me alentaban a conseguir mis sueños.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, iluminarme en mi caminar y darme la fuerza, paciencia y sabiduría para poder sobresalir en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

A mis padres Olger y Marcia por permitirme existir y ser los promotores de mi sueño, compartiéndome sus sabios consejos, su ejemplo de trabajo y honradez, y ser mi pilar fundamental en este proceso académico.

A mis hermanos quienes con sus palabras me hacían sentir orgulloso y por darme ese aliento en los momentos más indicados, gracias por su cariño y amor.

A Veronica por confiar en mí y dejarme alcanzar mi meta propuesta, por brindarme su apoyo fundamental y amor, lo cual me encamino a seguir mi objetivo.

A Liseth por ser mi fortaleza y darme esa valentía a conseguir mi sueño anhelado.

A toda mi familia que gracias a su apoyo moral me permitieron permanecer levantado en varios momentos de mi vida estudiantil.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica De Ambato por brindarme sus sabios conocimientos, en especial a mi tutora de tesis Ing. Maritza Ureña por guiar esta investigación y ser parte de mi objetivo trazado.

ÍNDICE GENERAL

A. PAGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN DEL AUTOR	I
AUTORÍA	II
DERECHOS DE AUTOR	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE ANEXO.....	XV
RESUMEN EJECUTIVO.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII

B. TEXTO

CAPITULO I	1
ANTECEDENTES	1
1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2. ANTECEDENTES	1
1.3. JUSTIFICACIÓN	2
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos	3
CAPITULO II	4
FUNDAMENTACIÓN	4
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1.1. Tectónica de placas	4
Bordes de placas.....	5
Bordes divergentes o constructivos.....	5

Bordes convergentes o destructivos	6
Bordes de falla transformante o pasivo	6
Bordes de placas de colisión	7
Tipos de terremotos	7
Terremotos ligados a causas naturales [16].....	8
Terremotos Tectónicos	8
Terremotos Volcánicos	8
Terremotos ligados a causas antrópicas	8
Fallas geológicas	8
Fallas Normales.....	9
Falla Inversa	9
Falla longitudinal.....	10
2.1.2. Peligro sísmico	10
Análisis de peligrosidad sísmico Determinístico [18].....	10
Análisis de peligrosidad sísmico probabilístico [18].	11
2.1.3. Zonificación sísmica del ecuador	12
ZONA 1: Sismicidad Interplaca	13
ZONA 2: Sismicidad Intraplaca Inferior.....	13
ZONA 3: Sismicidad Intraplaca Superior	14
2.1.4. Ensayos de penetración estándar [20].....	15
2.1.5. Ecuaciones de atenuación.....	15
2.2. HIPÓTESIS	17
2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES	17
2.3.1. Variable Dependiente.....	17
2.3.2. Variable Independiente	17
CAPITULO III	18
METODOLOGÍA	18
3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	18
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	18
3.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	19
3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	20
3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO DE ANÁLISIS.....	21
CAPITULO IV	22

ANÁLISIS Y RECOLECCIÓN DE RESULTADOS	22
4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS.....	22
4.1.1. Régimen tectónico.....	22
4.1.2. Caracterización de los sismas más relevantes en la ciudad de Ambato	22
4.1.3. Selección de Fallas Geológicas	23
4.1.4. Caracterización del suelo	26
4.1.5. Ensayo de Penetración Estándar (SPT).....	32
4.1.6. Velocidad Media de Onda Cortante (V_{s30}).....	34
4.1.7. Ecuaciones de atenuación.....	41
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
4.2.1. Calculo de los espectros.	54
4.2.2. Espectros calculados de acuerdo a cada modelo determinado anteriormente.	54
4.2.2.1. Modelo de Young.	54
4.2.2.2. Modelo de Zhao	55
4.2.2.3. Modelo de Boore y Atkinson.....	55
4.2.2.4. Modelo de Akkar y Bommer	57
4.2.2.5. Modelo de Kanno.....	58
4.2.3. Espectros calculados para cada falla seleccionada.....	60
4.2.3.1. FALLA DE SUBDUCCIÓN	60
4.2.3.2. FALA DE HUACHI	61
4.2.3.3. FALA DE AMBATO	62
4.2.3.4. FALLA DE TOTORAS.....	63
4.2.3.5. FALLA DE SAMANGA	64
4.2.4. COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS OBTENIDOS CON EL DE LA NEC-2015	66
4.2.4.1. FALLA DE SUBDUCCIÓN	66
4.2.4.2. FALLA DE HUACHI.....	67
4.2.4.3. FALLA DE AMBATO	68
4.2.4.4. FALLA DE TOTORAS.....	69
4.2.4.5. FALLA DE SAMANGA	70
4.2.5. ESPECTRO DE TODOS LOS MODELOS CON EL ESPECTRO DE LA NEC-2015	71
4.2.6. ESPECTRO CRÍTICO PARA EL ÁREA DE ESTUDIO	72

4.3. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE 3 ESTRUCTURAS TIPO UBICADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO.	73
4.3.1. Especificaciones generales para la modelación de las estructuras tipo.....	73
4.3.2. Datos estructurales de las estructuras tipo.....	74
4.3.3. Reducción del espectro elástico	77
4.3.4. Periodo de Vibración.....	78
4.3.4.1. Periodo fundamental de vibración	78
4.3.4.2. Periodos límites de vibración.....	79
4.3.5. Análisis estático.....	82
4.3.5.1. Estructuras modeladas en ETAB's	82
4.3.5.2. Periodo de Vibración	83
4.3.5.3. Modos de vibración de la estructura	84
4.3.5.4. Modos necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones horizontales	86
4.3.5.5. Derivas de piso (DERIVAS ESTÁTICAS).....	87
4.3.5.6. Análisis dinámico	94
4.4. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	108
CAPITULO V	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
5.1. CONCLUSIONES	109
5.2. RECOMENDACIONES.....	111
BIBLIOGRAFÍA	112
ANEXOS	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores del factor Z en función de las zonas sísmicas	12
Tabla 2. Sismos más relevantes para la ciudad de Ambato	22
Tabla 3. Detalle de las fallas relevantes hacia el área de estudio	25
Tabla 4. Detalle de la ubicación de los pozos.....	25
Tabla 5. Clasificación de suelos de acuerdo a la SUCS	26
Tabla 6. Ensayo de Granulometría del suelo - POZO 1	27
Tabla 7. Ensayo de Granulometría del suelo - POZO 2	28
Tabla 8. Ensayo de Granulometría del suelo - POZO 3	29
Tabla 9. Ensayo de Granulometría del suelo - POZO 4	30
Tabla 10. Ensayo de Granulometría del suelo - POZO 5	31
Tabla 11. Clasificación de los perfiles del suelo	33
Tabla 12. Ecuaciones empíricas escrita por diferentes autores.	34
Tabla 13. Ecuaciones empíricas Hasancebi y Ulusay	35
Tabla 14. Ensayo de penetración estándar (SPT) – Pozo 1	36
Tabla 15. Ensayo de penetración estándar (SPT) – Pozo 2	37
Tabla 16. Ensayo de penetración estándar (SPT) – Pozo 3	38
Tabla 17. Ensayo de penetración estándar (SPT) – Pozo 4	39
Tabla 18. Ensayo de penetración estándar (SPT) – Pozo 5	40
Tabla 19. Tipo perfil del suelo para la zona en estudio.	41
Tabla 20. Regresión de longitud, ancho, área de ruptura y magnitud de momento	42
Tabla 21. Magnitud de momento para cada falla	42
Tabla 22. Datos a utilizar para la ecuación del modelo de Young	44
Tabla 23. Datos a utilizar para la ecuación del modelo de Zhao	46
Tabla 24. Datos a utilizar para la ecuación del modelo de Boore y Atkison.....	50
Tabla 25. Datos a utilizar para la ecuación del modelo de Akkar y Bommer.	52
Tabla 26. Datos a utilizar para la ecuación del modelo de Kanno.	53
Tabla 27. Aceleraciones máximas determinadas por Boore y Atkison para cada falla seleccionada.....	57
Tabla 28. Aceleraciones máximas determinadas por Akkar y Bommer para cada falla seleccionada.....	58
Tabla 29. Aceleraciones máximas determinadas por Kanno para cada falla seleccionada.....	59
Tabla 30. Aceleraciones máximas para la falla de subducción.	60
Tabla 31. Aceleraciones máximas para la falla de Huachi	61
Tabla 32. Aceleraciones máximas para la Falla de Ambato.....	62
Tabla 33. Aceleraciones máximas para la Falla de Totoras	63
Tabla 34. Aceleraciones máximas para la Falla de Samanga.....	64
Tabla 35. Aceleraciones máximas de todas las fallas.....	65
Tabla 36. Aceleraciones máximas del espectro específico.....	72
Tabla 37. Especificaciones generales para la modelación de las estructuras	74
Tabla 38. Dimensiones de los elementos estructurales de las estructuras tipo.....	74

Tabla 39. Factores y coeficientes para la obtención del espectro elástico reducido para cada estructura tipo.....	78
Tabla 40. Coeficientes de acuerdo al tipo de estructura.	79
Tabla 41. Periodo de vibración para cada estructura tipo.....	79
Tabla 42. Valores de Fa, Fd y Fs de acuerdo a las características de la zona.	80
Tabla 43. Periodos límites de vibración de acuerdo a la zona.....	80
Tabla 44. Coeficiente de reducción sísmico de acuerdo a la Nec-2015.	80
Tabla 45. Tabla de periodos y aceleración para encontrar el valor de Sa en base al periodo fundamental.	81
Tabla 46. Coeficiente de reducción sísmico de acuerdo al espectro determinista.....	81
Tabla 47. Análisis de los períodos de vibración de las estructuras tipo.	83
Tabla 48. Valores Ux, Uy y Rz para la estructura de 1 piso	84
Tabla 49. Valores Ux, Uy y Rz para la estructura de 2 pisos	84
Tabla 50. Valores Ux, Uy y Rz para la estructura de 3 pisos + Tapa grada.....	85
Tabla 51. Modos de vibración de las estructuras tipo	85
Tabla 52. Modos de vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones horizontales (ESTRUCTURA TIPO1).....	86
Tabla 53. Modos de vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones horizontales (ESTRUCTURA TIPO2).....	86
Tabla 54. Modos de vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones horizontales (ESTRUCTURA TIPO3).....	86
Tabla 55. Modos de vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones horizontales para las estructuras tipo.....	87
Tabla 56. Valores de las derivas máximas estáticas para la estructura tipo1.	88
Tabla 57. Valores de las derivas máximas estáticas para la estructura tipo2.	89
Tabla 58. Valores de las derivas máximas estáticas para la estructura tipo 3.	90
Tabla 59. Valores de las derivas máximas estáticas para la estructura tipo1.	91
Tabla 60. Valores de las derivas máximas estáticas para la estructura tipo2.	92
Tabla 61. Valores de las derivas máximas estáticas para la estructura tipo 3.	93
Tabla 62. Tabla resumen de los valores de las derivas máximas estáticas para las estructuras tipo.....	94
Tabla 63. Valores de los cortantes estático y dinámicos con su respectivo análisis de validación.	101
Tabla 64. Valores de las derivas máximas dinámicas para la estructura tipo1.....	102
Tabla 65. Valores de las derivas máximas dinámicas para la estructura tipo2.....	103
Tabla 66. Valores de las derivas máximas dinámicas para la estructura tipo 3.....	104
Tabla 67. Valores de las derivas máximas dinámicas para la estructura tipo1.....	105
Tabla 68. Valores de las derivas máximas dinámicas para la estructura tipo2.....	106
Tabla 69. Valores de las derivas máximas dinámicas para la estructura tipo 3.....	107
Tabla 70. Tabla resumen de los valores de las derivas máximas estáticas para las estructuras tipo.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Placas Tectónicas	5
Figura 2. Bordes divergentes o constructivos.....	5
Figura 3. Bordes convergentes o destructivos	6
Figura 4. Bordes de falla transformante o pasivo	6
Figura 5. Bordes de placas de colisión	7
Figura 6. Foco de un terremoto	7
Figura 7. Partes de una falla	8
Figura 8. Falla Normal	9
Figura 9. Falla Inversa	9
Figura 10. Falla Longitudinal	10
Figura 11. Mapa de Zonificación	12
Figura 12. Zona 1: sismicidad interplaca	13
Figura 13. Zona 2: Sismicidad Intraplaca Inferior	14
Figura 14. Zona 3: Sismicidad Intraplaca Superior	14
Figura 15. Fallas Geológicas Localizadas en el Territorio Ecuatoriano.....	23
Figura 16. Fallas Geológicas Localizadas en la Provincia de Tungurahua	24
Figura 17. Fallas Geológicas de la Ciudad de Ambato, que afectan al área de estudio .	24
Figura 18. Pozos para el ensayo SPT	25
Figura 19. Espectro de aceleración del modelo de Young	54
Figura 20. Espectro de aceleración del modelo de Zhao	55
Figura 21. Espectro de aceleración del modelo de Boore y Atkinson.....	56
Figura 22. Espectro de aceleración del modelo de Akkar y Bommer	57
Figura 23. Espectro de aceleración del modelo de Kanno.	58
Figura 24. Espectro de aceleración para la falla de subducción	60
Figura 25. Espectro de aceleración para la falla de Huachi.....	61
Figura 26. Espectro de aceleración para la falla de Ambato	62
Figura 27. Espectro de aceleración para la Falla de Totoras	63
Figura 28. Espectro de aceleración para la Falla de Samanga.....	64
Figura 29. Espectros obtenidos Vs espectro de la NEC-2015 (Falla Subducción)	66
Figura 30. Espectros obtenidos Vs espectro de la NEC-2015 (Falla Huachi).....	67
Figura 31. Espectros obtenidos Vs espectro de la NEC-2015 (Falla Ambato)	68
Figura 32. Espectros obtenidos Vs espectro de la NEC-2015 (Falla Totoras).....	69
Figura 33. Espectros obtenidos Vs espectro de la NEC-2015 (Falla Samanga)	70
Figura 34. Espectros obtenidos Vs espectro de la NEC-2015	71
Figura 35. Espectros específico VS NEC-2015.....	73
Figura 36. Plano arquitectónico de la estructura tipo 1	75
Figura 37. Plano arquitectónico de la estructura tipo 2	76
Figura 38. Plano arquitectónico de la estructura tipo 3	77
Figura 39. Estructura tipo 1 (MODELO ETABS).....	82

Figura 40. Estructura tipo 2 (MODELO ETABS).....	82
Figura 41. Estructura tipo 3	83
Figura 42. Derivas máximas estáticas (NEC-2015). Estructura tipo 1.....	88
Figura 43. Derivas máximas estáticas (NEC-2015). Estructura tipo 2.....	89
Figura 44. Derivas máximas estáticas (NEC-2015). Estructura tipo 3.....	90
Figura 45. Derivas máximas estáticas (DETERMINISTICO). Estructura tipo 1	91
Figura 46. Derivas máximas estáticas (DETERMINISTICO). Estructura tipo 2	92
Figura 47. Derivas máximas estáticas (DETERMINISTICO). Estructura tipo 3	93
Figura 48. Cortantes estático y dinámico (NEC - 2015). Estructura tipo 1.....	95
Figura 49. Cortantes estático y dinámico (NEC - 2015). Estructura tipo 2.....	96
Figura 50. Cortantes estático y dinámico (NEC - 2015). Estructura tipo 3.....	97
Figura 51. Cortantes estático y dinámico (DETERMINISTICO). Estructura tipo 1	98
Figura 52. Cortantes estático y dinámico (DETERMINISTICO). Estructura tipo 2	99
Figura 53. Cortantes estático y dinámico (DETERMINISTICO). Estructura tipo 3 ..	100
Figura 54. Derivas máximas dinámicas (NEC-2015). Estructura tipo 1	102
Figura 55. Derivas máximas dinámicas (NEC-2015). Estructura tipo 2.....	103
Figura 56. Derivas máximas dinámicas (NEC-2015). Estructura tipo 3	104
Figura 57. Derivas máximas dinámicas (DETERMINISTICO). Estructura tipo 1	105
Figura 58. Derivas máximas dinámicas (DETERMINISTICO). Estructura tipo 2.....	106
Figura 59. Derivas máximas dinámicas (DETERMINISTICO). Estructura tipo 3.....	107

ÍNDICE DE ANEXO

Anexos A	116
Fotografía 1. Limpieza y colocación del extractor de muestras.....	116
Fotografía 2. Medición de intervalos de 15 cm para el conteo de golpes.....	116
Fotografía 3. Extracción del muestreador para conseguir la muestra.....	117
Fotografía 4. Muestra obtenida en el pozo 1.....	117
Fotografía 5. Muestra obtenida en el pozo 5.....	118
Fotografía 6. Peso de las muestras.....	118
Fotografía 7. Tamizado e las muestras.....	119
Fotografía 8. Muestras del suelo tamizado.....	119
Fotografía 9. Estructura tipo 1.....	120
Fotografía 10. Estructura tipo 2.....	120
Fotografía 11. Estructura tipo 3.....	121
Anexos B	12222
B1. Relaciones de atenuación para el espectro de respuesta horizontal de aceleración (amortiguación 5%) para terremotos de subducción (coeficientes de regresión).....	122
Anexos C	12323
C1. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria correspondientes al modelo de Zhao (2006).....	123
C2. Coeficientes para la condición de la clase de sitio correspondientes al modelo de Zhao (2006).....	125
Anexos D	1255
D1. Coeficientes escalares de la distancia ($M_{ref} = 4.5$ y $R_{ref} = 1.0$ km para todos los periodos, excepto $R_{ref} = 5.0$ km para pga_{4nl}).....	125
D2. Coeficientes escalares de Magnitud.....	126
D3. Coeficientes de amplificación de sitio en función al periodo.....	127
Anexos E	1288
E1. Coeficientes de la ecuación para predecir la aceleración pseudo-espectral... 128-129	
Anexos F	13030
F1. Coeficientes de regresión para el modelo de Kanno para un evento superficial y espectro de respuesta de aceleración atenuado 5%.....	131-132

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE AMBATO SECTOR LA UNIVERSAL UBICADO ENTRE LAS CALLES BOLIVARIANA, HIPÓCRATES, JENOFONTE, HORACIO, REAL AUDIENCIA Y PITÁGORAS”

AUTOR: Holger Fabricio Guamani Aguayo

TUTOR: Ing. Maritza Ureña

El presente trabajo experimental se realizó con la finalidad de evaluar el peligro sísmico existente para el sector LA UNIVERSAL de la ciudad de Ambato, mediante el método de peligrosidad sísmica determinístico.

Para el desarrollo de la investigación se definió el régimen tectónico en base a la zona en análisis, se seleccionó las fallas más cercanas y activas a la zona de estudio, además se realizó el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), este ensayo se ejecutó en 5 puntos del sector con la finalidad de obtener el tipo de suelo existente en el mismo, y mediante estos datos obtenidos se calculó la velocidad de onda de corte (V_{s30}) para establecer el tipo de perfil del suelo mediante la tabla que nos proporciona la NEC-2015. De igual forma mediante el método de Wells – Coppersmith se calculó la Magnitud de Momento (M_w) para cada falla seleccionada, y mediante Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo se procedió a calcular espectros de aceleración para cada falla, utilizando una envolvente, de la cual se precede a determinar un espectro específico determinista para el sector, el mismo que es comparado con la NEC-2015. El espectro determinista obtenido genera mayores aceleraciones con respecto al espectro establecido en la NEC-2015 en un periodo 0.15 a 0.4 segundos, lo que se establece que las estructuras que se encuentra dentro de este periodo se ven afectadas significativamente. Lo cual se determina que el espectro determinista influye a las estructuras que se encuentra en esta zona, ya que mediante la investigación realizada se establece que estructuras menores a 5 pisos son las que tienen mayor amenaza sísmica.

ABSTRACT

The present experimental work has been made with the purpose to evaluate the seismic danger existing at the area “La Universal” from Ambato city, through the method deterministic seismic danger.

For the develop of the investigation the tectonic regime was define based on the area in analysis, was selected faults nearest and active to the study area, also was made the Standard Penetration Test (SPT), this test was done on five points of the area with the purpose to get kind of existing soil and through this information it was calculated the cutting wave speed (V_{s30}) to determinate the soil profile with the table provides by NEC-2015. Similarly, through the method of Wells- Coppersmith was calculate the Magnitude of the Moment Weight (M_w) for all failure selected, and through prediction equations of soil movement, we proceeded to calculate acceleration spectra for each fault, using an envelope, from that was determined a specific spectrum for the area, the same that is compared with NEC-2015. The determine spectrum generates greater accelerations with regard stablished spectrum in the NEC-2015 in a period 0.15 to 0.4 seconds, that established that structures will be affected, It determines that the spectrum influences to the structures that are in the area, through the investigation, was determined that structures under five floors, have more seismic threat.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“Estudio de Peligro Sísmico Determinista para las estructuras de Ambato sector La Universal”.

1.2. ANTECEDENTES

Según Alvarado y Valdebenito consideran: “Los estudios de microzonificación sísmica, determinados mediante estudios geológicos y geotécnicos, han sido de aspecto elemental para suelos que presenten similar respuesta dinámica”. [1]

Según el Ing. Diego Quizanga en su tesis de magister sobre *Los espectros específicos para la ciudad de Quito en función de fallas ciegas inversas* considera: “Quito tiene estructuras vulnerables, a pesar de que se encuentra asociado en la falla cortical, sin embargo, la evaluación de peligro sísmico que se determinó para esta ciudad se basó en trabajos como los de Yépez, Valverde, Aguiar y Alvarado quienes anteriormente obtuvieron estimaciones de riesgo mediante la zonificación estructural y tipo de suelo.” “el espectro del Norte y Sur de Quito está asociado por las fallas Llumbisi-La Bota y Puengasi, debido a la forma espectral de las aceleraciones sísmicas concluye que las estructuras deben soportar mayores fuerzas sísmicas, ya que estos valores comprados con la normativa (NEC) son altos.” “Además, los espectros críticos obtenidos ocupando un 50% de nivel de confianza los valores de PGA y formas espectrales son parecidos al espectro de la NEC, con excepción del perfil tipo E que se determinó que para V_{S30} es 200m/s. El espectro Normativo indica que para el perfil tipo E para V_{S30} debe ser menor a 180m/s y para estos valores la ecuaciones de atenuación usadas no son aplicables.”[2]

Según el Dr. Aguiar en la investigación de *Microzonificación sísmica en el centro norte de Quito* indica: “Incrementar las aceleraciones espectrales dinámicas debido a la dirección de las ondas sísmicas al desarrollarse un sismo asociado a las fallas ciegas.”[3]

Según el Ing. Paul Cobos en su tesis de *Estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi* determina: “La falla geológica cortical de mayor magnitud de momento calculada es la de Ambato y Totoras

Mw: 6.5, por su longitud, siendo la mayor respuesta la falla de Ambato por tener menor distancia a su epicentro, y la placa de Nazca tiene una Mw=8.9 por su mayor longitud.” “También establece que puede llegar a tener aceleraciones de 1.33g en un intervalo de 0.25 a 0.45 segundos en el espectro crítico, lo que resulta valores mayores que indica la NEC-15.” “La respuesta espectral de aceleración varía en base a la distancia del epicentro y para la falla de subducción dependerá la profundidad a la que se libere la energía para producir un sismo.” [4]

La Norma Ecuatoriana de la Construcción tiene un mapa de zonificación sísmica para el diseño de estructuras, el cual fue establecido por estudios de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno de 475 años). Mediante el mapa establece que el Ecuador tiene 6 zonas sísmicas, donde su amenaza sísmica va desde intermedia alta hasta muy alta, determinando un valor máximo de 0.50 g para la zona VI (costa ecuatoriana), sin embargo Ambato se encuentra en la zona V con un valor Z de 0.4 g. Además la NEC, define seis tipos de perfil de suelo, mediante el cual establece coeficientes de amplificación de suelo, los cuales amplifican el espectro de respuesta elástico de aceleraciones, desplazamientos y el comportamiento lineal de los suelos para diseño en rocas [5].

El presente proyecto tiende a evaluar el peligro sísmico en base al área de estudio para determinar los espectros de respuesta en aceleraciones que se van a generar con los diferentes segmentos de las fallas seleccionadas.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Ecuador se encuentra en el Cinturón de Fuego o Anillo de Fuego, lugar donde se ubican la mitad de los volcanes activos y en el que se encuentran varias placas tectónicas que generan fuertes y peligrosos movimientos telúricos [6].

El Cinturón de Fuego está situado en las costas del océano pacífico y se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, lo que ocasiona una intensa actividad sísmica y volcánica en las zonas que abarca, considerando que se extiende 40000 Km y tiene la forma de una herradura [7].

Además, se formó como consecuencia del movimiento de las placas tectónicas. La litósfera de la tierra (que incluye la corteza) está dividida en grandes losas o secciones de unos 80 km de espesor conocidas como placas las cuales encajan entre sí pero no

están completamente unidas, estas losas se mueven tendiendo a chocar y separarse entre sí, y a veces a hundirse unas debajo de otras provocando intensa actividad geológica [8].

En esta zona se libera 85% de energía sísmica descargado por el planeta en forma de terremotos. Por lo cual, el nivel de sismicidad en el Ecuador es relativamente alto, los sismos con magnitud mayor a 5.0 son frecuentes y muchos ocurren en las placas superficiales causando daños en las estructuras.

Sin embargo, es reconocido el fenómeno de subducción de la Placa de Nazca dentro de la placa Sudamericana es la principal fuente de generación de sismos tectónicos en el Ecuador [9].

Por la presencia de fallas geológicas, la ciudad de Ambato ha sido declarada la de más alto riesgo sísmico del país, según lo que detectó el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, lo que significa que existen suelos vulnerables y edificaciones sin especificaciones técnicas lo cual traería consecuencias graves, de tal manera que este proyecto se establece con el fin de determinar el tipo de suelo con el objetivo de establecer factores de amplificación del suelo por espectro respuesta real de la zona y minimizar los riesgos sísmicos de sus estructuras [10].

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Realizar el Estudio de Peligro Sísmico Determinístico para las estructuras del sector La Universal de la ciudad de Ambato.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar las fallas geológicas significativas dentro del área de estudio.
- Determinar el estrato del suelo del sector mediante ensayo SPT, para definir su probable aceleración durante un sismo.
- Analizar algunas estructuras de la zona con el espectro de respuesta obtenido en el estudio

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. Tectónica de placas

Las placas tectónicas son fragmentos de la litósfera, que se encuentran debajo de la superficie o corteza del planeta, cada fragmento está conformado mediante una estructura rocosa relativamente sólida, la misma que flotan sobre masas ígneas del interior de la tierra, es decir sobre la astenósfera y núcleo [11] [12].

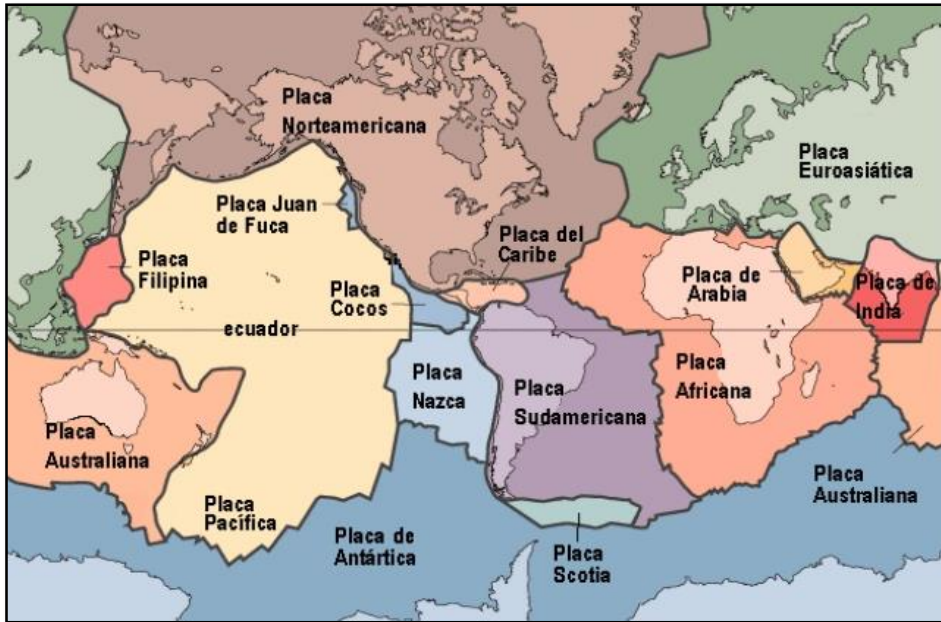
Las placas en los océanos son más delgadas, donde su grosor varia pocos kilómetros en las dorsales oceánicas y 100 kilómetros en las cuencas oceánicas profundas. Por el contrario, las placas continentales tienen un grosor de entre 100 y 150 kilómetros pero superan los 250 kilómetros debajo de las porciones más antiguas de las masas continentales [13].

Los terremotos o sismos han sido producto del movimiento de la corteza terrestre que surge a partir de los movimientos de las placas tectónicas. Por lo general estos eventos sísmicos se generan en los bordes de las placas, ya que en estas zonas se genera aproximadamente el 95% de liberación de energía del planeta. Sin embargo estos esfuerzos son transmitidos por toda la litósfera, lo cual referencia que en ninguna zona está libre de terremotos, recalcando que los de mayor magnitud se desarrollan en los bordes de las placas [14].

Las placas litosféricas se mueven a velocidades lentas pero continuas, aproximadamente se desplazan cinco centímetros anuales. Estos movimientos son generados por una distribución desigual de calor en el interior de la tierra, producto de estos desplazamientos se generan roces entre placas litosféricas originando terremotos además pueden crear volcanes y deformar grandes masa de roca en las montañas [13].

Hasta el momento se han detectado 15 placas: la del Pacífico, la Suramericana, la Norteamericana, la Africana, la Australiana, la de Nazca, la de los Cocos, la Juan de Fuca, la Filipina, la Euroasiática, la Antártica, la Arábica, la Índica, la del Caribe y la Escocesa [15].

Figura 1. Placas Tectónicas



Fuente: I.E.S. Suel-Fuengirola, Ciencias Naturales

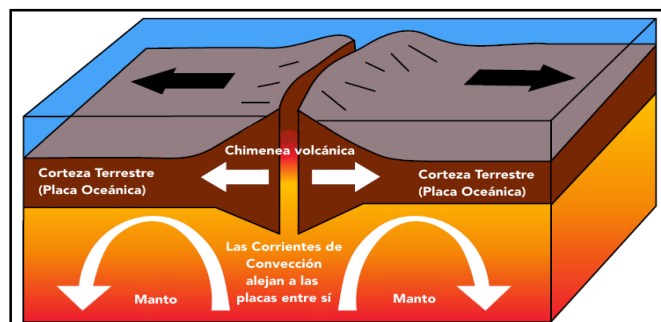
Bordes de placas

Las placas litosféricas se mueven coherentemente con relación a las demás placas, generando grandes deformaciones en sus bordes. Además, las placas tienen distintos tipos de bordes, que se diferencian de acuerdo al movimiento que realizan [13].

Bordes divergentes o constructivos

Este tipo de borde ocurre cuando las placas se alejan entre sí, cuando se da este movimiento hace que el magma ascienda llenando la apertura creada y cuando alcanza la superficie se crea una nueva corteza, esto hace que se formen volcanes [15].

Figura 2. Bordes divergentes o constructivos

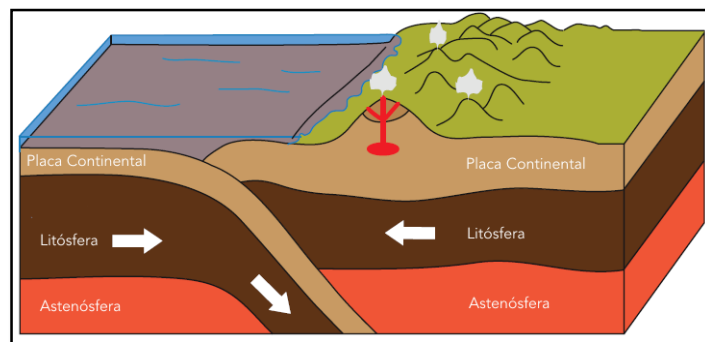


Fuente: Galápagos Conservation Trust

Bordes convergentes o destructivos

Este tipo de borde ocurre cuando la corteza oceánica y la continental se desplaza la una hacia la otra, en este tipo de borde se genera la llamada zona de subducción la cual se da por la inclusión de una placa oceánica por debajo de una continental, además cuando el magma que está en el manto de la tierra se eleva hacia la superficie hace que se genere una cadena volcánica. Sin embargo la fricción causada por el rozamiento de las dos placas produce grandes terremotos. Ejemplo: Los límites entre la placa de Nazca y la Sudamérica [15].

Figura 3. Bordes convergentes o destructivos

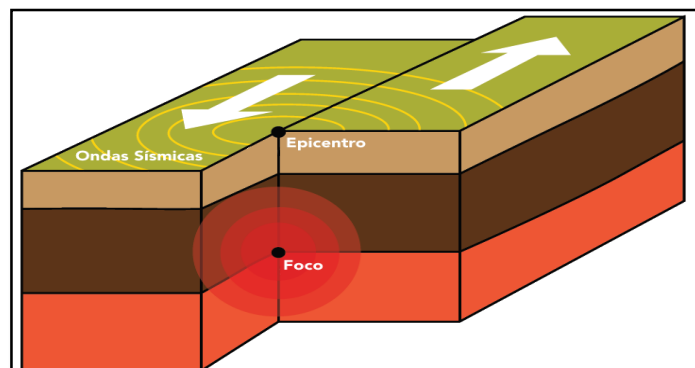


Fuente: Galápagos Conservation Trust

Bordes de falla transformante o pasivo

Este tipo de borde se genera cuando las placas se desplazan lateralmente una respecto a la otra en direcciones opuestas o en la misma dirección en velocidades distintas provocando un movimiento repentino (terremotos). Ejemplo: La falla de San Andrés en California, Estados Unidos [15].

Figura 4. Bordes de falla transformante o pasivo

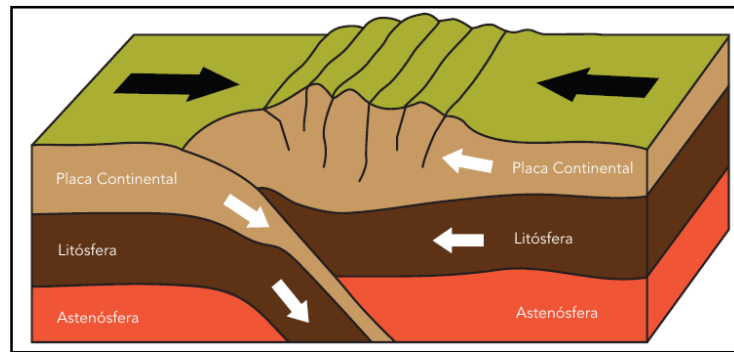


Fuente: Galápagos Conservation Trust

Bordes de placas de colisión

Este tipo de borde se ve implicado en el choque de dos placas continentales, como ambas cortezas son de baja densidad ninguna se ve forzada a meterse por debajo, lo cual hace que ambas cortezas salgan hacia arriba y forman montañas. Ejemplo: El Himalaya [15].

Figura 5. Bordes de placas de colisión

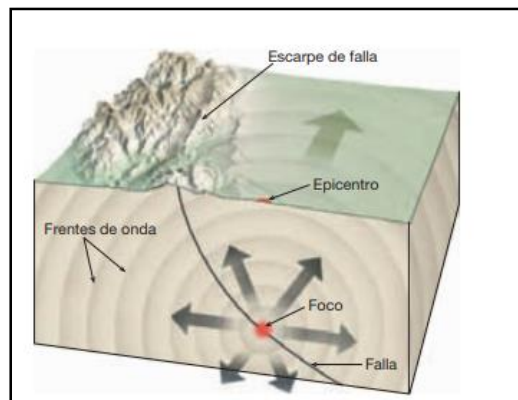


Fuente: Galápagos Conservation Trust

Tipos de terremotos

Un terremoto es la vibración de la tierra producida por una rápida liberación de energía. Lo más frecuente es que los terremotos se produzcan por el desplazamiento de la corteza terrestre a lo largo de una falla, sin embargo la energía liberada se dispersa desde el foco o hipocentro en todas las direcciones en forma de ondas, alcanzando su mayor intensidad en el punto perpendicular al foco, estas ondas se disipan conforme se van alejando del foco [13].

Figura 6. Foco de un terremoto



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

Los terremotos pueden ligarse de acuerdo a *causas naturales y causas antrópicas*:

Terremotos ligados a causas naturales

Terremotos Tectónicos

Son generados mediante la ruptura súbita y violenta de las rocas, debido al movimiento lento de las placas la energía se acumula dentro de la corteza durante varios años, la cual se libera por un movimiento sísmico, este tipo de terremoto es considerado como una de los devastadores por su violencia y su intensidad [16].

Terremotos Volcánicos

Son aquellos que se producen mediante una actividad volcánica, generalmente se da antes que se reactive la actividad de un volcán o después de sus erupciones. Su intensidad y magnitud es inferior a los producidos [16].

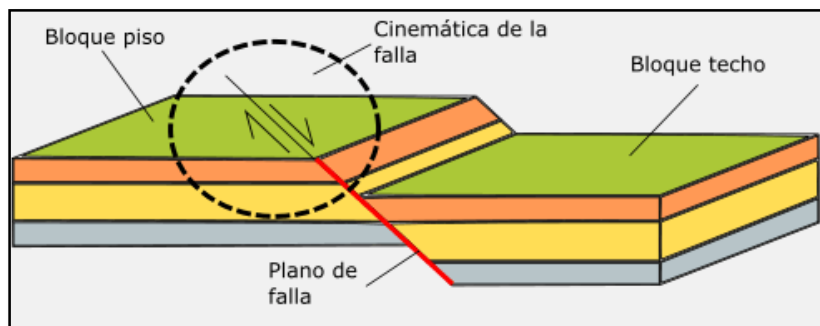
Terremotos ligados a causas antrópicas

También se les denomina terremotos artificiales, son aquellos que surgen mediante la manipulación del ser humano estos pueden ser inducidos por grandes embalse y explosiones nucleares [16].

Fallas geológicas

Estas fallas se producen cuando la corteza terrestre es afectada por esfuerzos de extensión (tensión), esfuerzos de compresión y por esfuerzos de cizalla, produciendo fracturas en la corteza y hace que las rocas se muevan a través de un plano de falla [17].

Figura 7. Partes de una falla



Fuente: Maldonado Y. Geología estructural

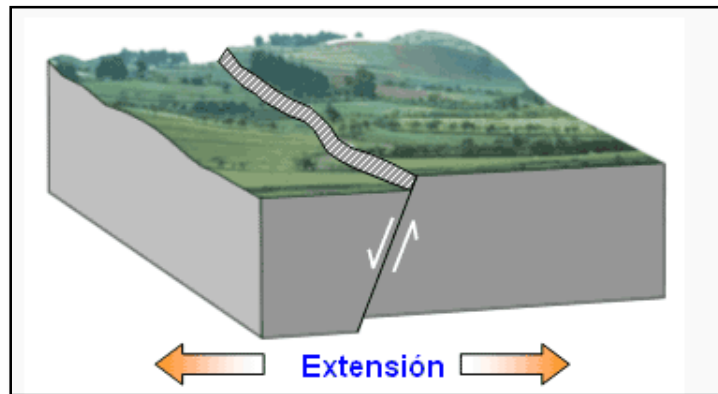
Los geólogos determinan tres tipos de fallas geológicas:

Fallas Normales

Son aquellas que se forman producto de esfuerzos de tensión, que fracturan la corteza terrestre y hacen que un bloque de roca se deslice hacia abajo con respecto hacia otro, a través de un plano de falla [17].

Las fuerzas tectónicas actúan dilatándose o expandiendo el medio en forma perpendicular a la falla [18].

Figura 8. Falla Normal

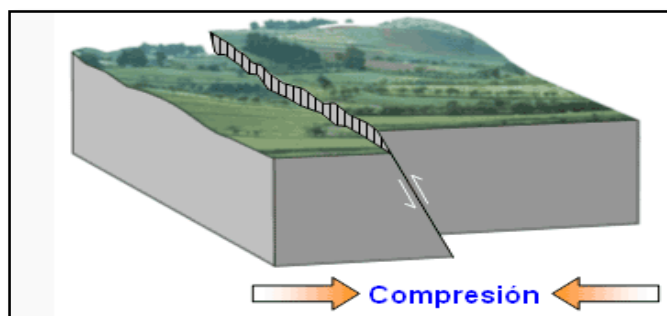


Fuente: Universidad de Costa Rica- Laboratorio de Ingeniería Sísmica

Falla Inversa

Son aquellas que se forman por la acción de fuerzas compresivas, haciendo que un bloque de roca se deslice hacia arriba de otro a través de un plano de falla. Las fuerzas tectónicas actúan comprimiendo el medio y en forma perpendicular a la falla, el terremoto de Limón se originó por este tipo de falla [16] [17].

Figura 9. Falla Inversa

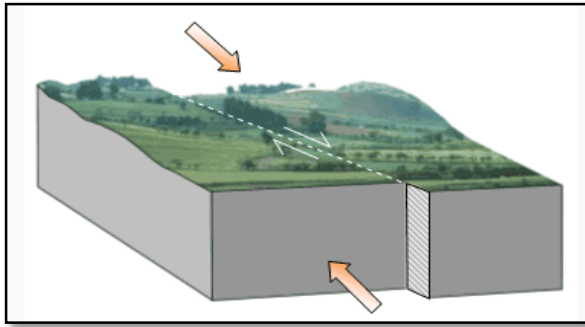


Fuente: Universidad de Costa Rica- Laboratorio de Ingeniería Sísmica

Falla longitudinal

Esta falla se produce cuando las fuerzas tectónicas actúan en dirección opuesta a ambos lados de la falla pero en forma paralela, es decir se desplazan horizontalmente. [17]

Figura 10. Falla Longitudinal



Fuente:

Universidad de Costa Rica- Laboratorio de Ingeniería Sísmica

2.1.2. Peligro sísmico

Se denomina peligrosidad sísmica a la probabilidad de excedencia dentro de un especificado tiempo y dentro de una determinada región, de movimientos de suelo cuyos parámetros aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados. [5]

Para la determinación de peligro sísmico se puede realizar mediante dos análisis los cuales son deterministas y probabilistas.

Análisis de peligrosidad sísmico Determinístico.

Este análisis puede ser descrito en los siguientes pasos que consiste en la identificación y caracterización de todas las fuentes sismogénicas capaces de generar movimientos sísmicos significativos:

- Selección del parámetro de distancia fuente-a-sitio para cada fuente. Para ello se debe seleccionar la menor distancia entre la fuente y el sitio de interés. La distancia puede estar expresada en distancias epicentrales o hipocentrales, dependiendo de los valores usados en las relaciones de predicción.
- Selección del terremoto dominante (es decir, el terremoto que se espera que produzca los mayores niveles de movimiento), la selección se hace comparando el nivel de sacudimiento producido por los terremotos identificados. El

terremoto dominante se describe en términos de su tamaño y la distancia del sitio de interés.

- El peligro en el sitio es formalmente definido, usualmente en términos del movimiento sísmico producido en el sitio por el terremoto dominante. Sus características son descritas por valores picos de aceleración, velocidades y ordenadas del espectro de respuesta, parámetros que son obtenidos mediante relaciones de predicción, basadas fundamentalmente en ecuaciones de atenuación de ondas [18].

Análisis de peligrosidad sísmico probabilístico.

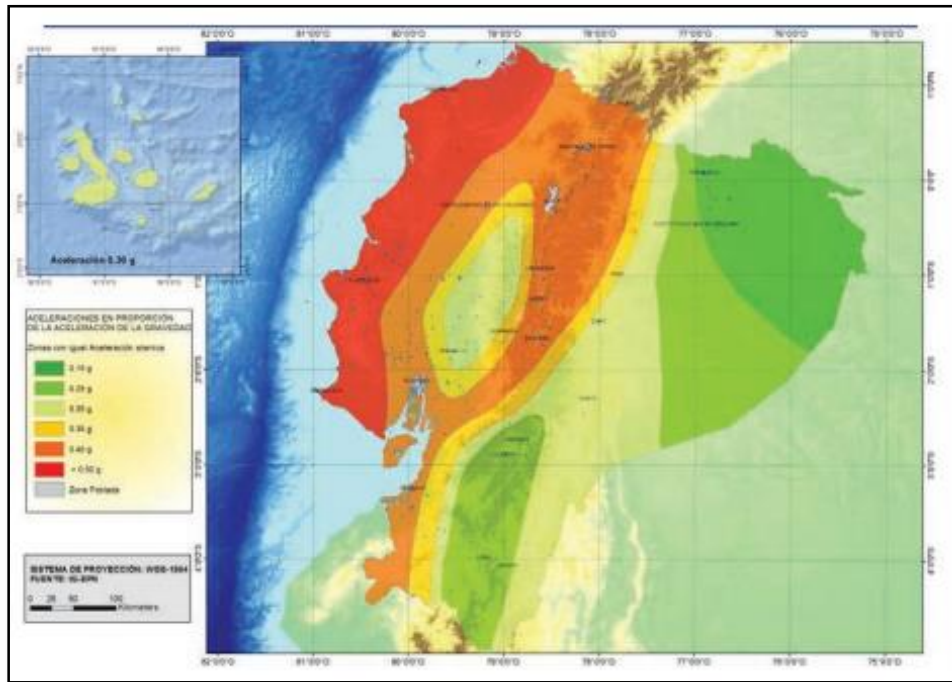
Este análisis permite identificar, cuantificar y combinar en una manera racional una evaluación de las amenazas sísmicas. También este análisis puede ser descrito como un proceso que tiene un grado de similitud con el análisis determinista.

- Identificar y caracterizar las fuentes sismogénicas, es idéntico al del método determinístico, excepto que se debe definir la distribución de probabilidad de la ubicación potencial de las rupturas dentro de la fuente. En la mayoría de los casos, a cada fuente se le asigna una distribución uniforme de probabilidades, lo cual implica que el terremoto tiene igual probabilidad de ocurrir en cualquier punto dentro de la fuente. Estas distribuciones se combinan luego con la geometría de la fuente para obtener las correspondientes distribuciones de probabilidad de la distancia fuente-a-sitio.
- Se debe caracterizar la sismicidad o distribución temporal de la recurrencia sísmica. Esto se realiza usando una relación de recurrencia que especifica la razón promedio en que un sismo de determinado tamaño será excedido.
- Mediante el uso de relaciones de predicción (leyes de atenuación) se debe determinar el movimiento sísmico que puede ser producido en el sitio por terremotos de cualquier tamaño posible que ocurran en cualquier punto de la fuente.
- Finalmente, se combinan las incertidumbres en la ubicación, tamaño y en los parámetros de predicción del movimiento sísmico para obtener la probabilidad de que el parámetro del movimiento sísmico sea excedido durante un periodo de tiempo particular [18].

2.1.3. Zonificación sísmica del Ecuador

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

Figura 11. Mapa de Zonificación



Fuente: Peligro Sísmico. NEC_SE_DS 2015

Para los edificios de uso normal, se usa el valor de Z, que representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, , además el sitio donde se construirá la estructura determinará una de las seis zonas sísmicas del Ecuador, caracterizada por el valor del factor de zona Z, de acuerdo el mapa [5].

Tabla 1. Valores del factor Z en función de las zonas sísmicas

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: Peligro Sísmico. NEC_SE_DS 2015

La subducción que se produce en las costas ecuatorianas causa deformación en la placa superior, producto de ello se pueden diferenciar dominios morfotectónicos principales de forma habitualmente alargada con dirección NNE (Nornordeste) - SSO (Sursurdeste), es decir paralelos a la fosa de subducción. [19]

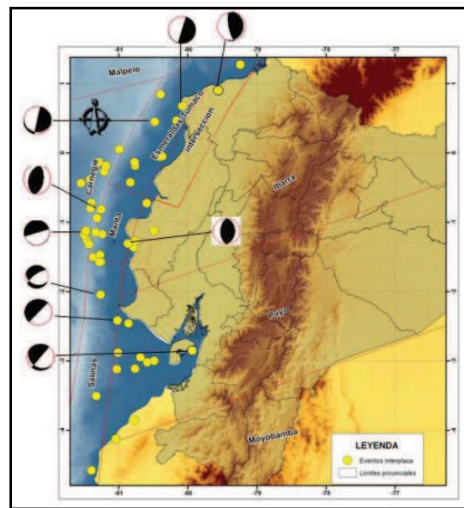
Se puede tener tres zonas las cuales son:

- **ZONA 1:** Sismicidad Interplaca
- **ZONA 2:** Sismicidad Intraplaca Inferior
- **ZONA 3:** Sismicidad Intraplaca Superior

ZONA 1: Sismicidad Interplaca

La interacción entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana generan gran acumulación de energía; sin embargo tiene esta zona se encuentra relacionada con la subducción producida por la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana; en esta zona, son estudiados los sismos registrados en la interface de las placas y presentan una profundidad superficial menor a 40 km. [19]

Figura 12. Zona 1: sismicidad interplaca



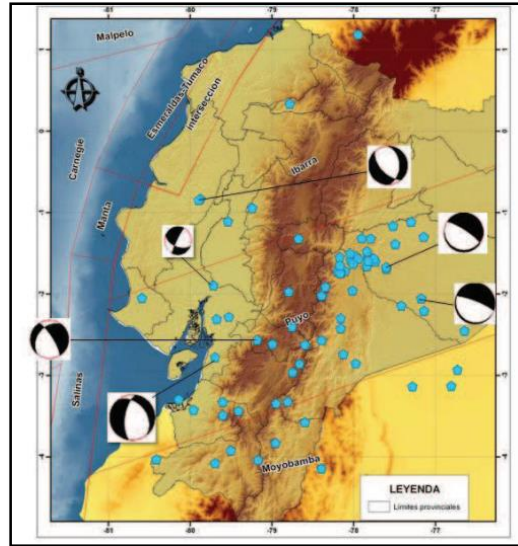
Fuente: Taipe, A. Lourdes, M. Quito, Junio

ZONA 2: Sismicidad Intraplaca Inferior

Esta zona comprende los sectores con sismicidad intermedia relacionado con los esfuerzo de tensión en la placa subducida la cual se genera a una profundidad comprendida entre 40 y 300 km, la misma que se encuentra demarcada en base a la disposición de la profundidad sísmica y los mecanismos de ruptura, sin embargo la

magnitud ocasionada en esta fuente es menor a la que se genera en un foco superficial [19].

Figura 13. Zona 2: Sismicidad Intraplaca Inferior

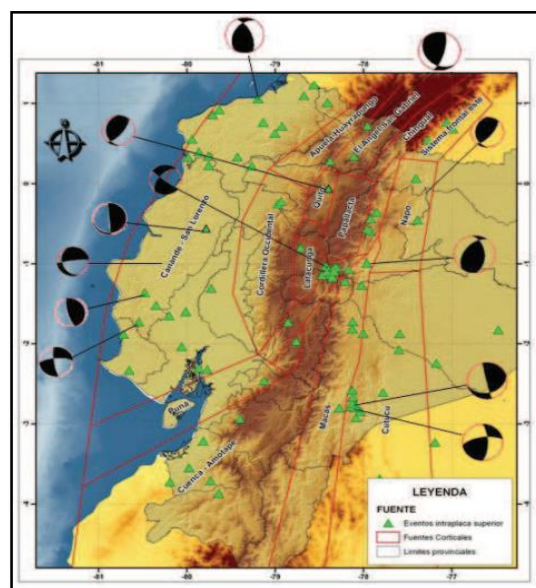


Fuente: Taípe, A. Lourdes, M. Quito, Junio

ZONA 3: Sismicidad Intraplaca Superior

Esta zona define los eventos localizados tanto en la corteza continental como en la oceánica, presentan profundidades superficiales menores a 40 km [19].

Figura 14. Zona 3: Sismicidad Intraplaca Superior



Fuente: Taípe, A. Lourdes, M. Quito, Junio

2.1.4. Ensayos de penetración estándar.

El ensayo de penetración estándar (SPT) es utilizado para obtener la resistencia que tiene el suelo mediante una perforación del mismo, esta perforación se lo realiza mediante de un muestreador circular de acero, que penetra el suelo y permite extraer una muestra perturbada con el objetivo de poder identificar el suelo [20].

La resistencia a la penetración se relaciona con las características y variables del terreno, principalmente en suelos granulares y arcillas saturadas. El ensayo consiste en dejar caer un martillo de 63,5 Kg de peso sobre una cabeza de hincia, desde una altura de 76 cm. El número de golpes necesario para lograr la penetración de 30 cm del muestreador (luego de su descenso por gravedad de 15 cm por cada nivel de penetración) los números de golpes que se da en cada nivel reporta como resistente del suelo a la penetración N_{spt} [20].

2.1.5. Ecuaciones de atenuación

La atenuación sísmica indica el grado que atenúa o disminuye la onda sísmica en la corteza terrestre debido a la distancia que existe entre el foco y el sitio en el cual se da el evento, y a su disipación de energía a lo largo de la trayectoria de desplazamiento [2].

Estas ecuaciones ayudan a predecir la atenuación que se ha obtenido en base a métodos regresivos matemáticos (métodos numéricos), que buscan mediante mediciones obtenidas obtener ecuaciones matemáticas [2].

Además estas ecuaciones pretenden estimar escenarios de peligrosidad sísmica, mediante ciertos movimientos propuestos y mediante el cual se pueda predecir el espectro de respuesta esperada, los mismos que serán comparados con los de la normativa NEC-15.

Las ecuaciones a utilizar en el presente trabajo son:

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

$$Lny = -0.6687 + 1.438M + C1 + C2(10 - M)^3 + C3 * Ln(R + 1.097e^{0.617*M}) + 0.00648H + 0.3643Zt \quad (1)$$

Dónde:

y: Aceleración espectral

C: Coeficientes

R: Distancia más cercana fuente a sitio medida en Km

H: Profundidad focal en Km

M: Magnitud de momento

Zt: Coeficiente de acuerdo al tipo de falla

- **Kanno. (2006)**

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

$$\text{Logpre} = a_1M_w + b_1X - \log(X + d_1 * 10^{e_1M_w}) + c_1 + \epsilon_1 \quad (2)$$

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

$$\text{Logpre} = a_2M_w + b_2X - \log(X) + c_2 + \epsilon_2 \quad (3)$$

Dónde:

D: Profundidad focal en Km

a, b, c, d: Coeficientes

Mw: Magnitud de momento

X: Coeficiente dependiente de la distancia de la fuente

- **Zhao. (2006)**

$$\text{Logy} = aM_w + bx - \log(r) + e(h - hc)\delta h + FR + SI + Ss + SSL\log(x) + Ck \quad (4)$$

Dónde:

M: Magnitud de momento

a, b: Coeficientes de regresión para el suelo de subducción

x: Distancia a la fuente en Km

h: Profundidad focal en Km

hc: Constante de profundidad

Ck: Coeficiente de acuerdo a la clase de sitio

y: PGA (cm/seg²) o 5% de espectro de respuesta de aceleración amortiguada para un período espectral T.

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

$$\text{Lny} = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \epsilon \quad (5)$$

Dónde:

F_{M,D,S}: Coeficientes

M: Magnitud de momento

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

V_{s30} : Velocidad media de la onda de cortante (m/s)

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

$$\begin{aligned} \text{Log } y = & B_1 + b_2 M + b_3 M^2 + (b_4 + b_5 M) \log \sqrt{r^2 j b + b^2 6} + b_7 S_s + b_8 S_A \\ & + b_9 F_N + b_{10} F_R + \varepsilon \sigma \end{aligned} \quad (6)$$

Dónde:

b: Coeficientes

F_N: Falla normal

F_R: Falla inversa

M: Magnitud de momento

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

S_A: Coeficiente para suelo rígido

S_s: Coeficiente para suelo suave

2.2. HIPÓTESIS

¿El estudio de peligrosidad sísmica determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras de Ambato sector LA UNIVERSAL?

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.3.1. Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las estructuras de Ambato sector La Universal

2.3.2. Variable Independiente

Peligro sísmico determinista

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los tipos de investigación que se llevará a cabo en este proyecto será: exploratorio y de laboratorio.

El *método de exploración* que se ejecutará en el área de estudio, se debe a la carencia de un estudio de peligro sísmico para sus estructuras, para lo cual se tomará en cuenta las fallas localizadas en el sitio y se determinará un espectro de respuesta propio, el mismo que será evaluado con el espectro de respuesta presentado por la NEC-2015.

El *método de laboratorio* se realizará con el objetivo de conocer la estratigrafía del suelo, mediante ensayo de penetración estándar (SPT), el cual nos permitirá obtener muestras del subsuelo para posteriormente ser ensayada en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, además se recolectará la información necesaria sobre la geotécnica del subsuelo y con las ecuaciones de atenuación se determinará el espectro sísmico del sector, también se obtendrá el tipo de suelo del mismo con los resultados del ensayo.

En la investigación se realizará un análisis de tres tipos de estructuras ya construidas dentro del área de estudio y mediante un software se podrá analizar su comportamiento durante un sismo.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

El estudio de Peligro Sísmico Determinista se lo realizará para las estructuras de Ambato sector La Universal para lo cual es necesario conocer las características geotécnicas del suelo y las GMPE's que se va utilizar en el desarrollo del proyecto.

Muestra

Al ser un trabajo experimental se tomará lo recomendado por la NEC-2015, el cual menciona que se debe realizar como mínimo tres perforaciones para el ensayo de penetración estándar (SPT), para una determinada área de estudio, sin embargo para el

presente trabajo se realizará 5 perforaciones con el objetivo que cubra toda el área de estudio.

Los GMPE'S que se utilizará son:

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

Para el presente estudio se analizaran tres tipos de estructuras que se encuentren en la zona:

- Estructura 1: edificación de un piso
- Estructura 2: edificación de dos pisos
- Estructura 3: edificación de tres pisos más tapagrada.

3.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Variable Independiente	Conceptualización	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Peligro Sísmico Determinista	El desarrollo de un sismo se evalúa en función del evento más vulnerable que pueda darse en el área de estudio	Sismo	¿Cuál fue la magnitud del terremoto?	Experimental
		PGA	¿Cuál es el PGA obtenido?	Experimental Bibliográfica

Variable Dependiente	Conceptualización	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Nivel de amenaza de las estructuras del sector “LA UNIVERSAL”	Probabilidad de ocurrencia de un sismo en un lugar y periodo de tiempo determinado	Magnitud	¿La magnitud es de amenaza significativa?	Experimental Bibliográfica
		Distancia desde el punto sísmico hasta el punto de estudio	¿La distancia que hay es relevante en la amenaza producida?	Experimental Bibliográfico

3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

PREGUNTAS	EXPLICACION
1. ¿para qué?	Para evaluar el peligro en el sector LA UNIVERSAL mediante la determinación de espectros de respuesta determinísticos asociados a las fallas seleccionadas
2. ¿De qué persona u objetos?	Régimen tectónico Fallas seleccionadas Tipo de suelo en el área de estudio
3. ¿Sobre qué aspectos?	Influencia del peligro sísmico determinista para las estructuras
4. ¿Quién?	Holger Fabricio Guamani Aguayo
5. ¿Dónde?	Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato
6. ¿Cómo?	Investigación bibliográfica Ensayos de laboratorio Norma NEC 2015 Empleo del software ETAB's

3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO DE ANÁLISIS

Para el desarrollo de este plan se debe seguir los siguientes ítems:

- Identificación del régimen tectónico de acuerdo al área de estudio.
- Elección de las fallas más vulnerables que influyan en el área de estudio.
- Determinación de la magnitud máxima de las fallas elegidas.
- Determinación del tipo de suelo en el sector, mediante el ensayo de penetración estándar (SPT).
- Estimar la aceleración máxima del suelo de acuerdo al régimen tectónico, en base a las Ecuaciones de Predicción de Movimiento del suelo (GMPE'S).
- Comparación de espectro analizado con los de la NEC-2015.
- Evaluar tres estructuras existentes del sector de diferentes características ya sea en edad, número de pisos y otros, el mismo que se modelara en el Software ETAB's con el espectro determinado.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y RECOLECCIÓN DE RESULTADOS

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1. Régimen tectónico

La zona de estudio denominado sector La Universal se encuentra en la provincia de Tungurahua, ciudad de Ambato a una altura de 2685 m.s.n.m, el área aproximada de estudio es de 150 Ha, la misma que se localiza en la región interandina del Ecuador comúnmente conocida como el Cinturón de Fuego del Océano Pacífico, por tal razón que se ve afectada de dos tipos de sismos los cuales son de tipo tectónico (cortical y subducción) y de tipo volcánico [4].

4.1.2. Caracterización de los sismas más relevantes en la ciudad de Ambato

El principal sistema de fallas activo del Ecuador es la de Pallatanga- Chingual, más conocida como la falla Chingual que tiene una velocidad promedio de 7 ± 3 mm/año, tomando en cuenta que los sismos de origen tectónico pueden alcanzar una magnitud de hasta 9.5, en relación a los de origen volcánico que generalmente alcanzan magnitudes de 1y 4.5 grados [21] [22].

Nuestro país se ha visto afectado por una serie de terremotos destructivos, entre los sismos más relevantes que han afectado a la ciudad de Ambato y otras ciudades del ecuador se citan: Terremoto de Lima-Peru, Terremoto de Riobamba-Ambato, Terremoto de Riobamba, Sismo de Ambato- Pelileo, Sismo de Pedernales [4] [21].

Tabla 2. Sismos más relevantes para la ciudad de Ambato

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

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

La escala MSK (1964), denominada en honor a sus creadores soviéticos Medvedev, Sponheuer y Karnik, es una escala de intensidad macrosísmica usada para medir las fuerzas de los movimientos sísmicos estos se evalúa en doce grados, siendo uno el de más baja intensidad. En base a esta escala se puede medir la afectación que ocasionan los sismos hacia las construcciones y además la alteración física del terreno [23].

4.1.3. Selección de Fallas Geológicas

Para el desarrollo de la investigación se establecerá cinco fallas más cercanas y activas con respecto a la zona de estudio, en la siguiente imagen se visualiza las fallas activas que predomina en todo el Ecuador, tanto las fallas corticales que están en el continente como la de subducción que se encuentra en la costa ecuatoriana.

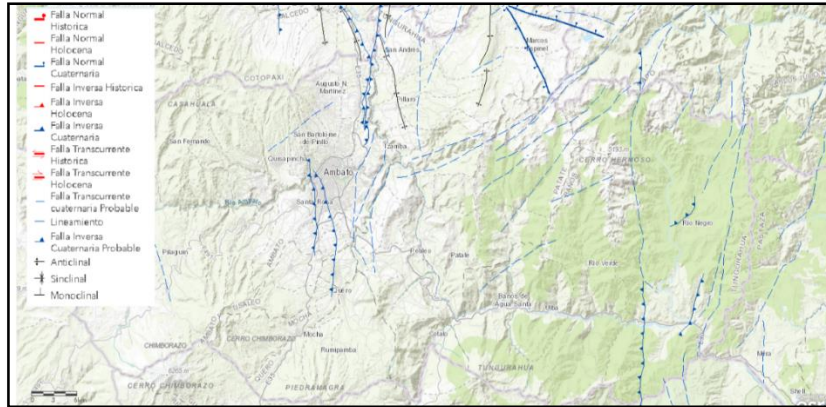
Figura 15. Fallas Geológicas Localizadas en el Territorio Ecuatoriano



Fuente: Neo Tec/Ecuador

En la figura 16 presenta las fallas más predominantes en respecto a la provincia de Tungurahua.

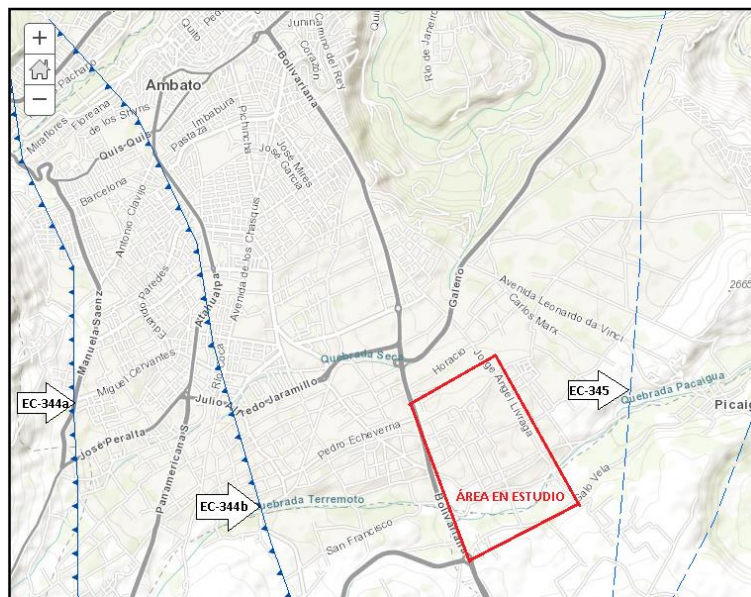
Figura 16. Fallas Geológicas Localizadas en la Provincia de Tungurahua



Fuente: Neo Tec/Ecuador

En la siguiente figura se observa las fallas más relevantes que afectan al área de estudio, las mismas que se tomarán en cuenta para el desarrollo de la investigación.

Figura 17. Fallas Geológicas de la Ciudad de Ambato, que afectan al área de estudio



Fuente: Neo Tec/Ecuador

En la siguiente tabla se detalla las fallas seleccionadas que harán relevancia en la investigación, tomando en cuenta la distancia, su tipo y longitud hacia el área de estudio.

Tabla 3. Detalle de las fallas relevantes hacia el área de estudio

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	LONGITUD (Km)	DISTANCIA (Km)
EC-223	Subducción	Inversa	1536,50	306,10
EC-344a	Huachi	Inversa Ciega	12,00	4,06
EC-344b	Ambato	Inversa Ciega	16,30	2,25
EC-345	Totoras	Transcurrente Inversa Ciega	17,70	1,40
EC-54	Samanga	Inversa Ciega	33,00	9,70

Fuente: Neo Tec/Ecuador

Posterior a lo establecido se muestra la ubicación de cada pozo que se realizó para el ensayo SPT, los mismos que abarcan el área de estudio que se encuentra entre las calles Bolivariana, Hipócrates, Jenofonte, Horacio, Real audiencia, y Pitágoras.

Figura 18. Pozos para el ensayo SPT



Fuente: Google Hearth

Tabla 4. Detalle de la ubicación de los pozos

POZO	DIRECCION	COORDENADAS	
		X	Y
1	Real Audiencia y Jhon Locke	767028.10	9859321.29
2	Real Audiencia y Arquímedes	767340.10	9858743.97
3	Av. Bolivariana y Arquímedes	766530.71	9858494.99
4	Hipocrates y Eratostemes	766506.01	9859031.19
5	Platón (sector Santa Cruz)	766821.02	9858873.72

Fuente: Google Hearth

4.1.4. Caracterización del suelo

Tabla 5. Clasificación de suelos de acuerdo a la SUCS

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Cu= $D_{60}/D_{10}>4$ Cc= $(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4. Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7. Enclima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.	
		(sin o con pocos finos)	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		
		Gravas con finos	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		
		(apreciable cantidad de finos)	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		
	ARENAS	Arenas limpias	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	<5%→GW,GP,SW,SP. >12%→GM,GC,SM,SC. 5 al 12%→casos límite que requieren usar doble símbolo.	
		(pocos o sin finos)	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		
		Arenas con finos	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		
		(apreciable cantidad de finos)	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		
		Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)			
		Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200			
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas:	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.		
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.		
		OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.		
	Limos y arcillas:	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.		
		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.		
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.		
	Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Límite líquido mayor de 50	PT		Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.

Fuente: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Una vez realizado las perforaciones, se determinará el tipo de suelo en base a la tabla anterior y a los resultados obtenidos por el ensayo de granulometría. A continuación se detalla el tipo de suelo obtenido en cada pozo.

Tabla 6. Ensayo de Granulometría del suelo - POZO 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT) POZO # 1					
NIVEL	TAMIZ (N)	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
+0.00	RELLENO				
-1.00					
-2.00	4	4,760	0,00	0,00	100,00
	10	2,000	4,80	1,36	98,64
	40	0,420	56,00	15,85	84,15
	100	0,149	149,70	42,37	57,63
	200	0,074	146,10	41,35	58,65
	PASA N 200		193,30	54,71	
	TOTAL		549,90	155,65	
-3.00	4	4,760	0,30	0,05	99,95
	10	2,000	7,70	1,30	98,70
	40	0,420	69,00	11,63	88,37
	100	0,149	99,50	16,77	83,23
	200	0,074	98,30	16,57	83,43
	PASA N 200		159,80	26,94	
	TOTAL		434,60	73,26	

Fuente: Holger Guamani

Mediante la tabla anterior obtenida por el ensayo de granulometría se observa que en cada metro de profundidad más del 50% de la muestra es retenida por el tamiz #200 y más del 50% pasa por el tamiz #4, por lo cual se determina que es ARENA.

Tabla 7. Ensayo de Granulometría del suelo - POZO 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT) POZO # 2					
NIVEL	TAMIZ (N)	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
+0.00	RELLENO				
-1.00					
-2.00	4	4,760	0,07	0,02	99,98
	10	2,000	2,40	0,68	99,32
	40	0,420	22,60	6,40	93,60
	100	0,149	54,30	15,37	84,63
	200	0,074	60,80	17,21	82,79
	PASA N 200		70,20	19,87	
	TOTAL		210,37	59,54	
-3.00	4	4,760	0,40	0,07	99,93
	10	2,000	13,50	3,82	96,18
	40	0,420	36,50	10,33	89,67
	100	0,149	78,50	22,22	77,78
	200	0,074	80,10	22,67	77,33
	PASA N 200		95,20	26,95	
	TOTAL		304,20	86,10	

Fuente: Holger Guamani

Mediante la tabla anterior obtenida por el ensayo de granulometría se observa que en cada metro de profundidad más del 50% de la muestra es retenida por el tamiz #200 y más del 50% pasa por el tamiz #4, por lo cual se determina que es ARENA.

Tabla 8. Ensayo de Granulometría del suelo - POZO 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT) POZO # 3					
NIVEL	TAMIZ (N)	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
+0.00	CAPA VEGETAL				
-1.00					
-2.00	4	4,760	8,30	2,35	97,65
	10	2,000	12,30	3,48	96,52
	40	0,420	18,60	5,26	94,74
	100	0,149	48,20	13,64	86,36
	200	0,074	55,30	15,65	84,35
	PASA N 200		56,10	15,88	
	TOTAL		198,80	56,27	
-3.00	4	4,760	12,30	2,07	97,93
	10	2,000	15,30	4,33	95,67
	40	0,420	25,30	7,16	92,84
	100	0,149	75,30	21,31	78,69
	200	0,074	73,80	20,89	79,11
	PASA N 200		85,60	24,23	
	TOTAL		287,60	81,40	

Fuente: Holger Guamani

Mediante la tabla anterior obtenida por el ensayo de granulometría se observa que en cada metro de profundidad más del 50% de la muestra es retenida por el tamiz #200 y más del 50% pasa por el tamiz #4, por lo cual se determina que es ARENA.

Tabla 9. Ensayo de Granulometría del suelo - POZO 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT) POZO # 4					
NIVEL	TAMIZ (N)	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
+0.00	CAPA VEGETAL				
-1.00					
-2.00	4	4,760	0,00	0,00	100,00
	10	2,000	2,10	0,59	99,41
	40	0,420	48,20	13,64	86,36
	100	0,149	67,20	19,02	80,98
	200	0,074	130,50	36,94	63,06
	PASA N 200		105,30	29,80	
	TOTAL		353,30	100,00	
-3.00	4	4,760	0,00	0,00	100,00
	10	2,000	3,50	0,59	99,41
	40	0,420	95,80	16,15	83,85
	100	0,149	145,00	24,44	75,56
	200	0,074	196,50	33,13	66,87
	PASA N 200		152,40	25,69	
	TOTAL		593,20	100,00	
-4.00	4	4,760	2,20	0,97	99,03
	10	2,000	3,45	1,53	98,47
	40	0,420	56,80	25,16	74,84
	100	0,149	52,40	23,21	76,79
	200	0,074	60,30	26,71	73,29
	PASA N 200		50,60	22,41	
	TOTAL		225,75	100,00	

Fuente: Holger Guamani

Mediante la tabla anterior obtenida por el ensayo de granulometría se observa que en cada metro de profundidad más del 50% de la muestra es retenida por el tamiz #200 y más del 50% pasa por el tamiz #4, por lo cual se determina que es ARENA.

Tabla 10. Ensayo de Granulometría del suelo - POZO 5

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT) POZO # 5					
NIVEL	TAMIZ (N)	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
+0.00	RELLENO				
-1.00					
-2.00	4	4,760	9,20	2,60	97,40
	10	2,000	14,10	3,99	96,01
	40	0,420	37,30	10,56	89,44
	100	0,149	62,80	17,78	82,22
	200	0,074	68,60	19,42	80,58
	PASA N 200		90,50	25,62	
	TOTAL		282,50	79,96	
-3.00	4	4,760	14,10	2,38	97,62
	10	2,000	14,50	4,10	95,90
	40	0,420	45,10	12,77	87,23
	100	0,149	86,20	24,40	75,60
	200	0,074	89,90	25,45	74,55
	PASA N 200		101,30	28,67	
	TOTAL		351,10	99,38	

Fuente: Holger Guamani

Mediante la tabla anterior obtenida por el ensayo de granulometría se observa que en cada metro de profundidad más del 50% de la muestra es retenida por el tamiz #200 y más del 50% pasa por el tamiz #4, por lo cual se determina que es ARENA.

4.1.5. Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

El ensayo de penetración estándar (SPT) permite determinar indirectamente la resistencia del suelo en situ, el cual consiste en contar cierto número de golpes en una longitud determinada hasta conseguir una muestra del suelo, este procedimiento se realiza una perforación entre 60 y 150mm de diámetro [20].

Procedimiento de ensayo de acuerdo a la norma INEN 689 [20]:

1. Una vez apoyado el muestreador en el fondo del pozo perforado, se procede a hincarlo mediante golpes del martinete en caída libre de 75 ± 5 cm de altura sobre la cabeza de golpe. Para el izaje del martinete se usará un cabo de manila, en caso de ser accionado mecánicamente, este cabo no se debe enrollar más de dos vueltas en el malacate.
2. La barra de acero que sirve de guía en la caída del martinete debe estar verticalmente, con el objetivo de que la energía del golpe no disminuya.
3. El muestreador debe penetrar en primer plano 15cm, el cual es considerado un proceso de preparación y ajusta para el ensayo, tomando en cuenta que el número de golpes en este tramo tiene un valor relativo de orientación.
4. El ensayo y el conteo de numero de golpes (N) necesarios empieza cuando se penetra el muestreador 30cm, lo cual determina la resistencia a la penetración de dicho suelo. Si al hincar este tramo sobrepasa los 50 golpes, sin haber penetrado la totalidad de la mediada se debe anotar el número de golpes realizados y la longitud de penetración del muestreador.
5. Luego de hincarlo y antes de extraer el muestreador a la superficie se debe girar como mínimo dos revoluciones, con el fin de cortar la muestra en el fondo, luego de lo cual, se extrae y se determina la longitud de la muestra obtenida, desechando la parte superior que se considera no representativa.
6. La muestra se describirá según lo establecido en la Norma INEN 689, luego de lo cual se debe acondicionar y cerrar herméticamente en un envase apropiado para llevarlo al laboratorio.
7. Los recipientes que lo contengan deben etiquetarse adecuadamente y deben protegerse en un fondo plástico. Su identificación debe realizarse con tinta indeleble y constara lo siguiente: número de perforación, numero de muestra, profundidad, número de golpes y otros datos que sean útiles.

Tabla 11. Clasificación de los perfiles del suelo

Tipo perfil	de	Descripción	Definición
C		Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
		Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
D		Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
		Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E		Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
		Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F		Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
		F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
		F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
		F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad IP >75)	
		F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30m)	
		F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
		F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Fuente: NEC-SE-DS-2015

4.1.6. Velocidad Media de Onda Cortante (Vs30)

La mayoría de Normas, incluyen la Norma Ecuatoriana, ocupan la velocidad de propagación de ondas de corte en los treinta metros superficiales (V_{s30}), como un índice para caracterizar la amplificación sísmica del suelo y con ello clasificar sitios con distinta demanda sísmica [24].

El objetivo de definir el promedio de velocidad a los 30 metros de profundidad como un criterio para la clasificación de suelos, obedece a que el suelo dentro de esta profundidad es el que afecta en mayor medida el comportamiento de las estructuras que se edifiquen sobre él [25].

Existen varias ecuaciones empíricas escritas por diferentes autores en correlación entre la velocidad de onda V_s con la resistencia a la penetración N .

Tabla 12. Ecuaciones empíricas escrita por diferentes autores.

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

Fuente: Wells – Coppersmith (1994)

Para la investigación indicada se establece trabajar con las ecuaciones determinadas por Hasancebi y Ulusay de acuerdo el tipo de suelo obtenido anteriormente, considerando que en las investigaciones anteriores realizadas para este tema se verifica que los valores encontrados con estas ecuaciones no tiene diferencias relevantes.

Tabla 13. Ecuaciones empíricas Hasancebi y Ulusay

Hasancebi y Ulusay (2007)	
$V_S = 90N^{0,308}$	Para todo tipo de suelo
$V_S = 90,82N^{0,319}$	Arenas
$V_S = 97,89N^{0,269}$	Suelos Arcillosos

Fuente: Revista Espacios Vol. 38 N°32 / 2017

Anteriormente se determinó que el suelo en estudio es **ARENA**, por consiguiente se establece trabajar con la ecuación empírica $V_S=90.82N^{0.319}$.

Dónde:

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

Vs30: Velocidad media de la onda de cortante.

En las siguientes tablas se determinará la velocidad de la onda de corte, con respecto al promedio de número de golpes (N) obtenido en el ensayo SPT.

Tabla 14. Ensayo de penetración estándar (SPT) – Pozo 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT) POZO # 1						
NIVEL DE PROFUNDIDAD (H)	NÚMERO DE GOLPES		TOTAL N (SPT)	Vs30 (m/s)	TIPO DE PERFIL	PROMEDIO Vs (m/s)
	C/15cm	N				
Nv 0.00	15		RELENO			
Nv -1.00	30					
	45					
	15					
	30					
	45					
Nv -2.00	15	9	31	271,60	D	321,22
	30	13	53	322,27	D	
	45	18				
	15	16				
	30	26				
	45	27				
Nv -3.00	15	16	62	338,81	D	
	30	30	70	352,18	D	
	45	32				
	15	32				
	30	34				
	45	36				

Fuente: Holger Guamani

En la tabla 13 se determinó la velocidad de corte en intervalos de 45 cm de profundidad, la cual se calculó en relación al número de golpes, dando como resultado velocidades pertenecientes al perfil tipo D, lo cual se establece de acuerdo a la siguiente consideración $360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$ y de acuerdo a la V_s promedio = 321.22m/s lo cual se determina que el pozo tiene un perfil tipo D.

Tabla 15. Ensayo de penetración estándar (SPT) – Pozo 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) POZO # 2						
NIVEL DE PROFUNDIDAD (H)	NÚMERO DE GOLPES		TOTAL N (SPT)	Vs30 (m/s)	TIPO DE PERFIL	PROMEDIO Vs (m/s)
	C/15cm	N				
Nv 0.00	15		RELLENO			311,38
Nv -1.00	30					
	45					
	15					
	30					
	45					
	RELLENO					
Nv -2.00	15	8	26	256,78	D	311,38
	30	11	42	299,23	D	
	45	15				
	15	17				
	30	20	76	361,54	C	
	45	22				
15	23					
Nv -3.00	30	24	56	327,98	D	311,38
	45	32	76	361,54	C	
	15	36				
	30	38				
	45	38				

Fuente: Holger Guamani

En la tabla anterior se determinó la velocidad de corte en intervalos de 45 cm de profundidad, la cual se calculó en relación al número de golpes, dando como resultado velocidades pertenecientes al perfil tipo D, lo cual se establece de acuerdo a la siguiente consideración $360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$, excepto en los últimos 50cm de perforación ya que la velocidad calculada es mayor que 360 m/s , y pertenece al perfil tipo C ($760\text{m/s} > V_s \geq 360\text{m/s}$), pero sin embargo la V_s promedio = 311.38m/s lo cual se determina que el pozo tiene un perfil tipo D.

Tabla 16. Ensayo de penetración estándar (SPT) – Pozo 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT) POZO # 3						
NIVEL DE PROFUNDIDAD (H)	NÚMERO DE GOLPES		TOTAL N (SPT)	Vs30 (m/s)	TIPO DE PERFIL	PROMEDIO Vs (m/s)
	C/15cm	N				
Nv 0.00	15					359,50
Nv -1.00	30		CAPA VEGETAL			
	45		CAPA VEGETAL			
	15		CAPA VEGETAL			
	30		CAPA VEGETAL			
	45		CAPA VEGETAL			
	15	18				
Nv -2.00	30	25	50	316,34	D	
	45	25				
	15	29				
	30	31	66	345,63	D	
	45	35				
	15	22				
Nv -3.00	30	36	78	364,55	C	
	45	42				
	15	57				
	30	57	114	411,47	C	
	45	57				

Fuente: Holger Guamani

En la tabla 15 se determinó la velocidad de corte en intervalos de 45 cm de profundidad, la cual se calculó en relación al número de golpes, dando como resultado velocidades pertenecientes al perfil tipo D, lo cual se establece de acuerdo a la siguiente consideración $360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$, excepto en los últimos 100cm de perforación ya que la velocidad calculada es mayor que 360 m/s, y pertenece al perfil tipo C ($760\text{m/s} > V_s \geq 360\text{m/s}$), pero sin embargo la V_s promedio = 359.50m/s lo cual se determina que el pozo tiene un perfil tipo D.

Tabla 17. Ensayo de penetración estándar (SPT) – Pozo 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT) POZO # 4						
NIVEL DE PROFUNDIDAD (H)	NÚMERO DE GOLPES		TOTAL N (SPT)	Vs30 (m/s)	TIPO DE PERFIL	PROMEDIO Vs (m/s)
	C/15cm	N				
Nv 0.00	15					288,97
	30		CAPA VEGETAL			
	45		CAPA VEGETAL			
	15		CAPA VEGETAL			
	30		CAPA VEGETAL			
Nv -1.00	45		CAPA VEGETAL			
	15	5	16	219,94	D	
	30	7				
	45	9				
	15	9	38	289,82	D	
	30	14				
Nv -2.00	45	24				
	15	8	22	243,45	D	
	30	9				
	45	13				
	15	18	47	310,16	D	
	30	25				
Nv -3.00	45	22				
	15	15	43	301,48	D	
	30	24				
	45	19				
	15	18	81	368,97	C	
	30	40				
Nv -4.00	45	41				

Fuente: Holger Guamani

En la tabla 16 se determinó la velocidad de corte en intervalos de 45 cm de profundidad, la cual se calculó en relación al número de golpes, dando como resultado velocidades pertenecientes al perfil tipo D, lo cual se establece de acuerdo a la siguiente consideración $360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$, excepto en los últimos 50cm de perforación ya que la velocidad calculada es mayor que 360 m/s, y pertenece al perfil tipo C ($760\text{m/s} > V_s \geq 360\text{m/s}$), pero sin embargo la V_s promedio = 288.97m/s lo cual se determina que el pozo tiene un perfil tipo D.

Tabla 18. Ensayo de penetración estándar (SPT) – Pozo 5

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT) POZO # 5						
NIVEL DE PROFUNDIDAD (H)	NÚMERO DE GOLPES		TOTAL N (SPT)	Vs30 (m/s)	TIPO DE PERFIL	PROMEDIO Vs (m/s)
	C/15cm	N				
Nv 0.00	15		RELLENO			322,07
Nv -1.00	30					
	45					
	15					
	30					
	45					
	RELLENO					
Nv -2.00	15	15	34	279,72	D	
	30	17	47	310,16	D	
	45	17				
	15	22				
	30	23	56	327,98	D	
	45	24				
Nv -3.00	15	18	82	370,41	C	
	30	20				
	45	36				
	15	38	56	327,98	D	
	30	40				
	45	42				

Fuente: Holger Guamani

En la tabla 17 se determinó la velocidad de corte en intervalos de 45 cm de profundidad, la cual se calculó en relación al número de golpes, dando como resultado velocidades pertenecientes al perfil tipo D, lo cual se establece de acuerdo a la siguiente consideración $360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$, excepto en los últimos 50cm de perforación ya que la velocidad calculada es mayor que 360 m/s , y pertenece al perfil tipo C ($760\text{m/s} > V_s \geq 360\text{m/s}$), pero sin embargo la V_s promedio = 322.07m/s lo cual se determina que el pozo tiene un perfil tipo D.

En las tablas anteriores se ha determinado la velocidad de la onda de corte (V_{s30}) para cada pozo, mediante estos valores obtenidos y en base a la tabla de clasificación del tipo de perfil del suelo otorgada por la normativa Ecuatoriana (NEC-SE-DS-2015), se determinara el tipo de suelo para la zona de estudio.

Tabla 19. Tipo perfil del suelo para la zona en estudio.

POZO	V_{s30} (m/s)	PROMEDIO V_{s30} (m/s)	TIPO DE PERFIL
1	321,22	320,63	D
2	311,38		
3	359,50		
4	288,97		
5	322,07		

Fuente: Holger Guamani

En la tabla 18 se determina la velocidad promedio de la onda de corte de todo los pozos es de 320.63 m/s este valor se utilizara para obtener el tipo de suelo, el mismo que cumple con el criterio de $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$, establecido para un perfil tipo D, el cual representa un tipo de suelo rígido para la zona de estudio.

4.1.7. Ecuaciones de atenuación

Para la investigación establecida se realizó un programa en Excel, el mismo que contiene una serie de modelos matemáticos en base a las ecuaciones de atenuación.

Calculo de la Magnitud de momento (M_w)

En base a la relación de Wells – Coppersmith, se determinara la magnitud de momento, considerando las fallas identificadas anteriormente de tipo inversa. Para lo cual se basara en la tabla 19 y se establecerá la ecuación para el cálculo de magnitud de momento (M_w) de acuerdo a sus especificaciones.

La ecuación será:

$$M_w = a + b * \log(SRL) \quad (7)$$

Dónde:

M_w : Magnitud de momento

a,b: Coeficientes (De acuerdo al tipo de falla)

SRL: Longitud de rotura superficial (km)

Tabla 20. Regresión de longitud, ancho, área de ruptura y magnitud de momento

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

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

Fuente: Wells – Coppersmith (1994)

En la siguiente tabla se determinara la magnitud de momento para cada falla establecida para la investigación.

Tabla 21. Magnitud de momento para cada falla

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	COEFICIENTE S		SRL (Km)	Mw
			a	b		
EC-223	Subducción	Inversa	5,00	1,22	1536,50	8,89
EC-344a	Huachi	Inversa Ciega	5,00	1,22	12,00	6,32
EC-344b	Ambato	Inversa Ciega	5,00	1,22	16,30	6,48
EC-345	Totoras	Transcurrente Inversa Ciega	5,00	1,22	17,70	6,52
EC-54	Samanga	Inversa Ciega	5,00	1,22	33,00	6,85

Fuente: Holger Guamani

Ecuaciones de atenuación para fallas de subducción.

Modelo de Youngs (1997)

Este modelo determina una ecuación de atenuación para subducción en zonas sísmicas, considerando dos tipos de subducción: interplaca e intraplaca. Los terremotos de interplaca son superficiales, y los de intraplaca se generan dentro de las placas oceánicas de subducción. Algunos parámetros son obtenidos mediante estudios realizados de Harvard[26].

Ecuación:

$$\ln y = -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 * \ln(R + 1.097e^{0.617*M}) + 0.00648H + 0.3643Zt \quad (1)$$

Dónde:

y: Aceleración máxima espectral en g (Valor de PGA)

C₁,C₂,C₃: coeficientes de regresión para eventos de subducción.

R: Distancia más cercana fuente a sitio medida en Km

H: Profundidad focal en Km

M: Magnitud de momento

Zt: Coeficiente de acuerdo al tipo de falla

e: Base de logaritmo natural

Determinación del coeficiente de acuerdo al tipo de falla (**Zt**)

Young, se basa en el mecanismo tectónico. Expresado a continuación:

Evento de tipo tectónico:

- Interplaca: Zt=0
- Intraplaca: Zt=1

Limitaciones de la ecuación:

- Magnitud de momento mayor o igual a 5.
- La distancia R, Distancia fuente – sitio entre 10 y 500 Km.
- La profundidad focal D entre 10 – 229 Km.

En la Tabla N°21 se describe los valores a utilizar en la ecuación de Young.

Tabla 22. Datos a utilizar para la ecuación del modelo de Young

Datos para la ecuación de Young			
Magnitud de momento (Mw)	Distancia Fuente-Sitio (R en Km)	Profundidad Focal (H en Km)	Tipo de Falla (Zt)
8,89	306,10	125	Intraplaca
Coeficientes (C1,C2,C3,C*4,C*5)			1
			Anexo B1

Fuente: Holger Guamani

Modelo de Zhao. (2006)

Este modelo aplica un factor de modificación de distancia simple para lograr predicciones, además se presenta la magnitud de sismo, distancia más corta al plano de falla y profundidad focal [27].

Ecuacion:

$$Logy = aMw + bx - \log(r) + e(h - hc)\delta h + FR + SI + Ss + SSL\log(x) + Ck \quad (4)$$

Dónde:

M: Magnitud de momento

a, b: Coeficientes de regresión para el suelo de subducción

x: Distancia a la fuente en Km

h: Profundidad focal en Km

hc: Constante de profundidad

Ck: Coeficiente de acuerdo a la clase de sitio

y: PGA (cm/ seg²) o 5% de espectro de respuesta de aceleración amortiguada para un período espectral T.

δh: Variable en función de h y hc.

FR: Coeficiente para Fallas inversas.

SI: Coeficiente para Eventos de Interface.

Ss: Coeficiente para Eventos de Intraplaca.

SSL: Término de modificación de ruta independiente de la magnitud para eventos de Intraplaca.

r = Coeficiente de amplificación en función de la distancia.

Calculo del Coeficiente de amplificación en función de la distancia (**r**).

$$r = X + c \exp(d * Mw) \quad (4 - 1)$$

Parámetros a ocupar para la ecuación de Zhao

Profundidades focales

Para determinar un tipo de evento para este modelo, en base a la profundidad focal (**h**), se describen las siguientes categorías.

- Evento Cortical: $h = 0 - 25$ Km.
- Evento Interplaca: $h = 10 - 50$ Km.
- Evento Intraplaca: $h = 15 - 162$ Km.

Si un sismo intraplaca se genera a una profundidad (h**)>50 Km, usar **h=50 Km**.**

- Para determinar el coeficiente de profundidad Zhao, considera:
 $h_c = 15$ km → para eventos superficiales.
 $h_c = 0$ km → para eventos Profundos.
- Para la determinación de la variable en función de **h** y h_c , se basara en las siguientes consideraciones:
 $\delta h = 1$ SI $h \geq h_c$
 $\delta h = 0$ SI $h < h_c$

FR: este coeficiente se aplica en falla cortical, considerando un valor de 0 para los demás eventos.

SI: este coeficiente se aplica en falla interplaca, considerando un valor de 0 para los demás eventos.

Ss: este coeficiente se aplica en falla subducción, considerando un valor de 0 para los demás eventos.

SSL: este coeficiente es un factor de modificación independiente de la magnitud de los eventos intraplaca.

FR, SI, Ss, SSL: Estos coeficientes se establecerá de acuerdo al Anexo C1

Ck: este coeficiente se establecerá en base a cinco tipos de sitios definido por Zhao:

- Clase A (Roca dura), donde $V_{s30} > 1100$ m/s. Use datos CH.
- Clase A+B, donde $600 < V_{s30} \leq 1100$ m/s, $T < 0.2$ s. Use datos C1.
- Clase C (suelo duro), donde $300 < V_{s30} \leq 600$ m/s, $0.2 \leq T < 0.4$ s. Use datos C2.
- Clase D (suelo medio), donde $200 < V_{s30} \leq 300$ m/s, $0.4 \leq T < 0.6$ s. Use datos C3.
- Clase E+F (suelo blando), donde $V_{s30} \leq 200$ m/s, $T \geq 0.6$ s. Use datos C4

CH, C1, C2, C3, C4: coeficientes según la clase de suelo (Anexo C2)

En la Tabla N°21 se describe los valores a utilizar en la ecuación de Zhao.

Tabla 23. Datos a utilizar para la ecuación del modelo de Zhao

Datos para la ecuación de Zhao				
Magnitud de momento (Mw)	Distancia a la Fuente (X en Km)	Profundidad Focal (H en Km)	Constante de profundidad (hc)	δh
8,89	306,10	50	0	1
Evento Tectónico			Tipo de Falla	Vs30 (m/s)
Intraplaca			Inversa	320,63
SI	SS	SSL	FR	Ck
0	Datos de la tabla establecida por Zhao		1	Tabla de Zhao

Fuente: Holger Guamani

Ecuaciones de atenuación para fallas Corticales.

Modelo Boore y Atkinson (2008)

Estas ecuaciones se establecen en base a los estudios realizados por la investigación de PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center), que emplean una extensa base de datos de registros de terremotos en zonas tectónicas activas en el mundo[28].

Ecuacion:

$$Lny = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \varepsilon \quad (5)$$

Dónde:

F_{M,D,S}: Coeficientes

M: Magnitud de momento

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

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

Parámetros para la ecuación de Boore y Atkinson

- Magnitud de momento debe estar entre 5 a 8 Mw
- La distancia (R_{JB}) debe ser menor a <200 km.
- La velocidad media de onda de corte (Vs30) tiene que estar en e rango de 80–1300m/s.

Las funciones de distancia y magnitud:

Esta función esta expresada por:

$$F_D(R_{JB}, M) = [C_1 + C_2(M - M_{ref})] \ln\left(\frac{R}{R_{ref}}\right) + C_3(R - R_{ref}) \quad (5 - 1)$$

Dónde:

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2} \quad (5 - 3)$$

c1, c2, c3, y h: coeficientes a determinar en el análisis (Anexo D1).

Mref= 4.5

Rref= 1 km

Para determinar la escala de magnitud se tiene la siguiente expresion:

- **M ≤ M_h**

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3SS + e_4RS + e_5(M - M_h) + e_6(M - M_h)^2 \quad (5 - 4)$$

- **M > M_h**

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_7(M - M_h) \quad (5 - 6)$$

Dónde:

U, SS, NS y RS: Son variables para indicar el tipo de falla no especificada, normal, inverso[28].

Mh: para la forma de escala de magnitud, este coeficiente se debe establecer durante el análisis (Anexo D3) [28].

Ecuacion amplificación del sitio:

$$F_s = FLIN + FNL \quad (5 - 7)$$

Donde:

FLIN y FNL: términos lineales y no lineales respectivamente[28].

- Calculo del termino lineal (FLIN)

$$FLIN = b_{lin} \ln(V_{S30}/V_{ref}) \quad (5 - 8)$$

Donde:

b_{lin}: coeficiente que depende del periodo.

V_{ref}: velocidad de referencia especificada (760 m/s)

- Calculo del término no lineal (FNL)

$$\diamond pga_{4nl} \leq a_1$$

$$FNL = b_{nl} \ln(pga_{low}/0.1) \quad (5 - 9)$$

$$\diamond a_1 < pga_{4nl} \leq a_2$$

$$FNL = b_{nl} \ln(pga_{low}/0.1) + c[\ln(pga_{4nl}/a_1)]^2 + d[\ln(pga_{4nl}/a_1)]^3 \quad (5 - 10)$$

$$\diamond a_2 < pga_{4nl}:$$

$$FNL = b_{nl} \ln(pga_{4nl}/0.1) \quad (5 - 11)$$

Dónde:

$$a_1 = 0.03g$$

$$a_2 = 0.09g$$

$$pgalow = 0.06g$$

$$V_{ref} = 760 \text{ m/s}$$

Las ecuaciones para la porción no lineal de la respuesta del suelo son necesarias para [28]:

- ❖ Evitar que la amplificación no lineal aumente indefinidamente a medida que pga_{nl} disminuye.
- ❖ Suavizar la transición del comportamiento lineal al no lineal.

Los coeficientes c y d de la ecuación dada por:

$$c = \left(3\Delta y - \frac{b_{nl}\Delta x}{\Delta x^2} \right) \quad (5 - 12) \quad d = - \left(2\Delta y - \frac{b_{nl}\Delta x}{\Delta x^3} \right) \quad (5 - 13)$$

Donde:

$$\Delta x = \ln \left(\frac{a_2}{a_1} \right) \quad (5 - 14) \quad \Delta y = b_{nl} \ln \left(\frac{a_2}{pga_{low}} \right) \quad (5 - 15)$$

La pendiente no lineal b_{nl} es una función de ambos periodos y V_{S30} viene dado por:

- $V_{S30} \leq V_1$

$$b_{nl} = b_1 \quad (5 - 16)$$

- $V_1 < V_{S30} \leq V_2$

$$b_{nl} = \frac{(b_1 - b_2) \ln \left(\frac{V_{S30}}{V_2} \right)}{\ln \left(\frac{V_1}{V_2} \right)} + b_2 \quad (5 - 17)$$

- $V_2 < V_{S30} \leq V_{ref}$

$$b_{nl} = \frac{b_2 \ln \left(\frac{V_{S30}}{V_{ref}} \right)}{\ln \left(\frac{V_2}{V_{ref}} \right)} \quad (5 - 18)$$

- $V_{ref} \leq V_{S30}$

$$b_{nl} = 0.0 \quad (5 - 19)$$

Dónde:

$$V_1 = 180 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 300 \text{ m/s}$$

$$V_{ref} = 760 \text{ m/s}$$

b_1, b_2 : Coeficientes dependientes del periodo (Anexo D3).

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

V₁, V₂: Velocidades de referencia especificadas, son datos establecidos en el artículo de Boore y Atkinson

En el artículo de Boore y Atkinson, se presentan valores para las variables ficticias dentro los siguientes mecanismos de fallas:

- **Transcurrente:**
Si $4.3 \leq M \leq 7.9$. entonces:
SS=1; U=0; NS=0; RS=0
- **Inversa:**
Si $5.6 \leq M \leq 7.6$, entonces:
SS=0; U=0; NS=0; RS=1
- **Normal:**
Si $5.3 \leq M \leq 6.9$, entonces:
SS=0; U=0; NS=0; RS=0

En la Tabla N°23 se describe los valores a utilizar en la ecuación Boore y Atkinson.

Tabla 24. Datos a utilizar para la ecuación del modelo de Boore y Atkinson

Datos para la ecuación de Boore y Atkinson							
Falla	Distancia (Rjb en Km)		Vs30 (m/s)	Mw	Tipo de Falla		
Huachi	4,06		320,63	6,32	INVERSA	U=	0
Ambato	2,25			6,48		SS=	0
Totoras	1,40			6,52		NS=	0
Samanga	9,70			6,85		RS=	1
a1	a2	pga_low	V1(m/s)	V2(m/s)	Vref(m/s)	Mref	Rref(Km)
0,03	0,09	0,06	180	300	760	4,5	1

Fuente: Holger Guamani

Modelo Akkar y Bommer (2010)

Este modelo se basó en un conjunto de datos de 532 acelerogramas registrados a una distancia de 100 Km. De 131 terremotos con magnitud de 5 a 7.6, esta ecuación de atenuación tiene como objetivo ampliar los periodos de respuesta y los valores de amortiguación [20].

Ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Log}y = & b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M)\log\sqrt{r^2jb + b^26} + b_7S_S + b_8S_A \\ & + b_9F_N + b_{10}F_R + \varepsilon\sigma \end{aligned} \quad (6)$$

Dónde:

b1, b2, b3, b4, b5, b6, b7, b8, b9, b10, σ1,σ2: Coeficientes para la predicción de Pseudoaceleración espectral. (Anexo E1).

F_N: Falla normal

F_R: Falla inversa

M: Magnitud de momento

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

S_A: Coeficiente para suelo rígido

S_s: Coeficiente para suelo suave

ε: Número de desviación estándar

σ: Desviación estándar

Parámetros para la aplicación ecuación de Akkar y Bommer

- La magnitud de momento debe estar entre 5 a 7.6) Mw
- La distancia no debe ser mayor a 100 km
- La ecuación puede alcanzar un periodo de 3s.

Para los coeficientes de suelo rígido y suave estos autores establecen tres categorías de suelo, que se describen a continuación:

- Suelos blandos:
Si $V_{s30} < 360 \text{ m/s} \rightarrow S_S = 1$ y $S_A = 0$
- Suelos rígidos:
Si $360 \text{ m/s} < V_{s30} < 750 \text{ m/s} \rightarrow S_S = 1$ y $S_A = 0$

- Roca:
Si $V_{s30} > 750 \text{ m/s} \rightarrow S_S = 1 \text{ y } S_A = 0$

De igual forma para la falla normal e inversa Akkar y Bommer establecen tres mecanismos de falla, que se describen a continuación:

- Falla Normal
 $F_N = 1 \text{ y } F_R = 0$
- Falla Inversa
 $F_N = 0 \text{ y } F_R = 1$
- Falla Trascorrente
 $F_N = 0 \text{ y } F_R = 0$

En la Tabla N°24 se describe los valores a utilizar en la ecuación Akkar y Bommer.

Tabla 25. Datos a utilizar para la ecuación del modelo de Akkar y Bommer.

Datos para la ecuación de Akkar y Bommer					
Falla	Distancia (Rjb en Km)	Vs30 (m/s)	Mw	Tipo de Falla	
Huachi	4,06	320,63	6,32	INVERSA	FN= 0
Ambato	2,25		6,48		
Totoras	1,40		6,52		FR= 1
Samanga	9,70		6,85		
Condición		Suelo	Ss	SA	
Vs30 < 360		Blando	1	0	

Fuente: Holger Guamani

Modelo de Kanno. (2006)

Kanno establece dos ecuaciones de atenuación, de acuerdo a la profundidad focal.

Ecuación:

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

$$\text{Logpre} = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 * 10^{e_1 M_w}) + c_1 + \epsilon_1 \quad (2)$$

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

$$\text{Logpre} = a_2 M_w + b_2 X - \log(X) + c_2 + \epsilon_2 \quad (3)$$

Dónde:

Pre: está en cm/s^2

D: Profundidad focal en Km

e₁: 0.5 (constante)

a, b, c, d: Coeficientes (Anexo F1)

M_w: Magnitud de momento

X: Coeficiente dependiente de la distancia de la fuente

En la investigación planteada, al tener una profundidad focal menor a 30 Km se ocupara la primera ecuación.

Parámetros para la aplicación ecuación de Kanno

- Eventos poco profundos → Profundidad focal no debe exceder los 30 Km.
- Eventos profundos → Profundidad focal debe estar entre 30 y 180 Km.

Se utilizaran coeficientes de distancia - fuente en base a las siguientes consideraciones:

- Si $X \leq 25 \text{ km} \rightarrow X=6.0$
- Si $25 \leq X \leq 50 \text{ km} \rightarrow X=3.0$
- Si $50 \leq X \leq 75 \text{ km} \rightarrow X=1.5$
- Si $X > 75 \text{ km} \rightarrow 1.0$

En la Tabla N°25 se describe los valores a utilizar en la ecuación Kanno.

Tabla 26. Datos a utilizar para la ecuación del modelo de Kanno.

Datos para la ecuación de Kanno					
Falla	Distancia (R _{jb} en Km)	Vs30 (m/s)	M _w	Tipo de Evento	Constante
Huachi	4,06	320,63	6,32	Superficial	e ₁ = 0,5
Ambato	2,25		6,48		
Totoras	1,40		6,52		
Samanga	9,70		6,85		

Fuente: Holger Guamani

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.2.1. Cálculo de los espectros.

Este estudio tiene como finalidad estimar curvas de peligrosidad sísmica para un sector indicado en base a una modelo determinista, para estructuras del sitio. Lo cual se basa en obtener espectros de respuesta mediante fallas activas seleccionadas.

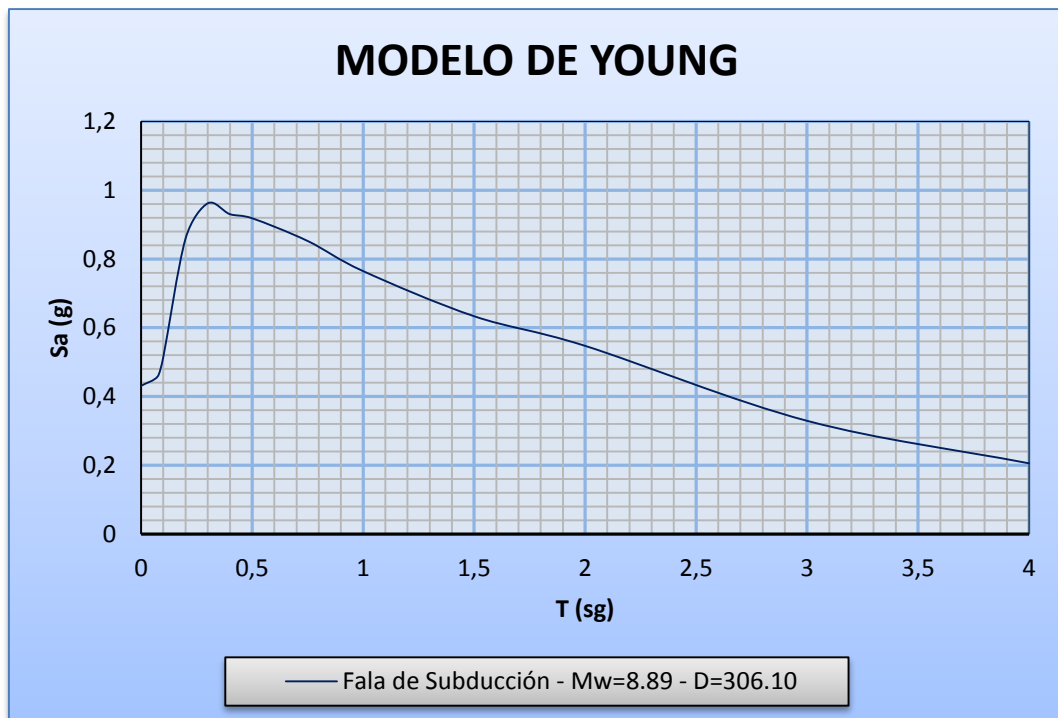
De manera gráfica se realizará una comparación entre el espectro de respuesta determinado por nuestro estudio VS espectro de respuesta de la NEC-SE-DS (2015).

4.2.2. Espectros calculados de acuerdo a cada modelo determinado anteriormente.

4.2.2.1. Modelo de Young.

En el siguiente grafico se observa el espectro de aceleración determinado para la falla de subducción.

Figura 19. Espectro de aceleración del modelo de Young



Fuente: Holger Guamani

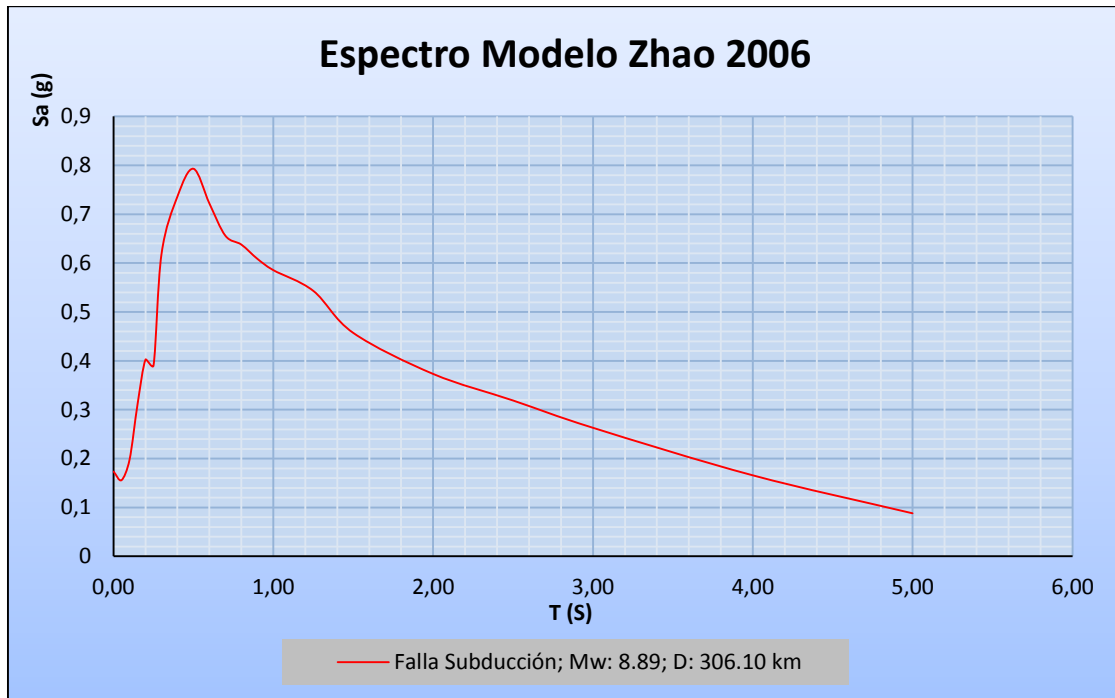
En la figura 19 se determina la curva de periodo (T) vs aceleración (Sa), además se puede evidenciar un aumento crítico de aceleración espectral en los primeros 0.3 segundos, a los **0.3seg** alcanza una aceleración máxima de **0.96g**, a partir de

los 0.3seg la aceleración decrece y el periodo aumenta hasta llegar al periodo límite de 4seg.

4.2.2.2. Modelo de Zhao

En el siguiente grafico se observa el espectro de aceleración determinado para la falla de subducción.

Figura 20. Espectro de aceleración del modelo de Zhao



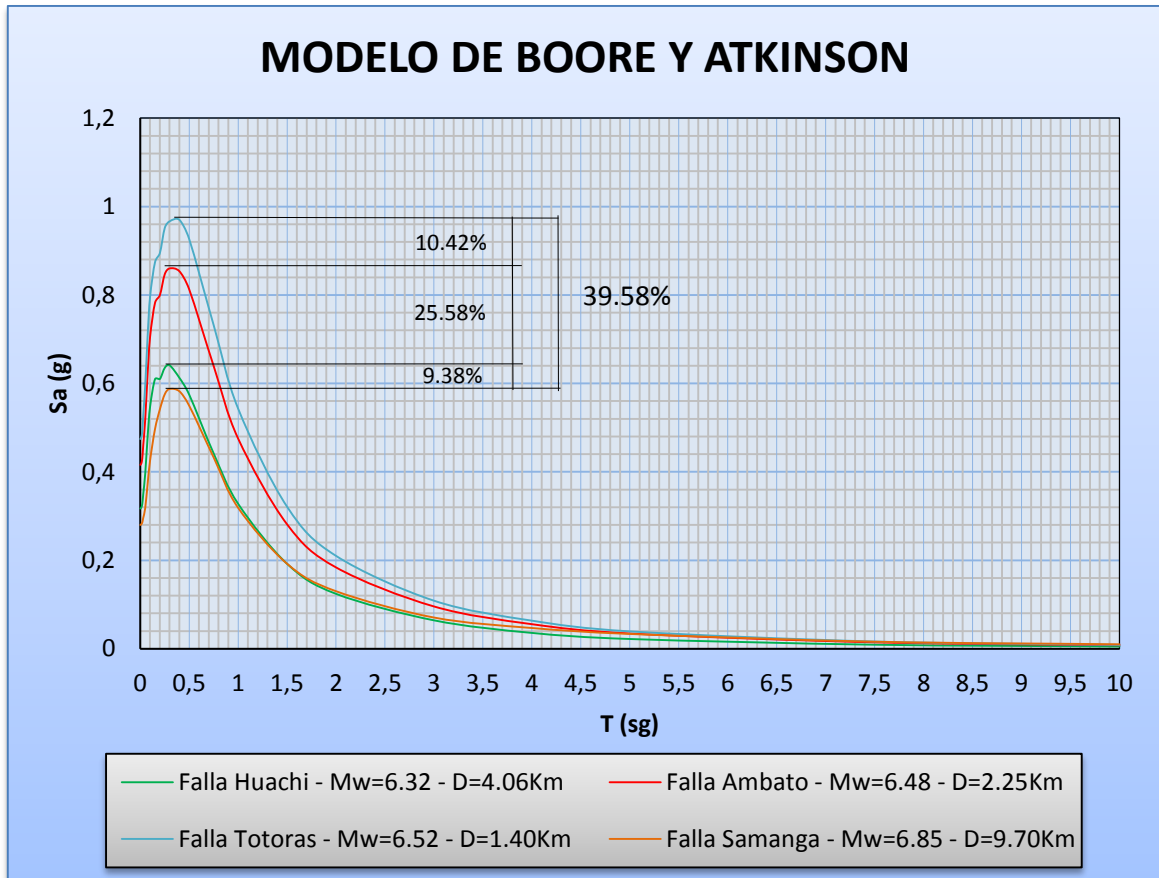
Fuente: Holger Guamani

En la figura 20 se determina la curva de periodo (T) vs aceleración (S_a) de acuerdo al modelo de Zhao, de igual manera se observa que en los primeros periodos de 0 a 0.3seg alcanza una aceleración máxima de **1.04g**, posterior a este la aceleración decrece a **0.91g** en **0.4seg**, y en el periodo de **0.5seg** la aceleración vuelve a ascender hasta llegar a una aceleración de **1.09g** a partir de este periodo la aceleración decrece hasta **0.60g** en 0.9seg, y vuelve a ascender en forma no muy significativa hasta **0.62g** en **1.25seg** y a partir del **1.25seg** la aceleración disminuye y el periodo aumenta hasta llegar a un periodo límite de **5seg** con una aceleración de 0.11g.

4.2.2.3. Modelo de Boore y Atkinson

En el siguiente grafico se observa el espectro de aceleración determinado para las fallas corticales seleccionadas para la investigación.

Figura 21. Espectro de aceleración del modelo de Boore y Atkinson



Fuente: Holger Guamani

En la figura 21 se determina la curva de periodo (T) vs aceleración (Sa) de acuerdo al modelo de Boore y Atkinson para cada falla cortical seleccionada, la cual nos indica que todas las fallas (Falla de Huachi, Ambato, Totoras, Samanga) llegan a su máxima aceleración en un tiempo menor o igual a **0.4seg**, tomando en cuenta como la falla más predominante en este modelo la falla de Totoras la cual alcanza un aceleración de **0.97g** en **0.4seg**.

Además se pudo obtener los porcentajes de variación que existe entre los picos de aceleración máximos que genera cada falla mediante el modelo de Boore y Atkinson, en el siguiente cuadro se establecerá los valores de aceleración máximos.

Tabla 27. Aceleraciones máximas determinadas por Boore y Atkison para cada falla seleccionada.

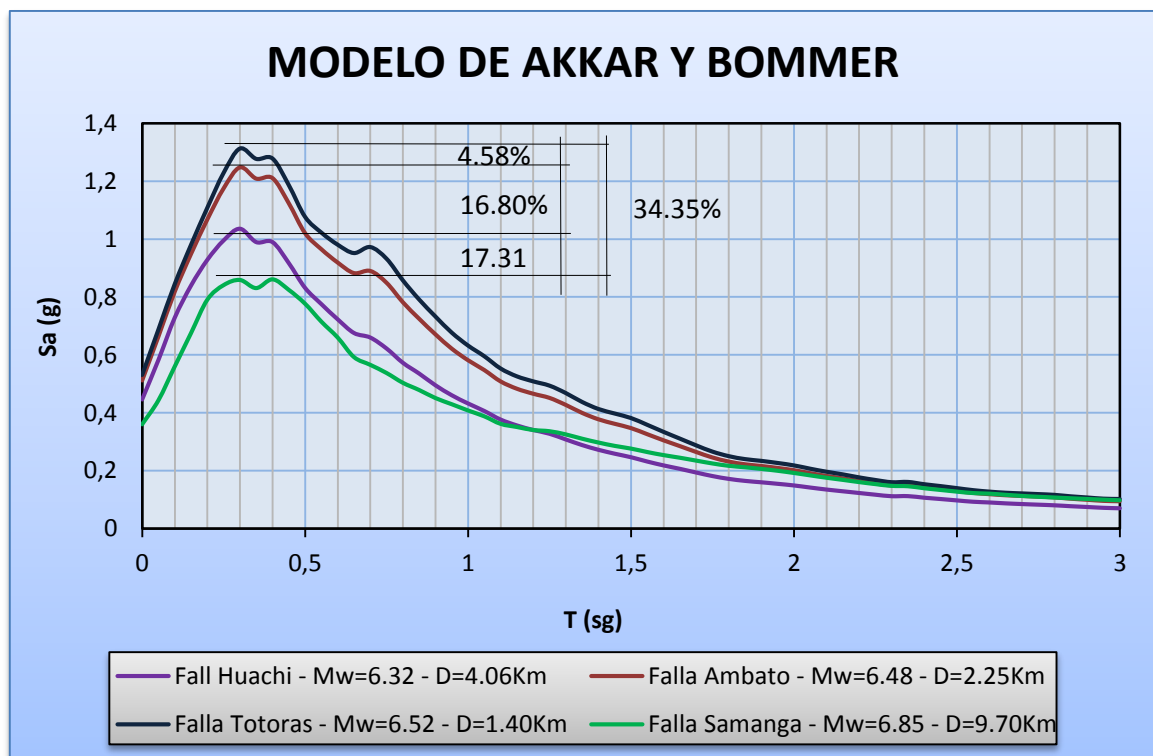
Aceleraciones máximas mediante el modelo de Boore y Atkison		
FALLA	Sa (g)	T (seg)
Huachi	0,61	0,4
Ambato	0,86	0,3
Totoras	0,97	0,4
Samanga	0,59	0,3

Fuente: Holger Guamani

4.2.2.4. Modelo de Akkar y Bommer

En el siguiente gráfico se observa el espectro de aceleración determinado para las fallas corticales seleccionadas para la investigación.

Figura 22. Espectro de aceleración del modelo de Akkar y Bommer



Fuente: Holger Guamani

En la figura 22 indica la curva de periodo (T) vs aceleración (S_a) de acuerdo al modelo de Akkar y Bommer para cada falla cortical seleccionada, la cual nos indica que todas las fallas (Falla de Huachi, Ambato, Totoras, Samanga) llegan a su

máxima aceleración en un tiempo menor o igual a **0.4seg**, tomando en cuenta como la falla más predominante en este modelo la falla de Totoras la cual alcanza un aceleración de **1.31g** en **0.3seg**.

Además se determinó los porcentajes de variación que existe entre los picos de aceleración máximos que genera cada falla mediante el modelo de Akkar y Bommer, en el siguiente cuadro se establecerá los valores de aceleración máximos.

Tabla 28. Aceleraciones máximas determinadas por Akkar y Bommer para cada falla seleccionada.

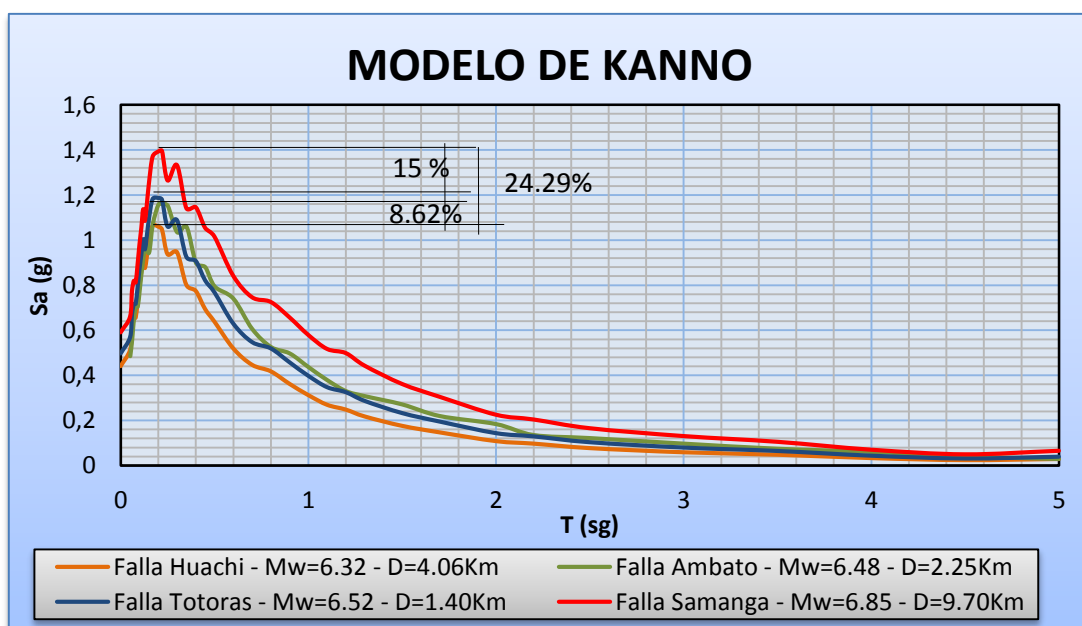
Aceleraciones máximas mediante el modelo de Akkar y Bommer		
FALLA	Sa (g)	T (seg)
Huachi	1.04	0,3
Ambato	1.25	0,3
Totoras	1.31	0,3
Samanga	0.86	0,4

Fuente: Holger Guamani

4.2.2.5. Modelo de Kanno

En el siguiente gráfico se observa el espectro de aceleración determinado para las fallas corticales seleccionadas para la investigación.

Figura 23. Espectro de aceleración del modelo de Kanno.



Fuente: Holger Guamani

En la figura 23 indica la curva de periodo (T) vs aceleración (Sa) de acuerdo al modelo de Kanno para cada falla cortical seleccionada, la cual nos indica que todas las fallas (Falla de Huachi, Ambato, Totoras, Samanga) llegan a su máxima aceleración en un tiempo menor o igual a **0.22seg**, tomando en cuenta como la falla más predominante en este modelo la falla de Samanga la cual alcanza una aceleración de **1.40g** en **0.22seg**.

Además se obtuvo los porcentajes de variación que existe entre los picos de aceleración máximos que genera cada falla mediante el modelo de Kanno, en el siguiente cuadro se establecerá los valores de aceleración máximos.

Tabla 29. Aceleraciones máximas determinadas por Kanno para cada falla seleccionada.

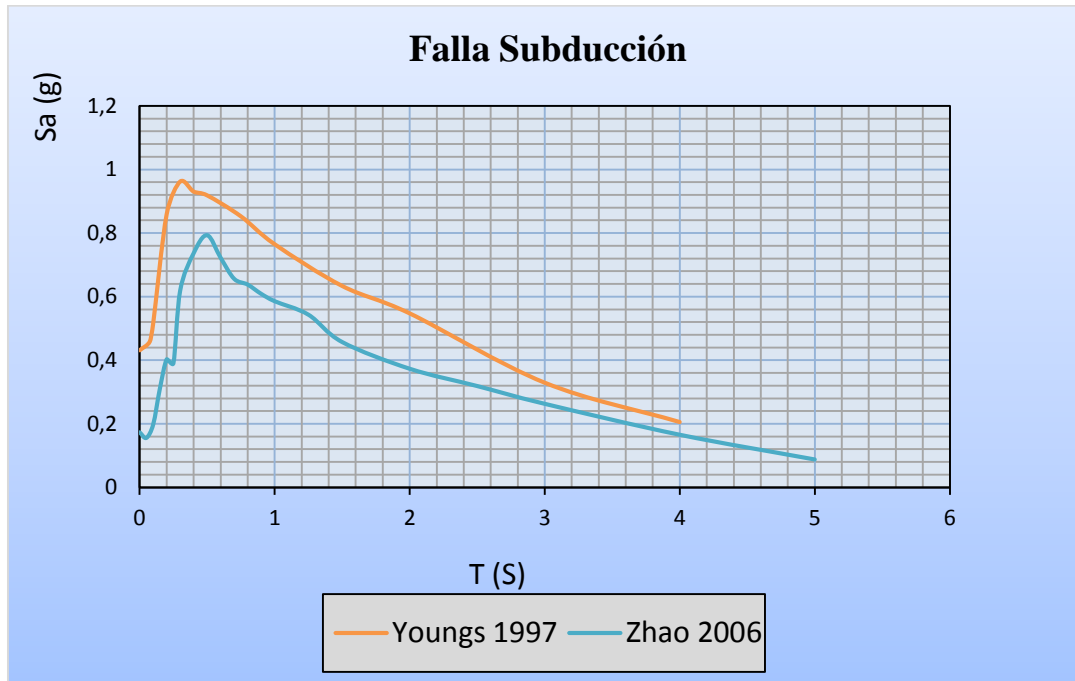
Aceleraciones máximas mediante el modelo de Akkar y Bommer		
FALLA	Sa (g)	T (seg)
Huachi	1.06	0.2
Ambato	1.16	0.2
Totoras	1.19	0.2
Samanga	1.40	0.2

Fuente: Holger Guamani

4.2.3. Espectros calculados para cada falla seleccionada.

4.2.3.1. FALLA DE SUBDUCCIÓN

Figura 24. Espectro de aceleración para la falla de subducción



Fuente: Holger Guamani

En la figura 24 muestra el espectro de aceleración de acuerdo al modelo de Young y Zhao, para la falla de subducción, la cual nos indica que en los dos modelos llegan a su máxima aceleración en un tiempo menor a **0.5seg.**

En la siguiente tabla se indicará las aceleraciones máximas y su porcentaje de variación respecto a cada modelo.

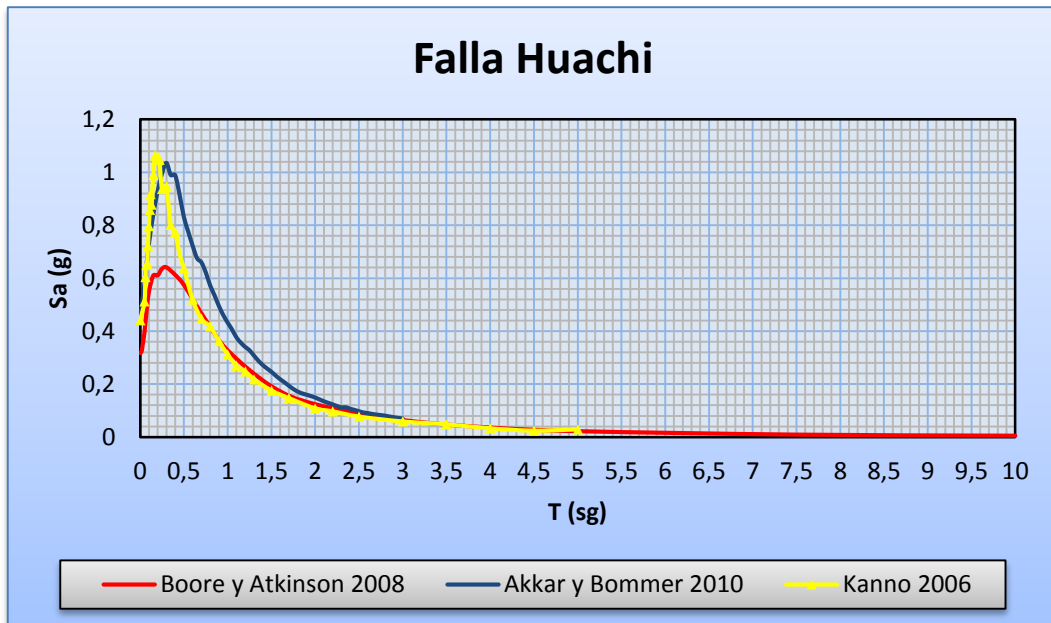
Tabla 30. Aceleraciones máximas para la falla de subducción.

Aceleraciones máximas para la Falla de subducción				
FALLA	Sa (g)	T (seg)	% de variacion entre:	
Young	0,96	0,2	Young y Zhao	17,70%
Zhao	0,79	0,5		

Fuente: Holger Guamani

4.2.3.2. FALA DE HUACHI

Figura 25. Espectro de aceleración para la falla de Huachi



Fuente: Holger Guamani

En la figura 25 muestra el espectro de aceleración de acuerdo al modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, y Kanno, para la falla de Huachi, la cual nos indica que en los tres modelos llegan a su máxima aceleración en un tiempo menor a **0.4seg.** En la siguiente tabla se indicará las aceleraciones máximas y su porcentaje de variación respecto a cada modelo.

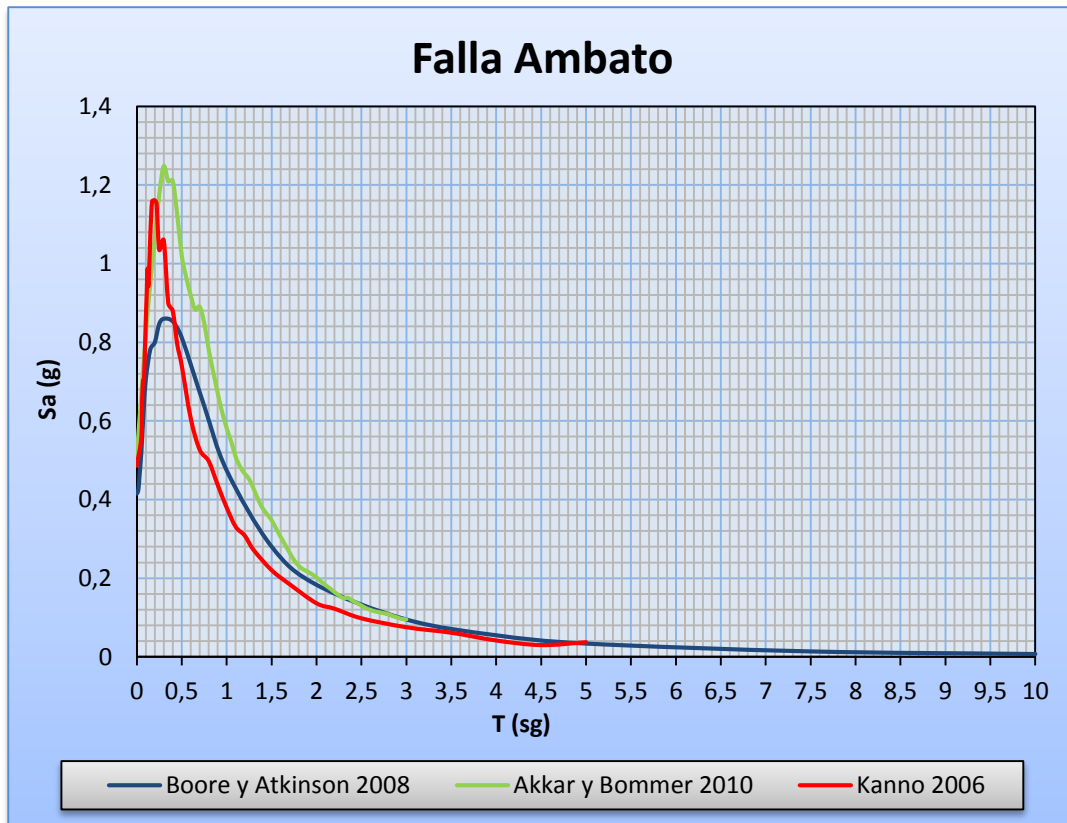
Tabla 31. Aceleraciones máximas para la falla de Huachi

Aceleraciones máximas para la Falla de Huachi				
FALLA	Sa (g)	T (seg)	% de variación entre:	
Boore y Atkinson (B&A)	0,64	0,3	(B&A) - (A&B)	35,35%
Akkar y Bommer (A&B)	0,99	0,4	(A&B) - (K)	6,60%
Kanno (K)	1,06	0,2	(K) - (B&A)	39,62%

Fuente: Holger Guamani

4.2.3.3. FALA DE AMBATO

Figura 26. Espectro de aceleración para la falla de Ambato



Fuente: Holger Guamani

En la figura 26 muestra el espectro de aceleración de acuerdo al modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, y Kanno, para la falla de Ambato, la cual nos indica que en los tres modelos llegan a su máxima aceleración en un tiempo menor a **0.4seg.**

En la siguiente tabla se indicará las aceleraciones máximas y su porcentaje de variación respecto a cada modelo.

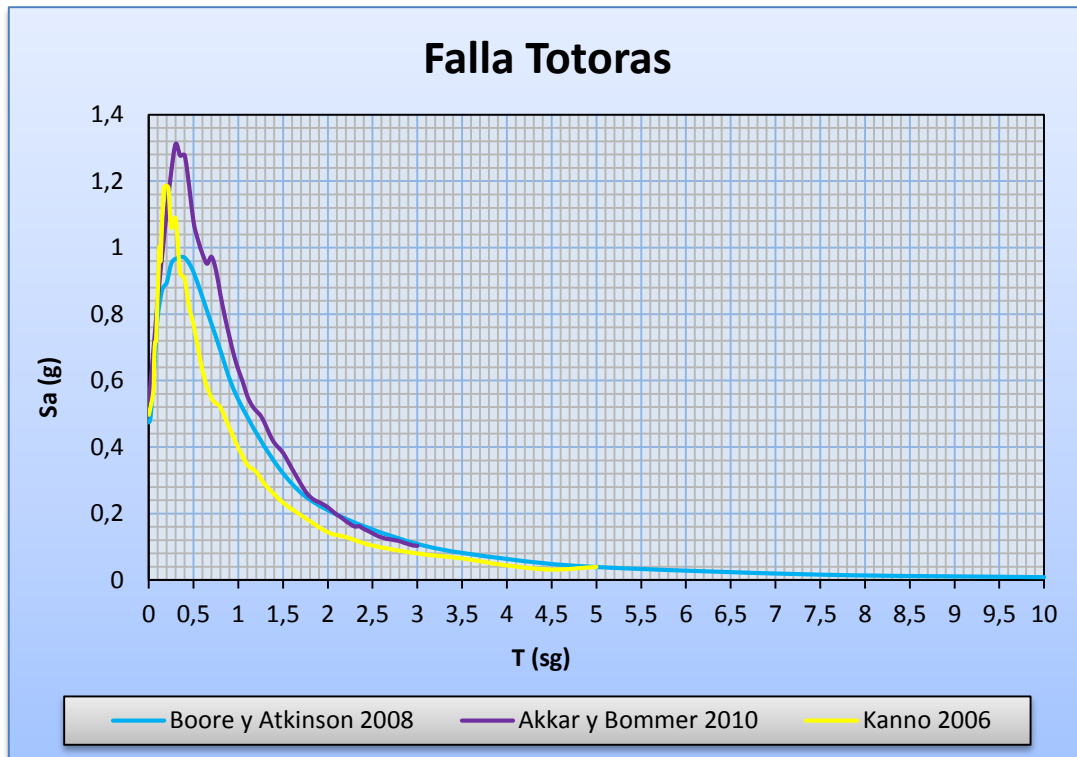
Tabla 32. Aceleraciones máximas para la Falla de Ambato

Aceleraciones máximas para la Falla de Ambato				
FALLA	S_a (g)	T (seg)	% de variacion entre:	
Boore y Atkinson (B&A)	0,86	0,3	(B&A) - (A&B)	31,20%
Akkar y Bommer (A&B)	1,25	0,3	(A&B) - (K)	7,20%
Kanno (K)	1,16	0,2	(K) - (B&A)	25,86%

Fuente: Holger Guamani

4.2.3.4. FALLA DE TOTORAS

Figura 27. Espectro de aceleración para la Falla de Totoras



Fuente: Holger Guamani

En la figura 27 muestra el espectro de aceleración de acuerdo al modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, y Kanno, para la falla de Totoras, la cual nos indica que en los tres modelos llegan a su máxima aceleración en un tiempo menor a **0.4seg.**

En la siguiente tabla se dará a conocer las aceleraciones máximas y su porcentaje de variación respecto a cada modelo.

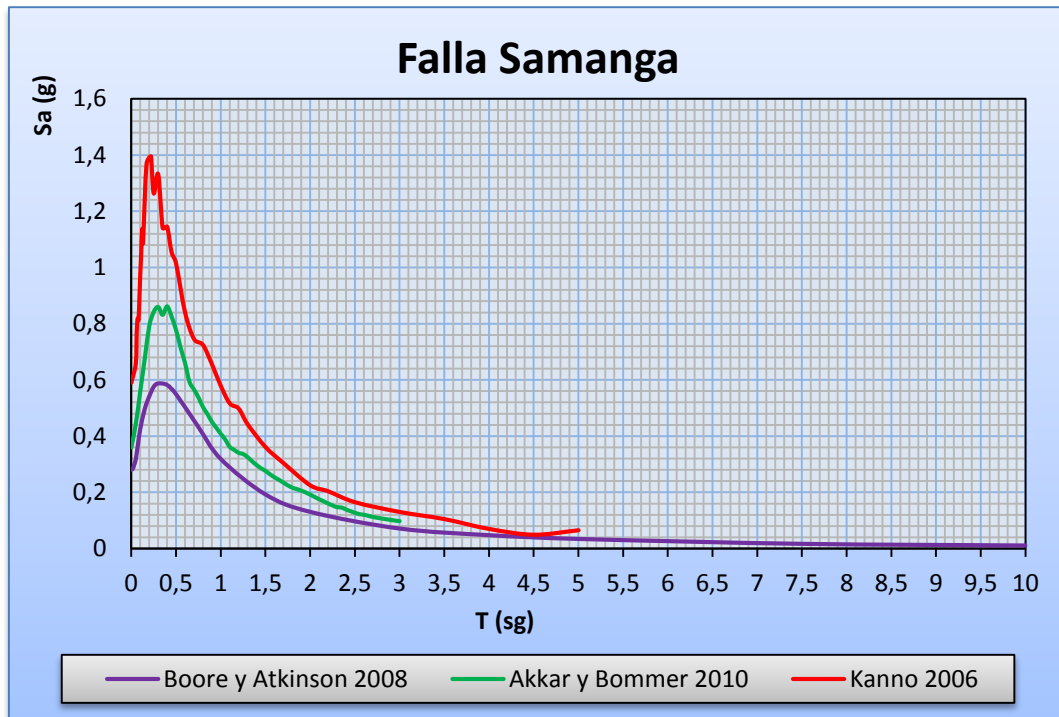
Tabla 33. Aceleraciones máximas para la Falla de Totoras

Aceleraciones máximas para la Falla de Totoras				
FALLA	Sa (g)	T (seg)	% de variacion entre:	
Boore y Atkinson (B&A)	0,97	0,4	(B&A) - (A&B)	25,95%
Akkar y Bommer (A&B)	1,31	0,3	(A&B) - (K)	9,16%
Kanno (K)	1,19	0,2	(K) - (B&A)	18,49%

Fuente: Holger Guamani

4.2.3.5. FALLA DE SAMANGA

Figura 28. Espectro de aceleración para la Falla de Samanga



Fuente: Holger Guamani

En la figura 28 muestra el espectro de aceleración de acuerdo al modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, y Kanno, para la falla de Samanga, la cual nos indica que en los tres modelos llegan a su máxima aceleración en un tiempo menor a **0.4seg.**

En la siguiente tabla se dará a conocer las aceleraciones máximas y su porcentaje de variación respecto a cada modelo.

Tabla 34. Aceleraciones máximas para la Falla de Samanga

Aceleraciones máximas para la Falla de Samanga				
FALLA	Sa (g)	T (seg)	% de variación entre:	
Boore y Atkinson (B&A)	0,59	0,3	(B&A) - (A&B)	31,40%
Akkar y Bommer (A&B)	0,86	0,4	(A&B) - (K)	38,57%
Kanno (K)	1,4	0,2	(K) - (B&A)	57,86%

Fuente: Holger Guamani

Tabla 35. Aceleraciones máximas de todas las fallas

Falla de subducción				
FALLA	Sa (g)	T (seg)	% de variación entre:	
Young	0,96	0,2	Young y Zhao	17,71%
Zhao	0,79	0,5		
Falla de Huachi				
FALLA	Sa (g)	T (seg)	% de variación entre:	
Boore y Atkinson (B&A)	0,64	0,3	(B&A) - (A&B)	35,35%
Akkar y Bommer (A&B)	0,99	0,4	(A&B) - (K)	6,60%
Kanno (K)	1,06	0,2	(K) - (B&A)	39,62%
Falla de Ambato				
FALLA	Sa (g)	T (seg)	% de variación entre:	
Boore y Atkinson (B&A)	0,86	0,3	(B&A) - (A&B)	31,20%
Akkar y Bommer (A&B)	1,25	0,3	(A&B) - (K)	7,20%
Kanno (K)	1,16	0,2	(K) - (B&A)	25,86%
Falla de Totoras				
FALLA	Sa (g)	T (seg)	% de variación entre:	
Boore y Atkinson (B&A)	0,97	0,4	(B&A) - (A&B)	25,95%
Akkar y Bommer (A&B)	1,31	0,3	(A&B) - (K)	9,16%
Kanno (K)	1,19	0,2	(K) - (B&A)	18,49%
Falla de Samanga				
FALLA	Sa (g)	T (seg)	% de variación entre:	
Boore y Atkinson (B&A)	0,59	0,3	(B&A) - (A&B)	31,40%
Akkar y Bommer (A&B)	0,86	0,4	(A&B) - (K)	38,57%
Kanno (K)	1,4	0,2	(K) - (B&A)	57,86%

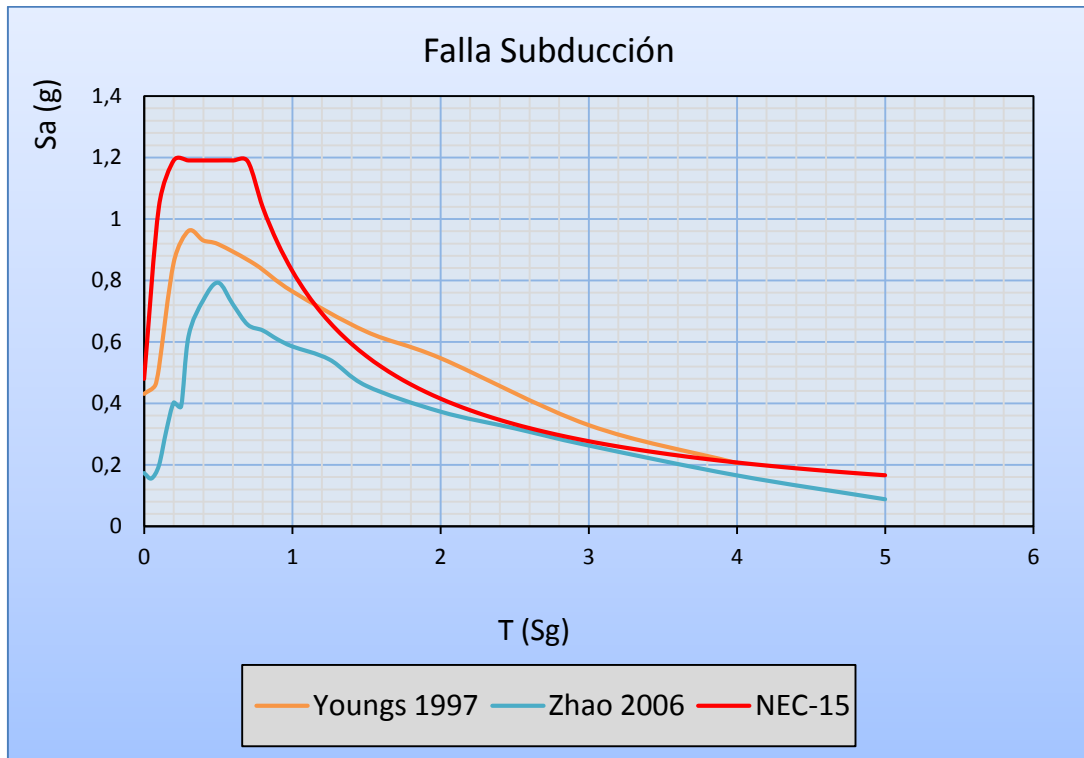
Fuente: Holger Guamani

De acuerdo a la tabla anterior se ha determinado 14 periodos de acuerdo a las fallas seleccionadas, lo cual se establece que el periodo de 0.2sg prevalece en un 41.85%, de igual manera un periodo de 0.3sg, alcanza un 35.71% y un periodo de 0.4sg abarca un 21.44%, además un periodo de 0.5sg prevalece con 1%, en relación a los periodos calculados de acuerdo a la máxima aceleraciones encontradas, lo cual se dictamina que las estructuras que tendrán mayor afectación serán edificaciones de 2 y 3 pisos.

4.2.4. COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS OBTENIDOS CON EL DE LA NEC-2015

4.2.4.1. FALLA DE SUBDUCCIÓN

Figura 29. Espectros obtenidos Vs espectro de la NEC-2015 (Falla Subducción)



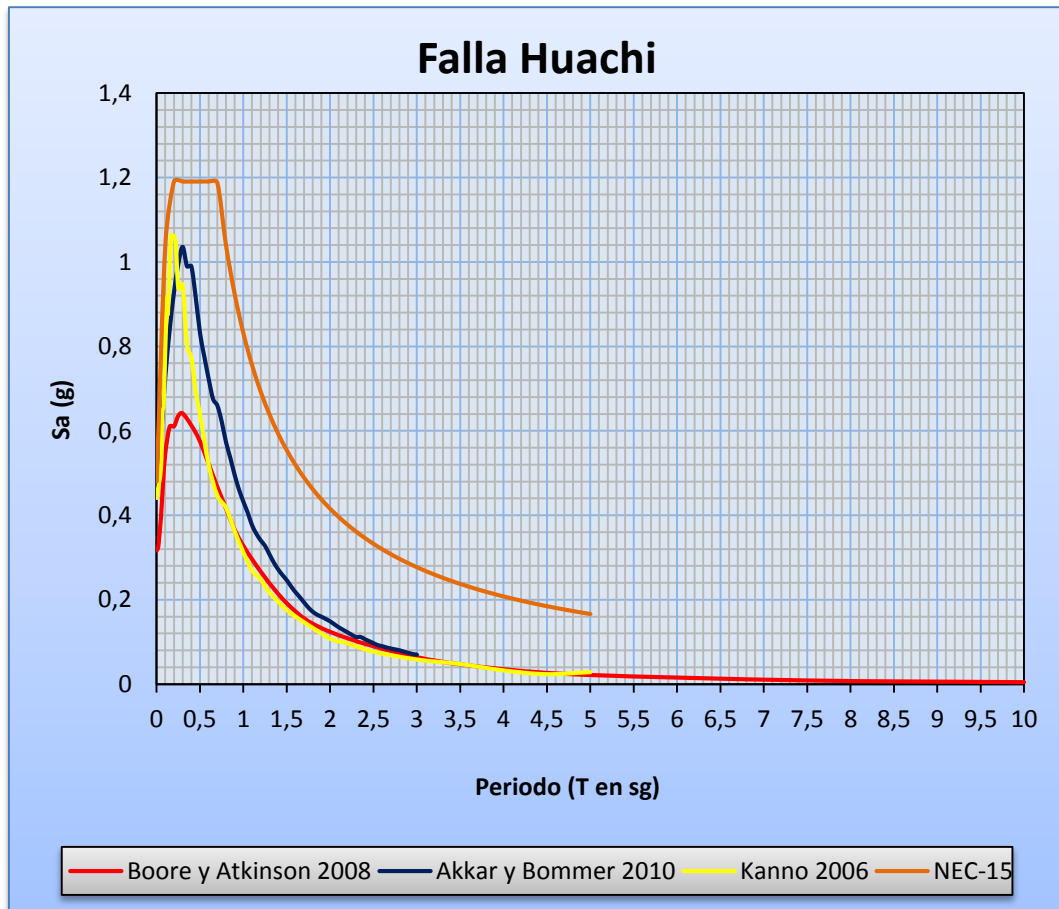
Fuente: Holger Guamani

En la figura 29 muestra que el espectro obtenido mediante el modelo de Zhao y de Young, se encuentra dentro del rango de las aceleraciones establecidas por la NEC-2015, lo cual indica valores muy conservadores para esta relación.

Además la figura indica que el espectro establecido por la NEC-2015 llega a un máximo valor de **1.19g**, en los primeros **0.6sg**, el cual supera en un **33.61%** a la aceleración espectral máxima obtenida por Zhao (**0.79g**), y en un **19.33%** a la aceleración máxima obtenida por Youngs (**0.96g**).

4.2.4.2. FALLA DE HUACHI

Figura 30. Espectros obtenidos Vs espectro de la NEC-2015 (Falla Huachi)



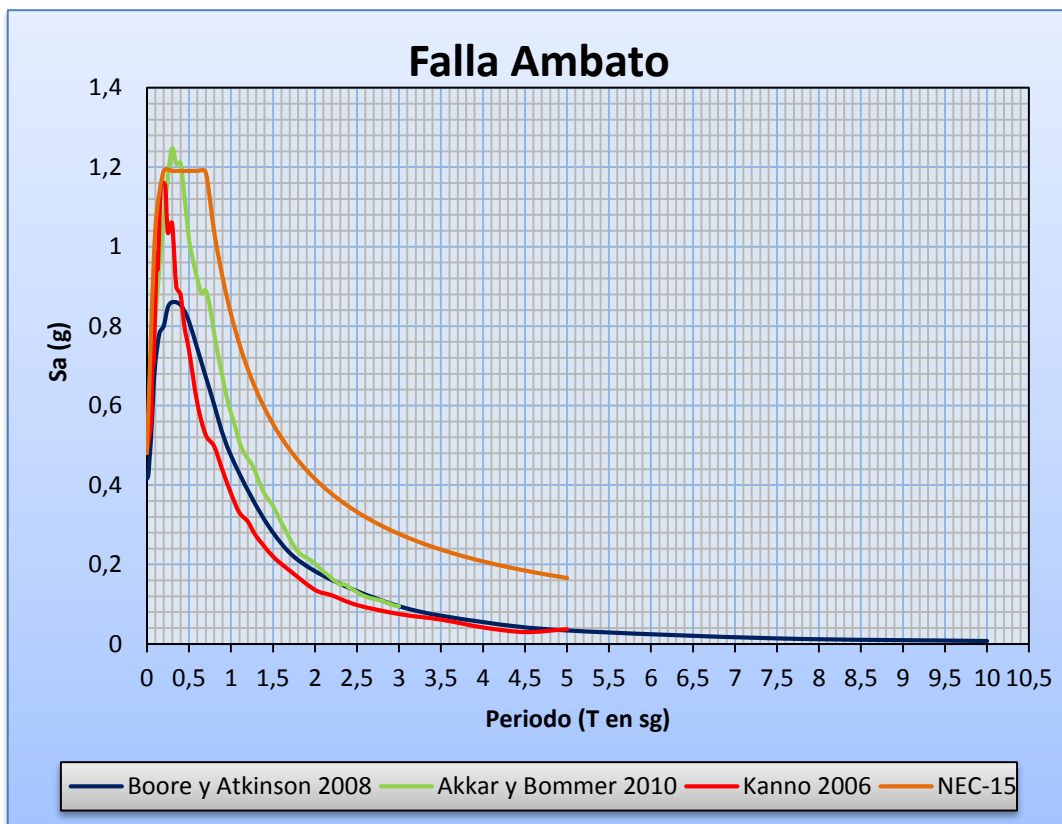
Fuente: Holger Guamani

En la figura 30 muestra que el espectro obtenido mediante el modelo de Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y de Kanno, se encuentra dentro del rango de las aceleraciones establecidas por la NEC-2015, lo cual indica valores muy conservadores para esta relación.

Además la figura indica que el espectro establecido por la NEC-2015 llega a un máximo valor de **1.19g**, en los primeros **0.6sg**, el cual supera en un **10.92%** a la aceleración espectral máxima obtenida por Kanno (**1.06g**), en un **16.81%** a la aceleración máxima obtenida por Akkar y Bommer (**0.99g**) y en un **46.22%** a la aceleración máxima obtenida por Boore y Atkinson (**0.64g**).

4.2.4.3. FALLA DE AMBATO

Figura 31. Espectros obtenidos Vs espectro de la NEC-2015 (Falla Ambato)



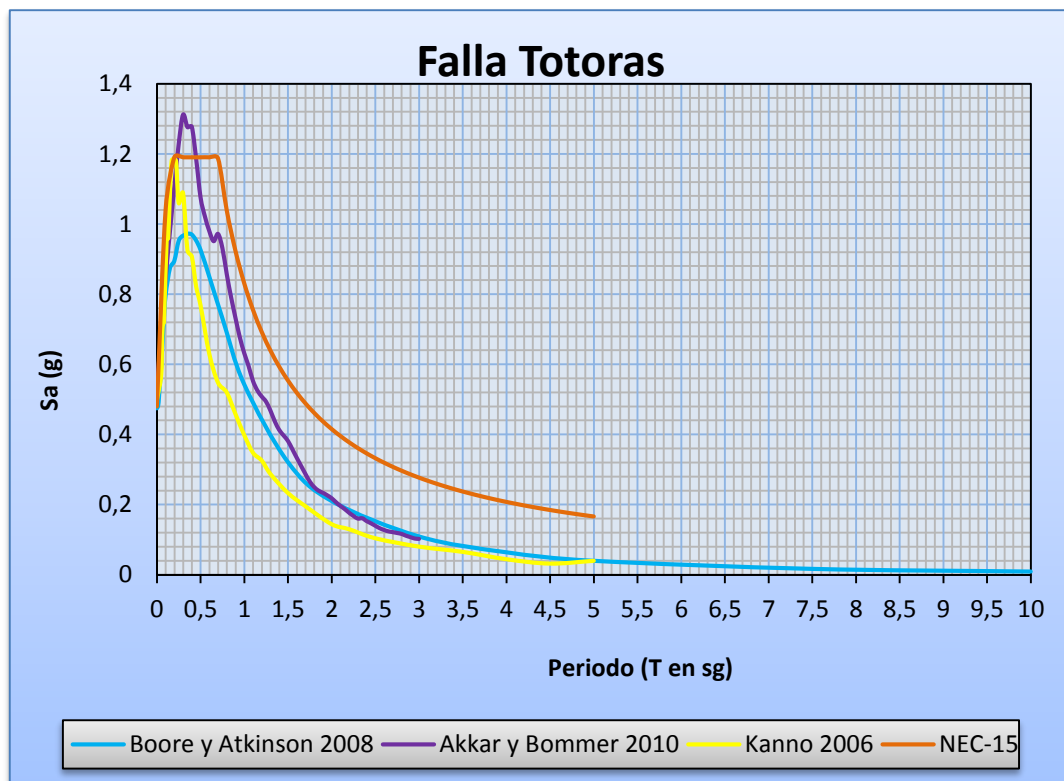
Fuente: Holger Guamani

En la figura 31 se muestra que el espectro obtenido mediante el modelo de Boore y Atkinson y de Kanno, se encuentra dentro del rango de las aceleraciones establecidas por la NEC-2015, lo cual indica valores muy conservadores para esta relación, pero el espectro obtenido por Akkar y Bommer sobre pasa la aceleración máxima que establece la NEC en un intervalo corto de periodo.

Además la figura indica que el espectro establecido por la NEC-2015 llega a un máximo valor de **1.19g**, en los primeros **0.6sg**, el cual es superado en un **4.80%** a por la aceleración espectral obtenida por Akkar y Bommer (**1.25g**), sin embargo supera en un **2.52%** a la aceleración máxima obtenida por Kanno (**1.16g**) y en un **27.73%** a la aceleración máxima obtenida por Boore y Atkinson (**0.86g**).

4.2.4.4. FALLA DE TOTORAS

Figura 32. Espectros obtenidos Vs espectro de la NEC-2015 (Falla Totoras)



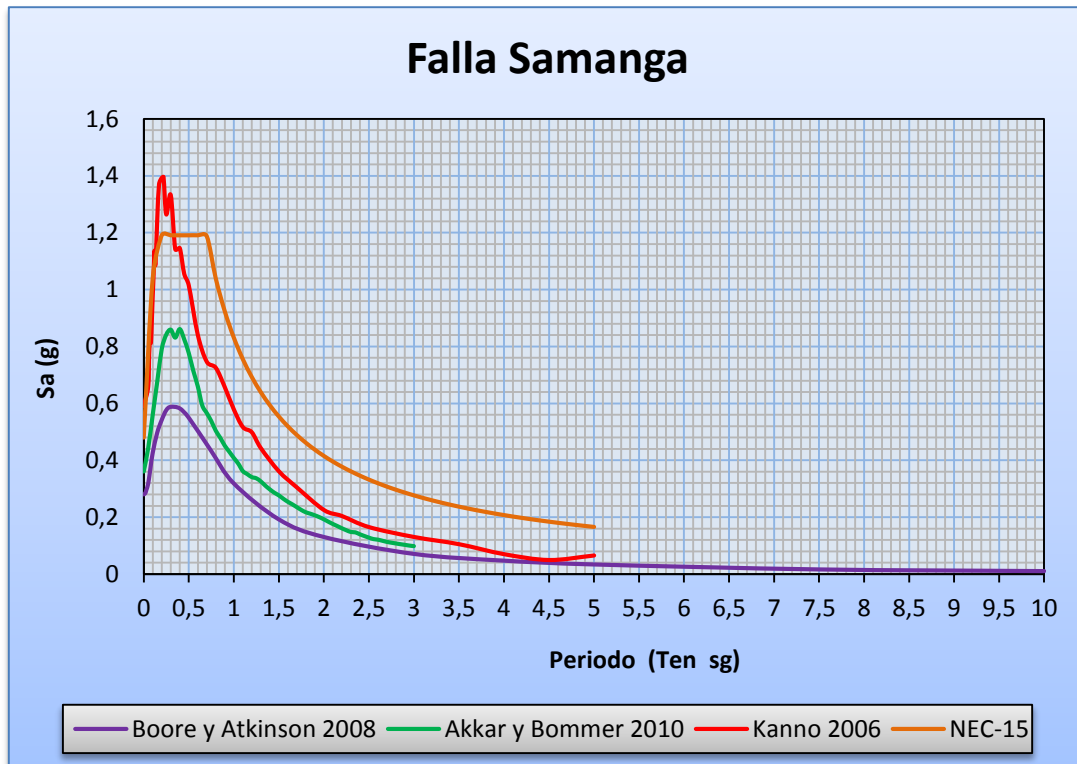
Fuente: Holger Guamani

En la figura 32 se muestra que el espectro obtenido mediante el modelo de Boore y Atkinson y de Kanno, se encuentra dentro del rango de las aceleraciones establecidas por la NEC-2015, lo cual indica valores muy conservadores para esta relación, pero el espectro obtenido por Akkar y Bommer sobrepasa la aceleración máxima que establece la NEC en un intervalo corto de periodo.

Además la figura indica que el espectro establecido por la NEC-2015 llega a un máximo valor de **1.19g**, en los primeros **0.6sg**, el cual es superado en un **9.16%** a por la aceleración espectral obtenida por Akkar y Bommer (**1.31g**), sin embargo la aceleración máxima obtenida por Kanno de **1.19g** es igual a la de la NEC, y la aceleración máxima obtenida por Boore y Atkinson (**0.97g**) es superado en un **18.49%** por la NEC-2015

4.2.4.5. FALLA DE SAMANGA

Figura 33. Espectros obtenidos Vs espectro de la NEC-2015 (Falla Samanga)



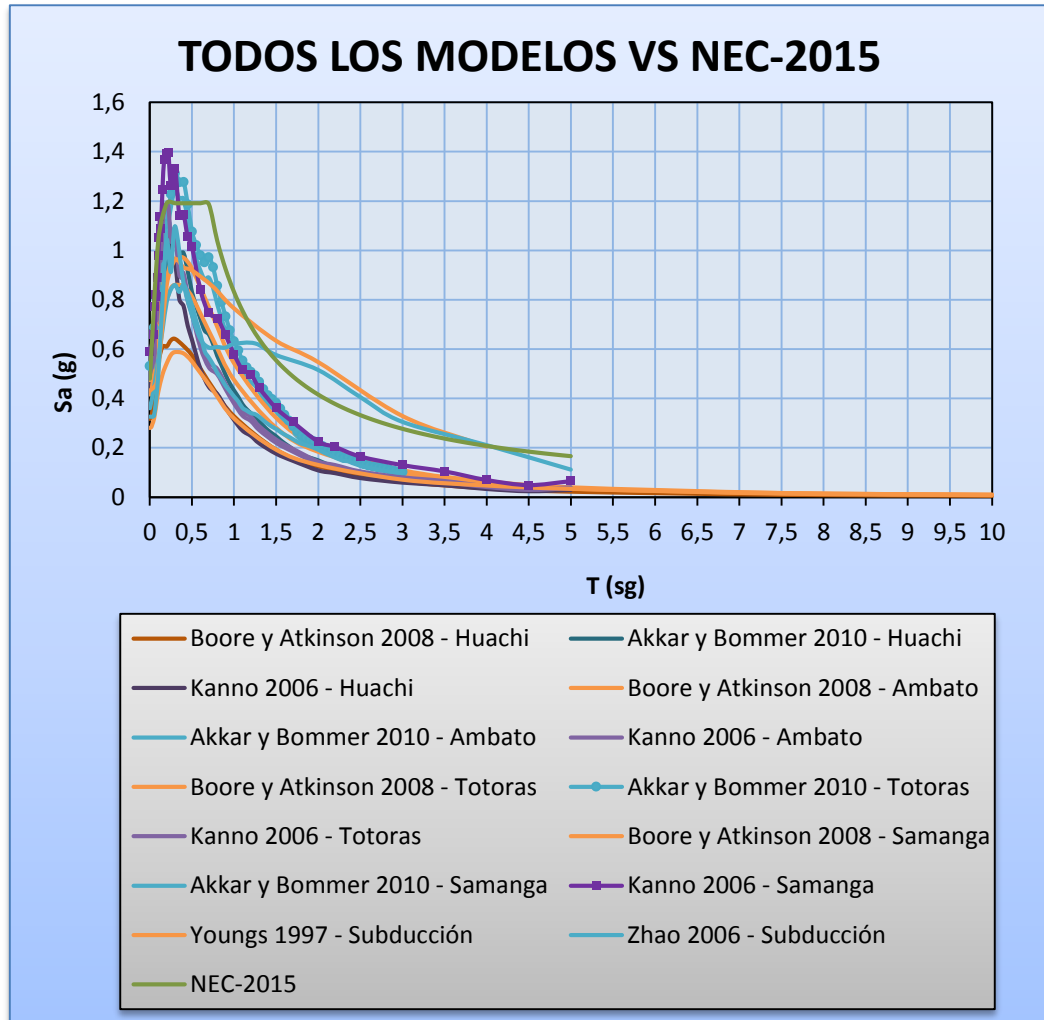
Fuente: Holger Guamani

En la figura 33 se muestra que el espectro obtenido mediante el modelo de Boore y Atkinson y de Akkar y Bommer, se encuentra dentro del rango de las aceleraciones establecidas por la NEC-2015, lo cual indica valores muy conservadores para esta relación, pero el espectro obtenido por Kanno sobre pasa la aceleración máxima que establece la NEC en un intervalo corto de periodo.

Además la figura indica que el espectro establecido por la NEC-2015 llega a un máximo valor de **1.19g**, e un los primeros **0.6sg**, el cual es superado en un **15.00%** a por la aceleración espectral obtenida por Kanno (**1.40g**), sin embargo supera en un **27.73%** a la aceleración máxima obtenida por Akkar y Bommer (**0.86g**) y en un **50.42%** a la aceleración máxima obtenida por Boore y Atkinson (**0.59g**).

4.2.5. ESPECTRO DE TODOS LOS MODELOS CON EL ESPECTRO DE LA NEC-2015

Figura 34. Espectros obtenidos Vs espectro de la NEC-2015



Fuente: Holger Guamani

En la figura 34 se gráfica los 14 espectros obtenidos y el espectro que otorga la NEC-2015, donde las fallas corticales predominan en periodos cortos de tal forma que hacen que las estructuras pequeñas tengan más daño, como las que están dentro del área de estudio. En cambio, los espectros generados por la falla de subducción provocan más daño a estructuras de mayor altura. Con respecto a los modelos, el de Akkar y Bommer es el que sobre pasa el espectro dado por la NEC-15 en más de una ocasión con las fallas de Ambato y Totoras. Sin embargo el espectro generado por Kanno para la falla de Samanga también sobre pasa el espectro establecido por la NEC-2015.

4.2.6. ESPECTRO CRÍTICO PARA EL ÁREA DE ESTUDIO

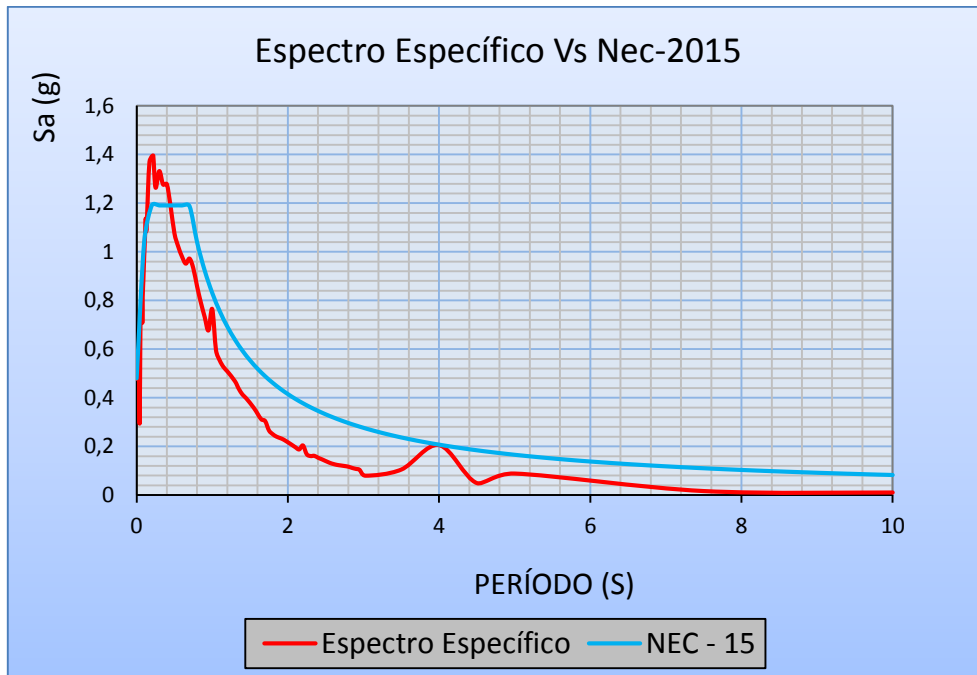
Para obtener el espectro general o específico de aceleración para el área de estudio, se generó una envolvente en base a los valores de los 14 espectros que se obtuvo en esta investigación, el cual se determinó mediante los valores de aceleración para cada periodo.

Tabla 36. Aceleraciones máximas del espectro específico

Envolvente					
T	Sa (%g)				
0	0,590402004	0,55	1,021989832	2,05	0,206917197
0,01	0,477989484	0,6	0,980340071	2,1	0,196499421
0,02	0,491227268	0,65	0,951444433	2,15	0,187401739
0,03	0,527347015	0,7	0,972137601	2,2	0,203742159
0,04	0,293680914	0,75	0,93178556	2,25	0,167922851
0,05	0,687479823	0,8	0,857311032	2,3	0,160287106
0,06	0,772455786	0,85	0,791080865	2,35	0,161220308
0,07	0,818919531	0,9	0,732395312	2,4	0,153282588
0,075	0,707964936	0,95	0,676767417	2,45	0,146911711
0,08	0,812215897	1	0,764650851	2,55	0,132906315
0,09	0,890606923	1,05	0,595202298	2,6	0,127775227
0,1	0,978361132	1,1	0,552871127	2,65	0,123927483
0,11	1,052890649	1,15	0,525799886	2,7	0,121633731
0,12	1,136883926	1,2	0,508408629	2,75	0,119243568
0,13	1,087216728	1,3	0,468085663	2,8	0,116599904
0,15	1,246845465	1,35	0,437416287	2,85	0,111506832
0,17	1,369252217	1,4	0,41316248	2,9	0,107579663
0,2	1,392179133	1,45	0,397451463	2,95	0,103469242
0,22	1,395187161	1,55	0,358463421	3,03	0,07952502
0,25	1,264099731	1,6	0,334148585	3,5	0,10464881
0,3	1,331990759	1,65	0,310878757	4	0,205228938
0,35	1,276563936	1,7	0,304268793	4,5	0,04907527
0,4	1,277815186	1,75	0,265935917	5	0,088210316
0,45	1,186005684	1,8	0,250307788	7,5	0,016328073
0,5	1,076342341	1,85	0,24005468	10	0,010364963
		1,9	0,233957293		
		1,95	0,226747048		

Fuente: Holger Guamani

Figura 35. Espectros específico VS NEC-2015



Fuente: Holger Guamani

La gráfica 35 se visualiza al espectro específico obtenido para el área de estudio, el cual tiene un valor de aceleración máximo de 1.33 g en un periodo de 0.3 seg, también muestra al espectro de la NEC-15 que tiene un valor de aceleración máximo de 1.19 g durante un periodo de 0.0 seg a 0.6seg, donde la aceleración máxima del espectro específico sobre pasa en un 10.53% al espectro que establece la NEC-2015.

4.3. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE 3 ESTRUCTURAS TIPO UBICADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO.

En la zona de estudio se encuentran estructuras de diferentes niveles, para lo cual se seleccionó tres estructuras de 1, 2 y 3 pisos, las cuales con ayuda del programa ETAB's se procederá a modelar con el objetivo de analizar su comportamiento estructural y verificar si sus resultados cumplen con lo que establece la NEC-2015, además se analizará el comportamiento de acuerdo al espectro determinístico obtenido para esta área.

4.3.1. Especificaciones generales para la modelación de las estructuras tipo

Para las estructuras tipo que se modelara en el software ETAB's versión 16.2.1 se considerara las especificaciones técnicas que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 37. Especificaciones generales para la modelación de las estructuras

ESPECIFICACIONES GENERALES	
UNIDADES	
Longitud	m
Fuerza	Kg
Temperatura	Grados C
CODIGOS	
Concreto	ACI 318-14
Diseño	NEC-2015
PROPIEDADES DEL MATERIAL	
fy (Kg/m ²)	4200
Poisson (u)	0,2

Fuente: Holger Guamani

4.3.2. Datos estructurales de las estructuras tipo

Se realizó un levantamiento de planos de las estructura seleccionadas con el objetivo de obtener datos reales de sus dimensiones y material con los que fueron construidos y así generar una modelación realista.

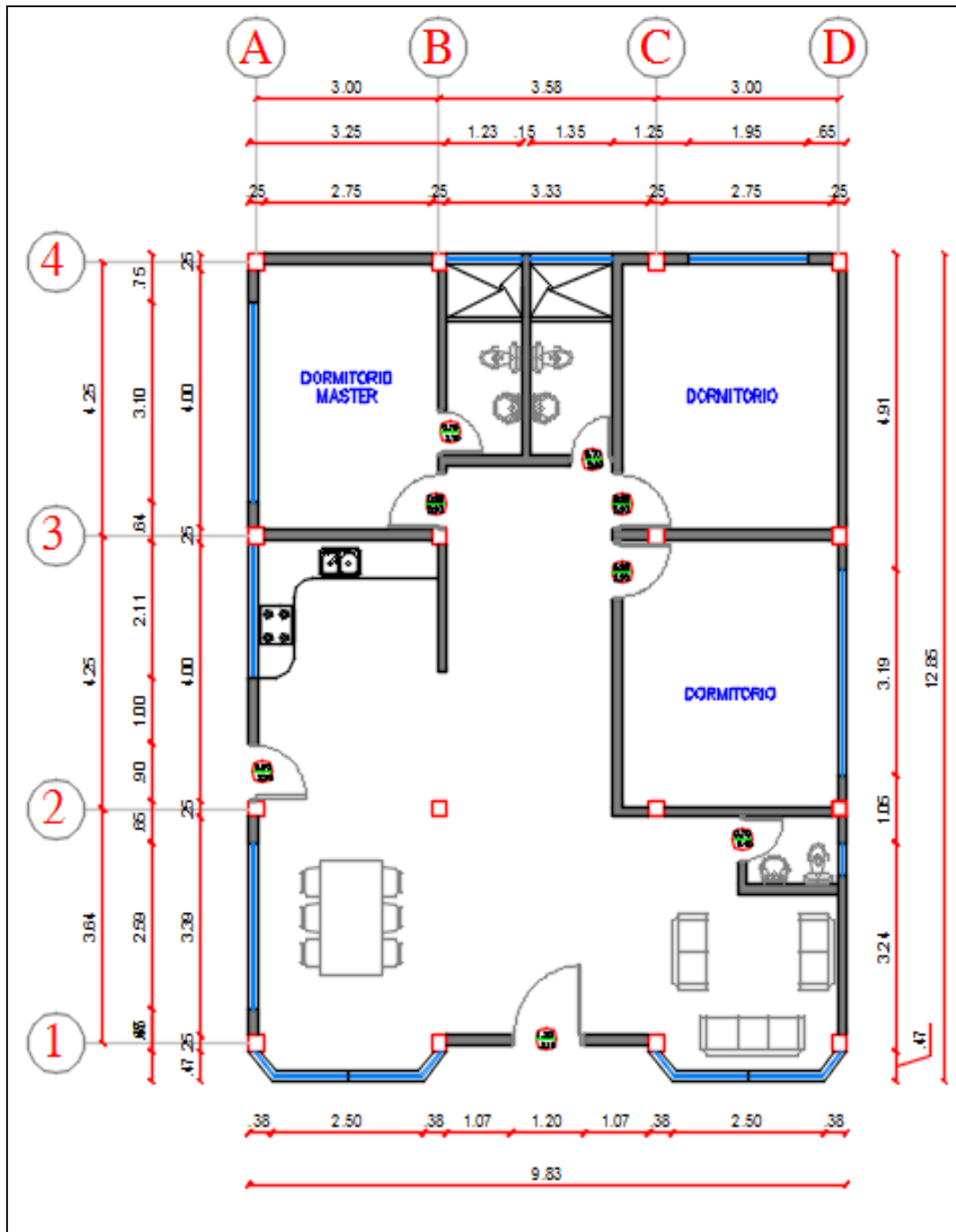
En la siguiente tabla se muestra las dimensiones de los elementos estructurales de cada estructura.

Tabla 38. Dimensiones de los elementos estructurales de las estructuras tipo.

ESTRUCTURA	ELEMENTOS DE LAS ESTRUCTURAS				
	COLUMNA S (cm)	VIGAS (cm)		LOSA (e en cm)	ALTURA TOTAL (m)
		X	Y		
1 PISO	25X25	25X20	25X20	20	2,7
2 PISOS	25X30	30X20	25X20	20	5,4
3 PISOS + TAPA GRADA	35X35	30X20	30X20	20	10,8

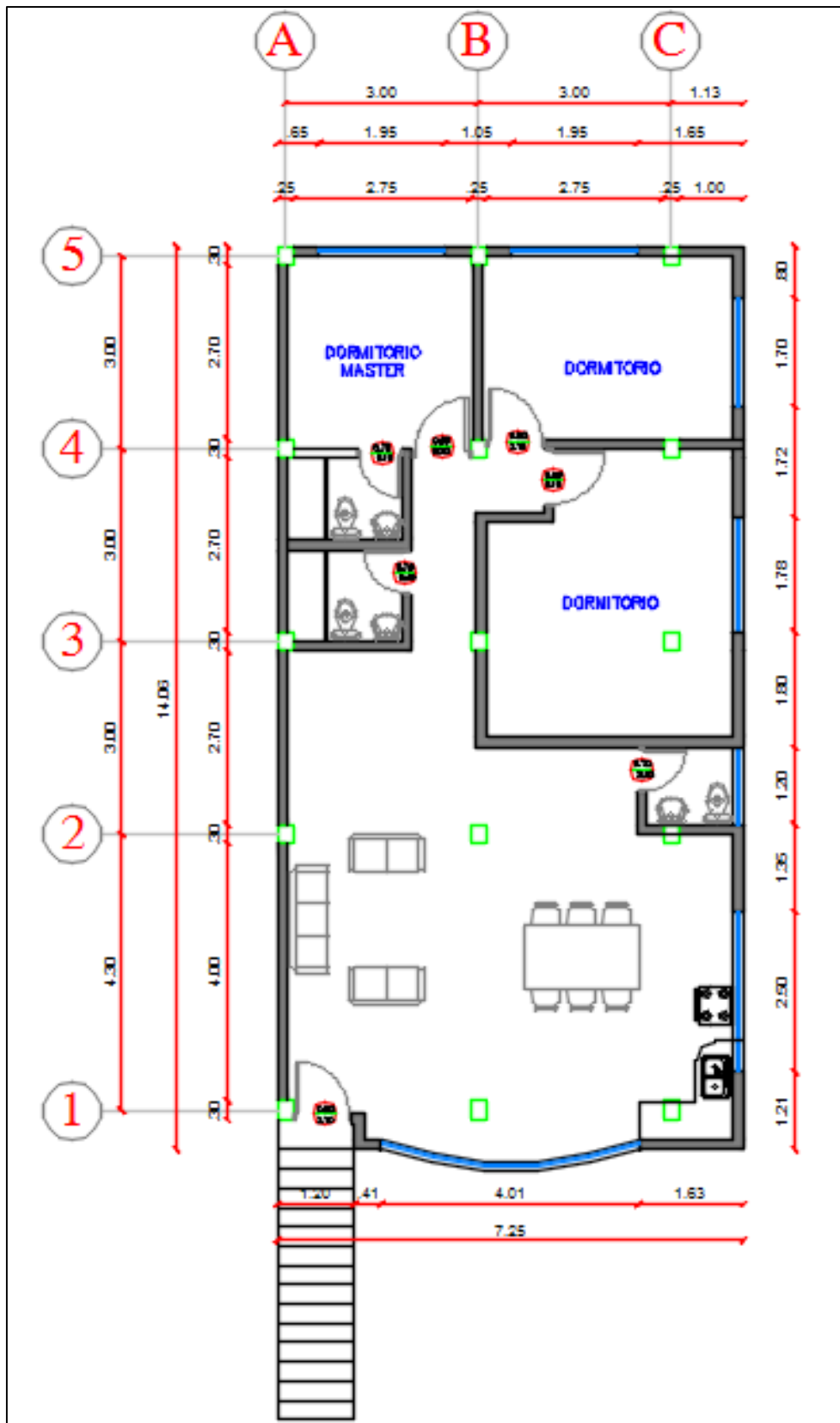
Fuente: Holger Guamani

Figura 36. Plano arquitectónico de la estructura tipo 1



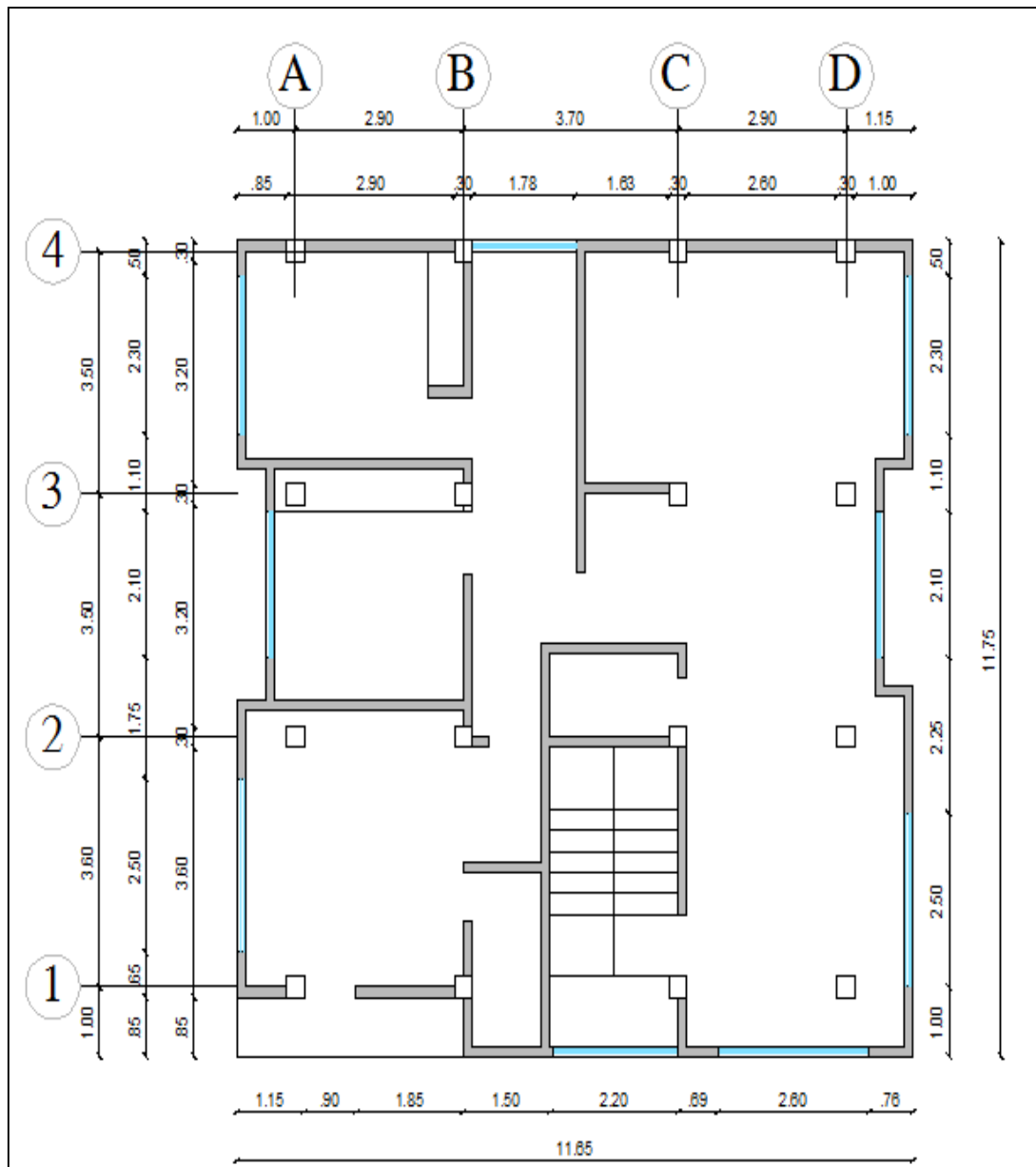
Fuente: Holger Guamani

Figura 37. Plano arquitectónico de la estructura tipo 2



Fuente: Holger Guamani

Figura 38. Plano arquitectónico de la estructura tipo 3



Fuente: Holger Guamani

4.3.3. Reducción del espectro elástico

Para analizar el comportamiento mediante una modelación se ingresará el espectro reducido de la nec-2015 y del espectro determinístico, para lo cual se aplicará la siguiente ecuación:

$$C = \frac{I * Sa}{R * \phi_p * \phi_e}$$

Donde:

C: Coeficiente de reducción sísmico.

I: Factor de importancia.

Sa: Espectro de respuesta elástico de aceleración

R: Factor de reducción de resistencia sísmica.

ØP: Coeficiente de configuración en planta.

ØE: Coeficiente de configuración en elevación.

En la siguiente tabla se muestra los factores y coeficientes que se utilizara en la ecuación para obtener el espectro elástico reducido.

Tabla 39. Factores y coeficientes para la obtención del espectro elástico reducido para cada estructura tipo.

ESTRUCTURA	I	R	Øp	Øe
1 PISO	1	5	1	1
2 PISOS	1	5	1	1
3 PISOS+TAPA GRADA	1	5	1	0,9

Fuente: Holger Guamani

4.3.4. Periodo de Vibración

4.3.4.1. Periodo fundamental de vibración

La NEC-2015 establece la siguiente ecuación para el cálculo del período fundamental:

$$T = Ct * hn^{\alpha}$$

Donde:

Ct: Coeficiente que depende del tipo de edificio.

hn: Altura máxima de la edificación, en metros.

T: Período de vibración.

Los valores de **Ct** y **α** son coeficientes que proporciona la NEC-2015 para pórticos especiales de hormigón armado.

Tabla 40. Coeficientes de acuerdo al tipo de estructura.

TIPO DE ESTRUCTURA	Ct	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0,072	0,8
Con arriostramientos	0,073	0,75
Porticos especiales de hormigon armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0,055	0,9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basas en muros estructurales y mampostería estructural	0,055	0,75

Fuente: NEC-SE-DS (2015)

En la siguiente tabla se determinara el periodo de vibración para cada estructura tipo que está en estudio.

Tabla 41. Periodo de vibración para cada estructura tipo.

ESTRUCTURA	hn	Ct	α	PERIODO DE VIBRACION (T1)
1 PISO	2,7	0,055	0,9	0,13
2 PISO	5,4	0,055	0,9	0,25
3 PISO + TAPA GRADA	10,8	0,055	0,9	0,47

Fuente: Holger Guamani

4.3.4.2. Periodos límites de vibración

En la sección 3.3 de la NEC-2015 para hormigón armado estable los límites de vibración T_o y T_c , los cuales se obtienen mediante la siguiente ecuación:

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

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

Donde:

Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó.

Fd: Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca.

Fs: Comportamiento no lineal de los suelos.

To y Tc: Periodos límite de vibración en el espectro sísmico de aceleración que representa el sismo de diseño.

Los coeficientes Fa, Fd y Fs se obtiene de las tablas que otorga la NEC-2015 de Hormigón Armado, los mismos que se determinan de acuerdo a la zona sísmica, el factor de zona Z y el tipo de perfil del suelo, a continuación se establece los valores de estos coeficientes.

Tabla 42. Valores de Fa, Fd y Fs de acuerdo a las características de la zona.

Zona sísmica	V
Factor Z	0,4
Perfil Tipo	D
Fa	1,2
Fd	1,19
Fs	1,28

Fuente: NEC-SE-DS (2015)

De acuerdo a los coeficientes obtenidos se calcula los periodos límites de vibración.

Tabla 43. Periodos límites de vibración de acuerdo a la zona.

Fa	Fd	Fs	To	Tc
1,2	1,19	1,28	0,127	0,698

Fuente: Holger Guamani

Tabla 44. Coeficiente de reducción sísmico de acuerdo a la Nec-2015.

ESTRUCTURA	C
1 PISO	0,2381
2 PISO	0,2381
3 PISO + TAPA GRADA	0,2645

Fuente: Holger Guamani

Para el espectro determinista también se calcula el coeficiente de reducción sísmica en base al periodo fundamental de la estructura y a la curva de aceleración espectral.

Tabla 45. Tabla de periodos y aceleración para encontrar el valor de Sa en base al periodo fundamental.

Envolvente					
T	Sa (%g)				
0	0,590402004	0,5	1,076342341	1,95	0,226747048
0,01	0,477989484	0,55	1,021989832	2,05	0,206917197
0,02	0,491227268	0,6	0,980340071	2,1	0,196499421
0,03	0,527347015	0,65	0,951444433	2,15	0,187401739
0,04	0,293680914	0,7	0,972137601	2,2	0,203742159
0,05	0,687479823	0,75	0,93178556	2,25	0,167922851
0,06	0,772455786	0,8	0,857311032	2,3	0,160287106
0,07	0,818919531	0,85	0,791080865	2,35	0,161220308
0,075	0,707964936	0,9	0,732395312	2,4	0,153282588
0,08	0,812215897	0,95	0,676767417	2,45	0,146911711
0,09	0,890606923	1	0,764650851	2,55	0,132906315
0,1	0,978361132	1,05	0,595202298	2,6	0,127775227
0,11	1,052890649	1,1	0,552871127	2,65	0,123927483
0,12	1,136883926	1,15	0,525799886	2,7	0,121633731
0,13	1,087216728	1,2	0,508408629	2,75	0,119243568
0,15	1,246845465	1,3	0,468085663	2,8	0,116599904
0,17	1,369252217	1,35	0,437416287	2,85	0,111506832
0,2	1,392179133	1,4	0,41316248	2,9	0,107579663
0,22	1,395187161	1,45	0,397451463	2,95	0,103469242
0,25	1,264099731	1,55	0,358463421	3,03	0,07952502
0,3	1,331990759	1,6	0,334148585	3,5	0,10464881
0,35	1,276563936	1,65	0,310878757	4	0,205228938
0,4	1,277815186	1,7	0,304268793	4,5	0,04907527
0,45	1,186005684	1,75	0,265935917	5	0,088210316
0,47	1,142340011	1,8	0,250307788	7,5	0,016328073
		1,85	0,24005468	10	0,010364963
		1,9	0,233957293		

Fuente: Holger Guamani

Tabla 46. Coeficiente de reducción sísmico de acuerdo al espectro determinista.

ESTRUCTURA	I	R	ϕ_p	ϕ_e	Sa (gal)	C
1 PISO	1	5	1	1	1,08	0,216
2 PISOS	1	5	1	1	1,26	0,252
3 PISOS+TAPA GRADA	1	5	1	0,9	1,14	0,253

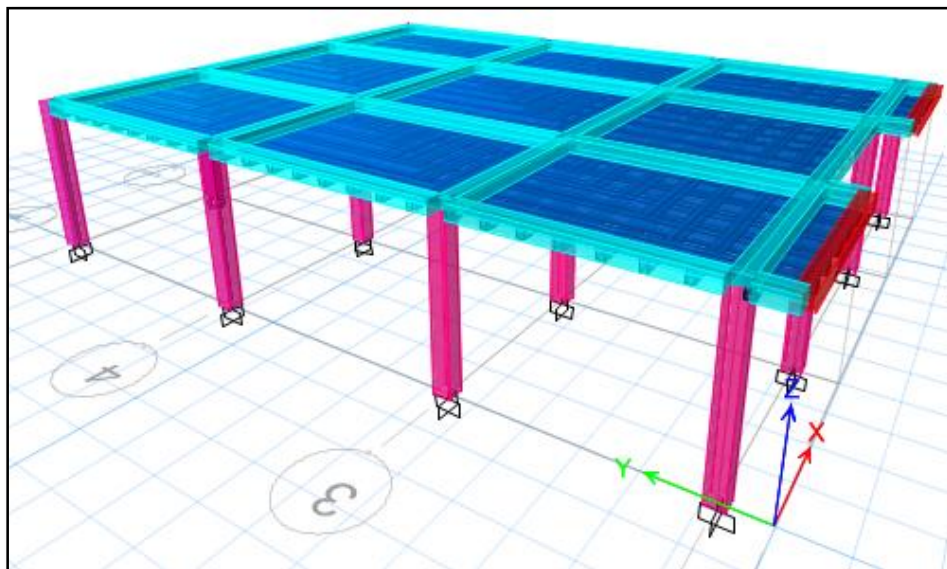
Fuente: Holger Guamani

4.3.5. Análisis estático

Una vez realizado el modelado de las tres estructuras tipo con el espectro de la NEC-2015, y espectro determinístico se procede a la verificación de algunos parámetros.

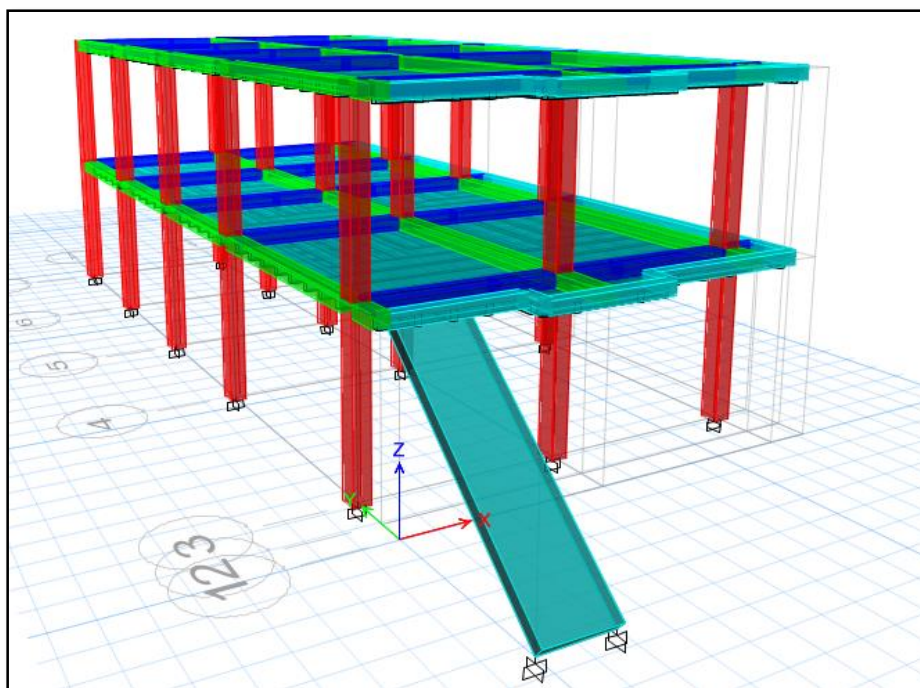
4.3.5.1. Estructuras modeladas en ETAB's

Figura 39. Estructura tipo 1 (MODELO ETABS)



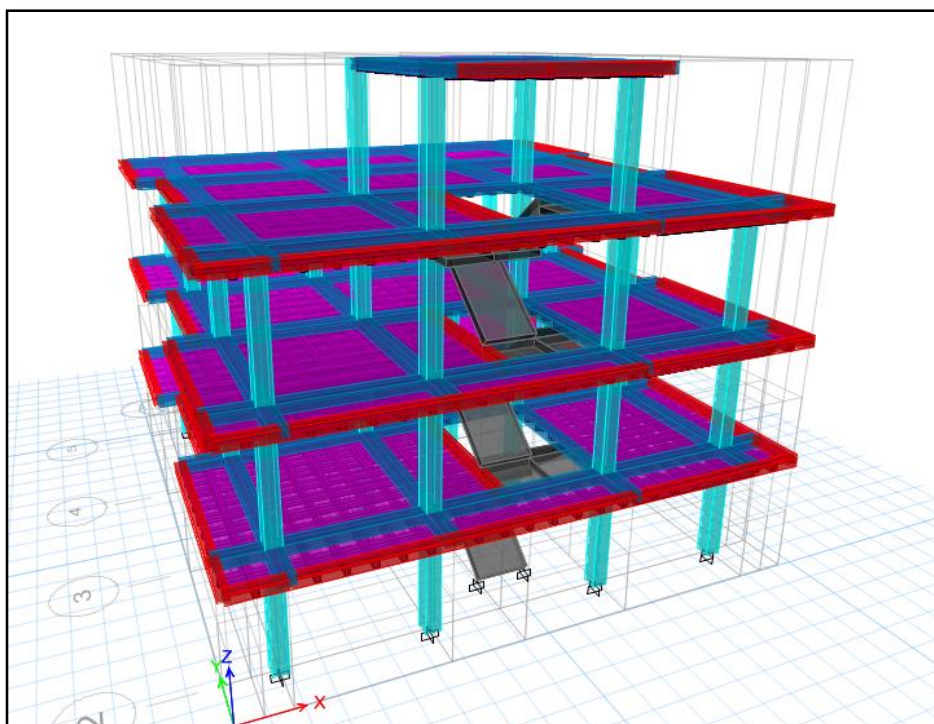
Fuente: Holger Guamani

Figura 40. Estructura tipo 2 (MODELO ETABS)



Fuente: Holger Guamani

Figura 41. Estructura tipo 3



Fuente: Holger Guamani

4.3.5.2. Periodo de Vibración

El periodo fundamental T_2 se determina mediante un análisis modal, de acuerdo a lo establecido en la sección 6.3.3 de la NEC-SE-DS (2015).

Además, este periodo (T_2) no debe ser mayor que el 30% de periodo (T_1).

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

Tabla 47. Análisis de los periodos de vibración de las estructuras tipo.

ESTRUCTURA	T_0	T_c	T_1	T_2	$1,3T_1$	CONDICION
						$T_1 \leq T_2 \leq 1,3T_1$
1 PISO	0,13	0,70	0,13	0,213	0,17	NO CUMPLE
2 PISO	0,13	0,70	0,25	0,304	0,33	CUMPLE
3 PISO + TAPA GRADA	0,13	0,70	0,47	0,392	0,61	CUMPLE

Fuente: Holger Guamani

Como se puede ver en la tabla anterior se determinó que para la estructura tipo 1 y 3 el valor de T_2 está fuera del rango establecido, para lo cual se recomienda realizar una

reevaluación del cortante basal y también una reestructuración de las secciones de la estructura hasta que la variación de periodos sea menor o igual al 10%.

4.3.5.3. Modos de vibración de la estructura

Mediante el porcentaje modal de la masa se verificará que tipo movimiento tiene la estructura, por lo cual se debe garantizar que los dos primeros modos de vibración sean traslacionales y el tercer modo sea rotacional. Esta relación se calcula en base a la siguiente relación:

$$\frac{Rz}{\text{Max}(Ux; Uy)} \leq 30\% \implies \text{movimiento traslacional}$$

$$\frac{Rz}{\text{Max}(Ux; Uy)} > 30\% \implies \text{movimiento rotacional}$$

En las siguientes tablas se determinará los valores necesarios para la obtención del porcentaje de torsión.

Tabla 48. Valores Ux, Uy y Rz para la estructura de 1 piso

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	RZ
		sec				
Modal	1	0,213	0	0,8785	0	0
Modal	2	0,208	0,9997	0,0230	0	0,0333
Modal	3	0,182	0,0003	0,0985	0	0,9667

Fuente: Holger Guamani

Tabla 49. Valores Ux, Uy y Rz para la estructura de 2 pisos

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
		sec			
Modal	1	0,304	0,7115	0,0431	0,1456
Modal	2	0,246	0,123	0,424	0,2497
Modal	3	0,197	0,0076	0,3094	0,3427

Fuente: Holger Guamani

Tabla 50. Valores U_x , U_y y R_z para la estructura de 3 pisos + Tapa grada

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
		sec			
Modal	1	0,392	0,0018	0,2598	0,5761
Modal	2	0,379	0,6547	0,1313	0,0412
Modal	3	0,334	0,1626	0,4432	0,2203

Fuente: Holger Guamani

En la siguiente tabla se verificará si los en los primeros modos son traslacionales y en el tercer modo es rotacional de las tres estructuras tipo.

Tabla 51. Modos de vibración de las estructuras tipo

ESTRUCTURA	Modo	Direccion Horizontal		Rz	%	Tipo
		Uy=	Ux=			
1 PISO	1	Uy=	0,8785	0,0000	0,00%	Traslacional
	2	Ux=	0,9997	0,0333	3,33%	Traslacional
	3	Uy=	0,0985	0,9667	981,42%	Rotacional
2 PISOS	1	Ux=	0,7115	0,1456	20,46%	Traslacional
	2	Uy=	0,4240	0,2497	58,89%	Rotacional
	3	Uy=	0,3094	0,3427	110,76%	Rotacional
3 PISO + TAPA GRADA	1	Uy=	0,2598	0,5761	221,75%	Rotacional
	2	Ux=	0,6547	0,0412	6,29%	Traslacional
	3	Uy=	0,4432	0,2203	49,71%	Rotacional

Fuente: Holger Guamani

En la tabla anterior se verificó que en los dos primeros modos sean traslacionales y el tercer modo sea rotacional para cada estructura tipo. En la estructura uno se obtuvo que los dos primeros modos son traslacionales y el tercer modo rotacional. En cambio la estructura tipo 2 es traslacional solo en el primer modo, y presenta una ineficiente disipación de energía en el sentido horizontal, lo cual hace que presente rotación en el segundo y tercer modo. La estructura tipo 3 incide con la ineficiencia de disipación de energía en el sentido horizontal presentando rotación en el modo 1 y 3, considerando en el segundo modo traslacional.

Estos valores son similares tanto para el espectro establecido por la NEC-2015, como para el espectro de respuesta obtenido en nuestro estudio mediante el método determinista.

4.3.5.4. Modos necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones horizontales

De acuerdo a la NEC_SE_DS_2015, sección 6.2.2 literal e, indica que 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.

Tabla 52. Modos de vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones horizontales (ESTRUCTURA TIPO1)

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Mode	Period	Sum UX	Sum UY
		sec		
Modal	1	0,213	0	0,8785
Modal	2	0,208	0,9997	0,9015
Modal	3	0,182	1	1

Fuente: Holger Guamani

Tabla 53. Modos de vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones horizontales (ESTRUCTURA TIPO2)

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Mode	Period	Sum UX	Sum UY
		sec		
Modal	1	0,304	0,7115	0,0431
Modal	2	0,246	0,8346	0,4671
Modal	3	0,197	0,8422	0,7765
Modal	4	0,099	0,9652	0,7774
Modal	5	0,086	0,9863	0,8791
Modal	6	0,068	0,9986	0,9586

Fuente: Holger Guamani

Tabla 54. Modos de vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones horizontales (ESTRUCTURA TIPO3)

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Mode	Period	Sum UX	Sum UY
		sec		
Modal	1	0,392	0,0018	0,2598
Modal	2	0,379	0,6565	0,3911
Modal	3	0,334	0,8191	0,8343
Modal	4	0,147	0,843	0,8708
Modal	5	0,143	0,8804	0,894
Modal	6	0,119	0,9108	0,894
Modal	7	0,101	0,9131	0,902

Fuente: Holger Guamani

En la siguiente tabla se observa para cada estructura en qué modo de vibración se cumplió o con más del 90% de la masa en las 2 direcciones horizontales.

Tabla 55. Modos de vibración necesarios para acumular el 90% de la masa en las direcciones horizontales para las estructuras tipo.

ESTRUCTURA	Modo	Direccion Horizontal	
		1 PISO	2
2 PISOS	6	SUM UX(%)= 0,9986	SUM UY(%)= 0,9586
3 PISO + TAPA GRADA	7	SUM UX(%)= 0,9131	SUM UY(%)= 0,902

Fuente: Holger Guamani

En la tabla resumen de los modos de vibración se puede ver como las estructuras cumplen con lo establecido en la NEC es decir alcanzan el 90% de su masa. La estructura 1 (1 piso) alcanza el 90% de masa en el segundo modo, además la estructura dos (2 pisos) llega al 90% en el modo 6 y la estructura tres (3 pisos + tapa grada) presenta en el modo 7 el 90% de la masa acumulada.

4.3.5.5. Derivas de piso (DERIVAS ESTÁTICAS)

En base a la NEC_SE_DS_2015, sección 6.2.2, se verificar si las estructuras tipo presentan derivas inelásticas controlables. Lo cual se realizará de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\Delta M = 0.75 * R * \Delta E$$

Donde:

ΔM: Deriva máxima inelástica.

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

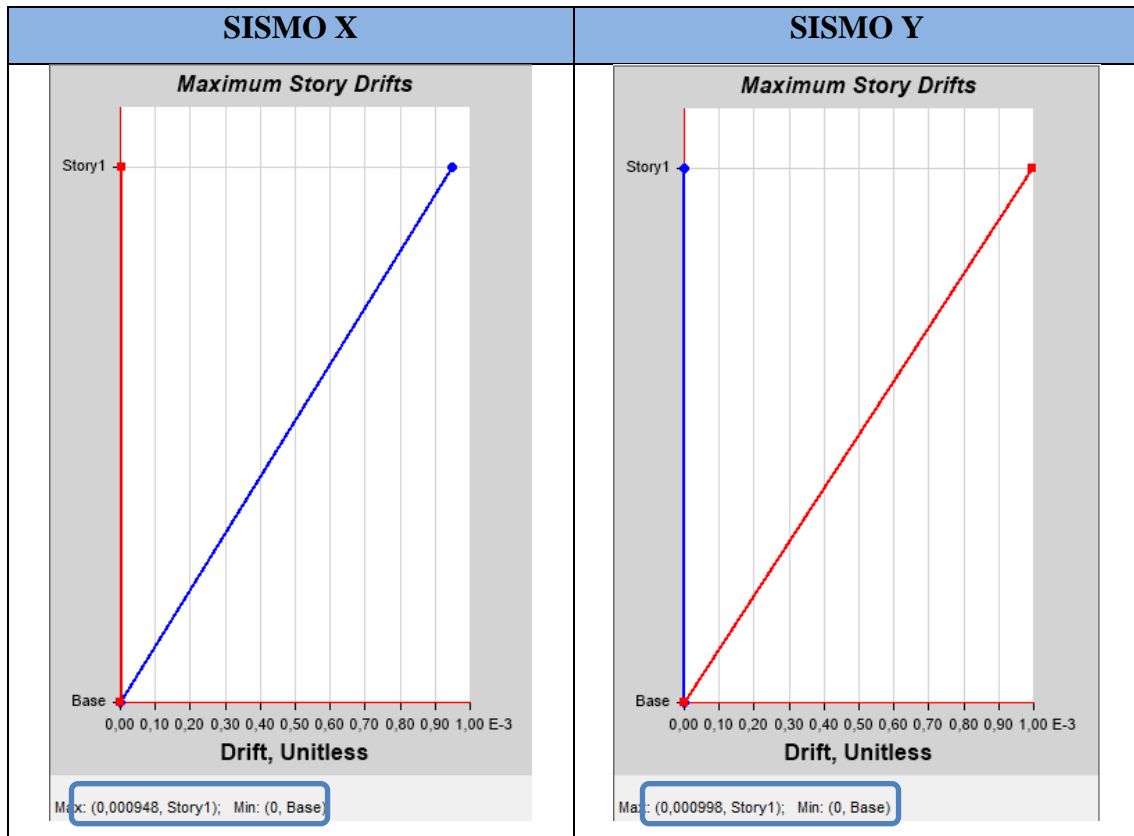
R: Factor de reducción de resistencia.

Además se debe verificar que la deriva máxima, para cualquier piso no exceda los límites de la deriva inelástica propuesto por la NEC_SE_DS_2015, que establece que para estructuras de hormigón armado, estructuras metálicas y de madera la deriva máxima inelástica es de 0.02.

A continuación se visualizara mediante imágenes obtenidas del programa los valores de las derivas elásticas de cada estructura.

DERIVAS ESTÁTICAS DE ACUERDO A LA NEC_2015 PARA LAS ESTRUCTURAS TIPO

Figura 42. Derivas máximas estáticas (NEC-2015). Estructura tipo 1



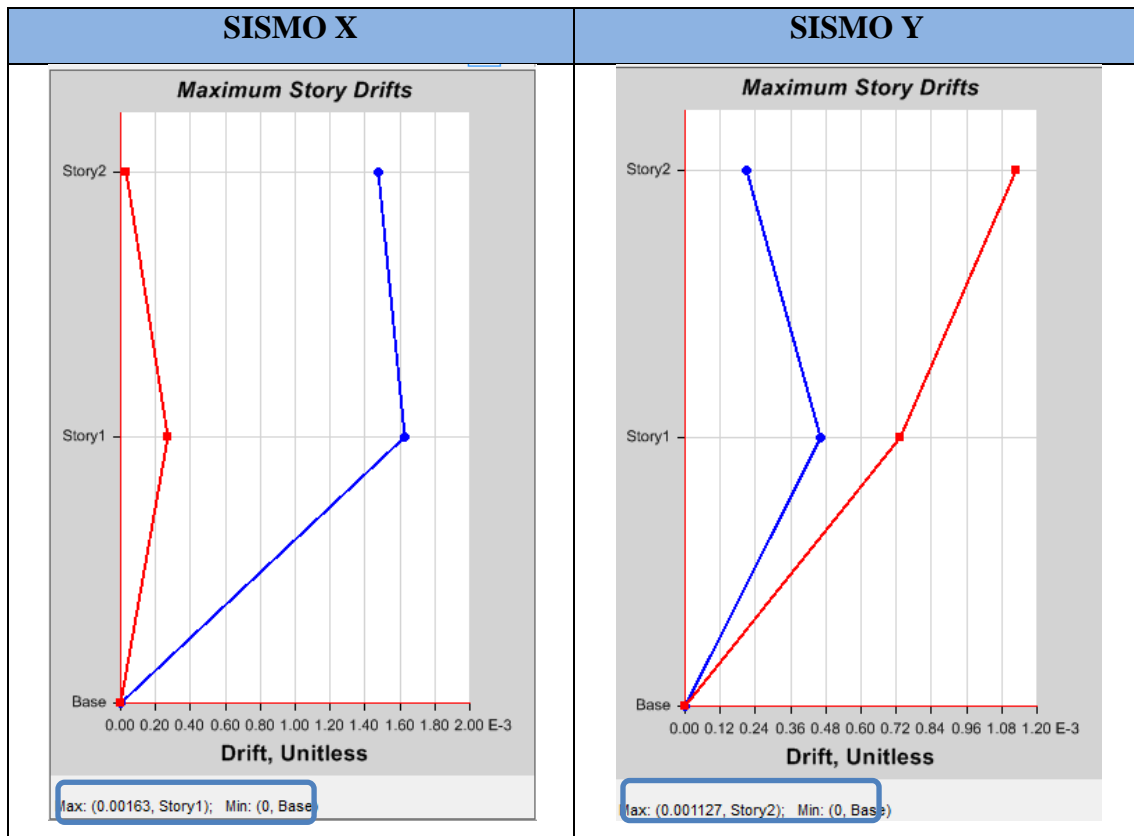
Fuente: ETAB'S 2016

Tabla 56. Valores de las derivas máximas estáticas para la estructura tipo1.

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story1	SISMO X 1	X	0,000948
Story1	SISMO Y 1	Y	0,000998

Fuente: ETAB'S 2016

Figura 43. Derivas máximas estáticas (NEC-2015). Estructura tipo 2



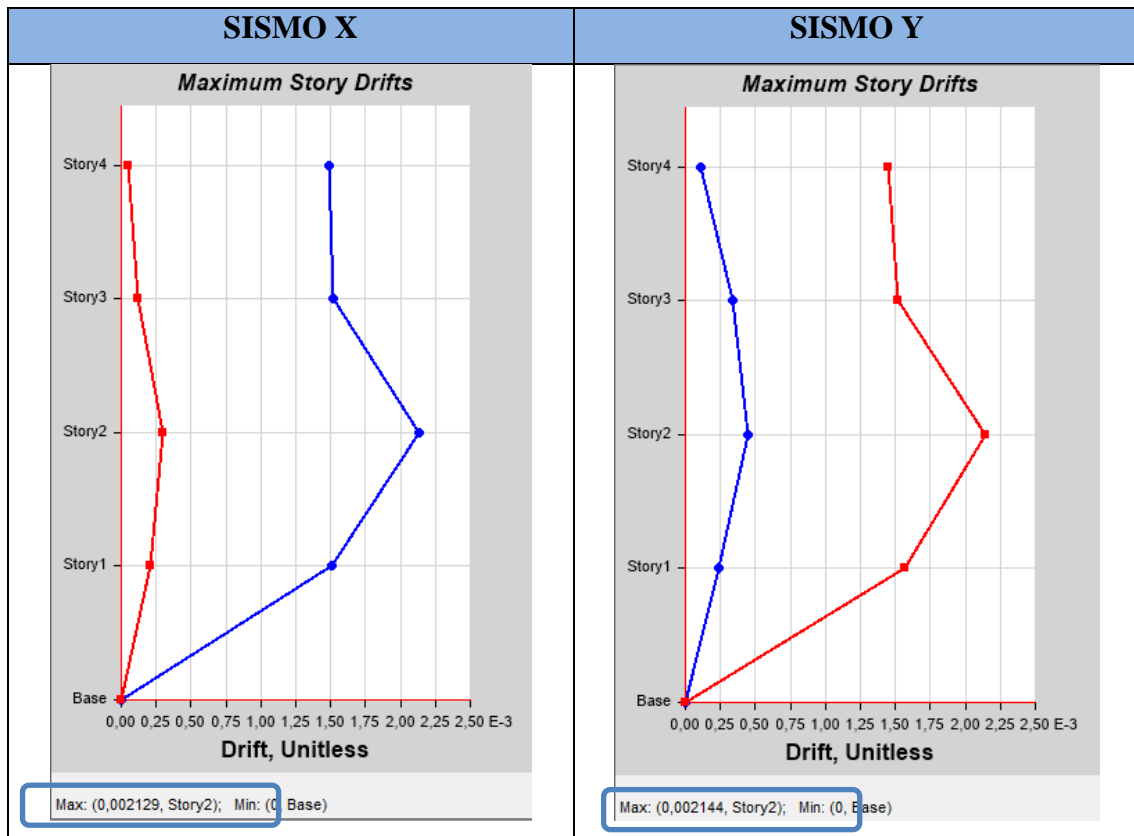
Fuente: ETAB'S 2016

Tabla 57. Valores de las derivas máximas estáticas para la estructura tipo2.

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story2	SISMOX 1	X	0.001477
Story2	SISMOY 1	Y	0.001127
Story1	SISMOX 1	X	0.00163
Story1	SISMOY 1	Y	0.000732

Fuente: ETAB'S 2016

Figura 44. Derivas máximas estáticas (NEC-2015). Estructura tipo 3



Fuente: ETAB'S 2016

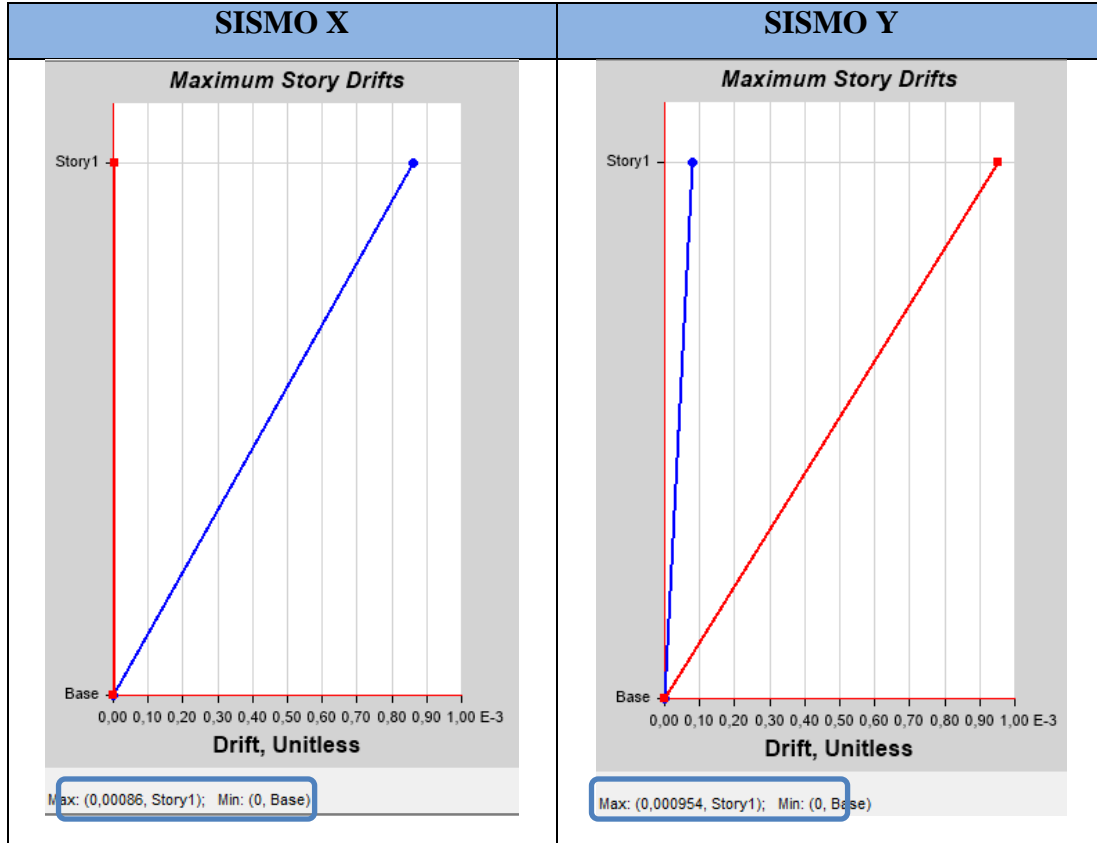
Tabla 58. Valores de las derivas máximas estáticas para la estructura tipo 3.

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story4	SISMO X 1	X	0,001489
Story4	SISMO Y 1	Y	0,001449
Story3	SISMO X 1	X	0,001516
Story3	SISMO Y 1	Y	0,00152
Story2	SISMO X 1	X	0,002129
Story2	SISMO Y 1	Y	0,002144
Story1	SISMO X 1	X	0,001511
Story1	SISMO Y 1	Y	0,001569

Fuente: ETAB'S 2016

**DERIVAS ESTÁTICAS DE ACUERDO AL ESPECTRO DETERMINISTICO
OBTENIDO PARA LAS ESTRUCTURAS TIPO**

Figura 45. Derivas máximas estáticas (DETERMINISTICO). Estructura tipo 1



Fuente: ETAB'S 2016

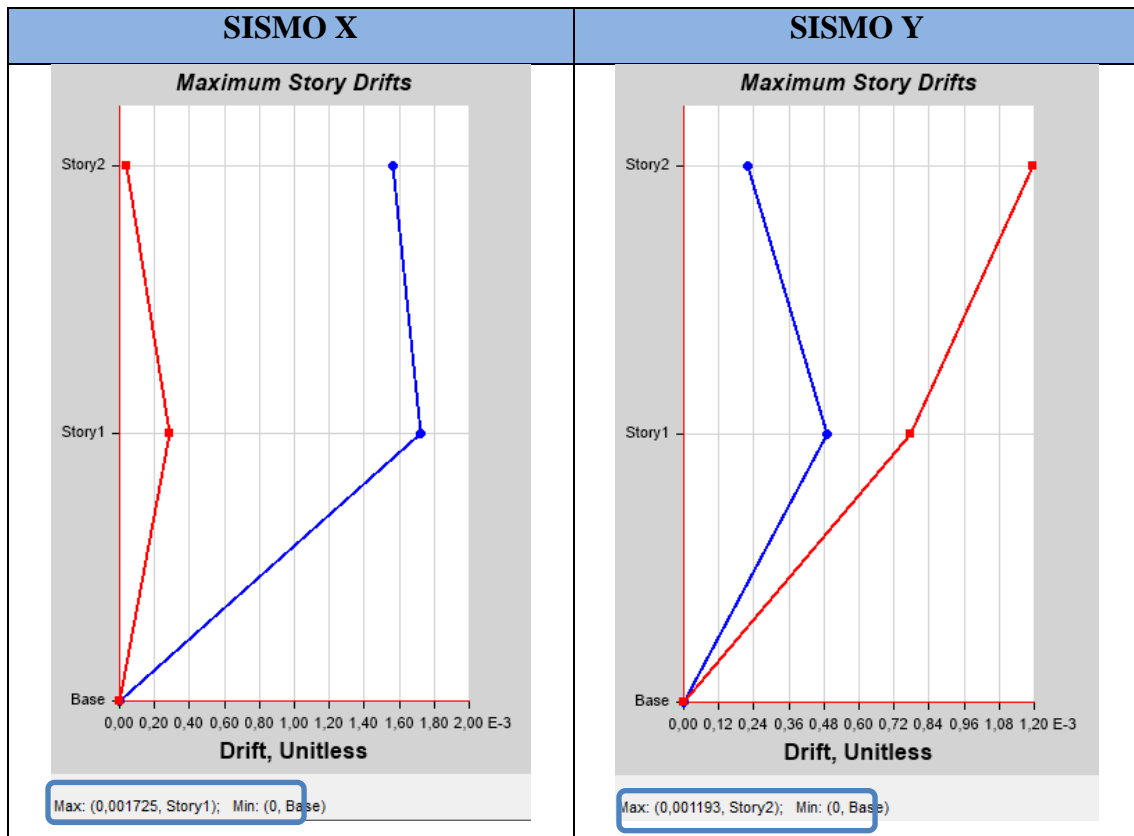
Tabla 59. Valores de las derivas máximas estáticas para la estructura tipo1.

(DETERMINISTICO)

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story1	SISMO X 1	X	0,00086
Story1	SISMO Y 1	Y	0,000954

Fuente: ETAB'S 2016

Figura 46. Derivas máximas estáticas (DETERMINISTICO). Estructura tipo 2



Fuente: ETAB'S 2016

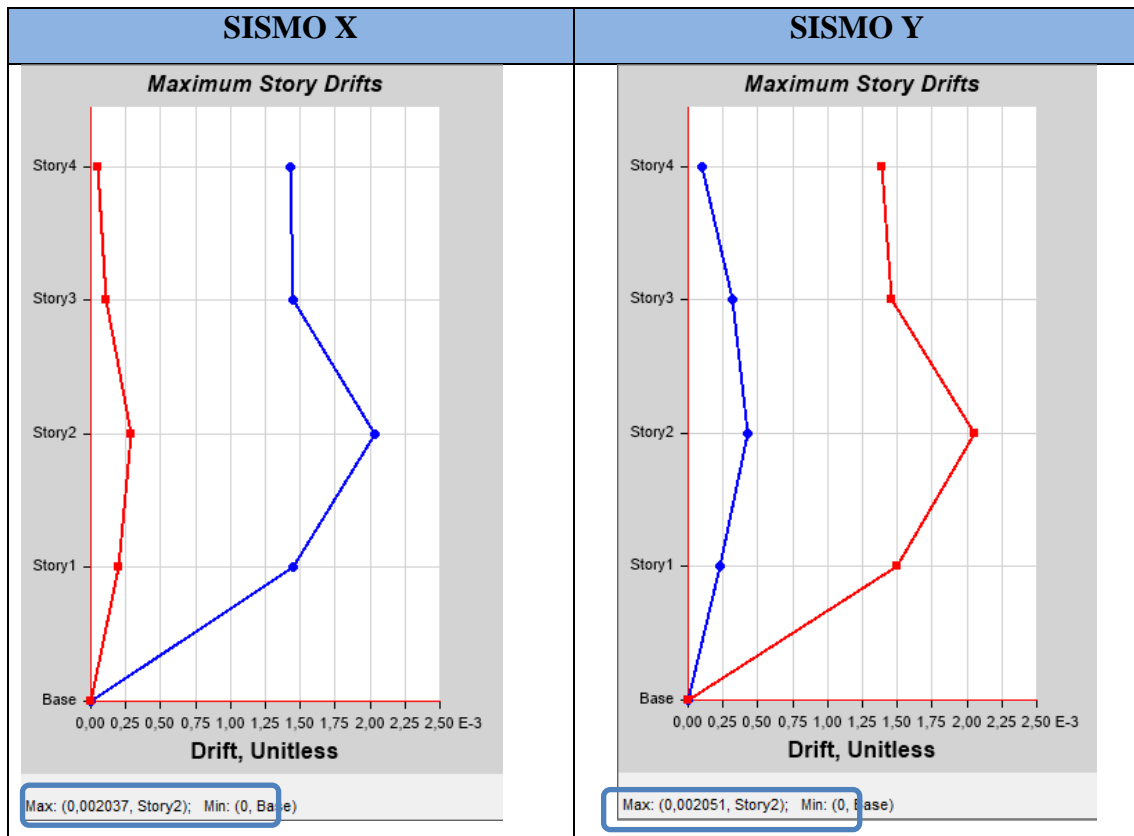
Tabla 60. Valores de las derivas máximas estáticas para la estructura tipo2.

(DETERMINISTICO)

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story2	SISMOX 1	X	0,001564
Story2	SISMOY 1	Y	0,001193
Story1	SISMOX 1	X	0,001725
Story1	SISMOY 1	Y	0,000775

Fuente: ETAB'S 2016

Figura 47. Derivas máximas estáticas (DETERMINISTICO). Estructura tipo 3



Fuente: ETAB'S 2016

Tabla 61. Valores de las derivas máximas estáticas para la estructura tipo 3.

(DETERMINISTICO)

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story4	SISMO X 1	X	0,001424
Story4	SISMO Y 1	Y	0,001386
Story3	SISMO X 1	X	0,00145
Story3	SISMO Y 1	Y	0,001454
Story2	SISMO X 1	X	0,002037
Story2	SISMO Y 1	Y	0,002051
Story1	SISMO X 1	X	0,001446
Story1	SISMO Y 1	Y	0,001501

Fuente: ETAB'S 2016

Tabla 62. Tabla resumen de los valores de las derivas máximas estáticas para las estructuras tipo.

ESTRUCTURA	SISMO	NEC-2015		DETERMINISTA	
		ΔE	ΔM	ΔE	ΔM
1 PISO	X	0,000948	0,57%	0,00086	0,52%
	Y	0,000998	0,60%	0,000954	0,57%
2 PISOS	X	0,00163	0,98%	0,001725	1,04%
	Y	0,001127	0,68%	0,001193	0,72%
3 PISO + TAPA GRADA	X	0,002129	1,28%	0,002037	1,22%
	Y	0,002144	1,29%	0,002051	1,23%

Fuente: ETAB'S 2016

De acuerdo a la tabla anterior para derivas máximas estáticas, en base al espectro de la NEC-2015y al espectro determinista las tres estructuras analizadas presentan derivas menores al 2% lo cual indica que estas estructuras son estables estáticamente.

4.3.5.6. Análisis dinámico

Para la comprobación del análisis dinámico se utilizara la siguiente relación:

$$\frac{V_{DINAMICO}}{V_{ESTATICO}} * 100$$

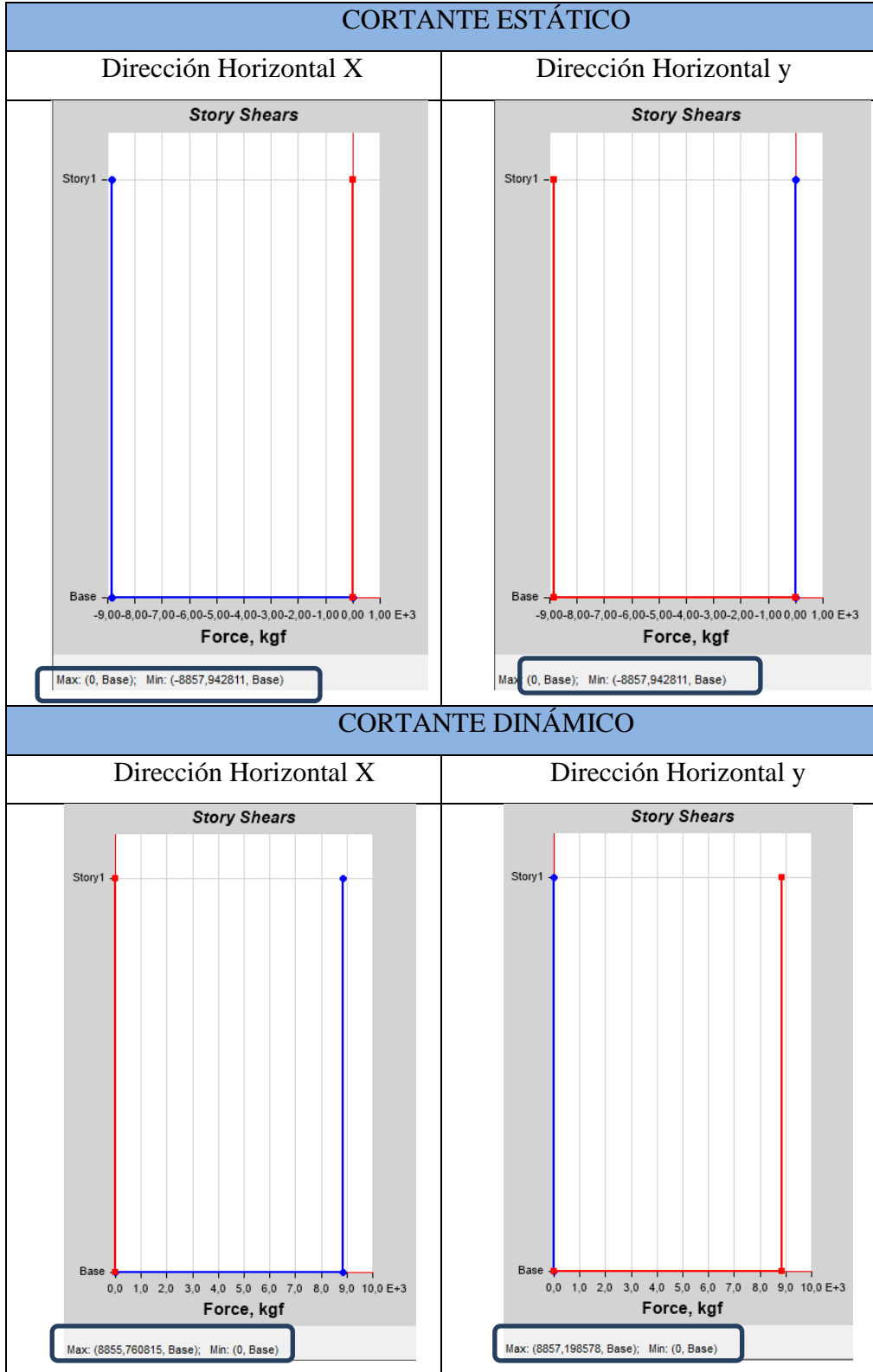
Tomando en cuenta que el valor de cortante dinámico total obtenido será comparado de base a las siguientes consideraciones:

- ❖ >80% para Estructuras regulares
- ❖ >85% para Estructuras irregulares

Para el análisis correspondiente la relación de los cortantes deberá ser mayor a 80% para las estructuras 1 y 2, considerando que son edificaciones regulares, en cambio para la estructura 3 que tiene irregularidad en elevación se verificará que los cortantes sean mayor que el 85%, ya que las estructuras en estudio presentad irregularidad en planta.

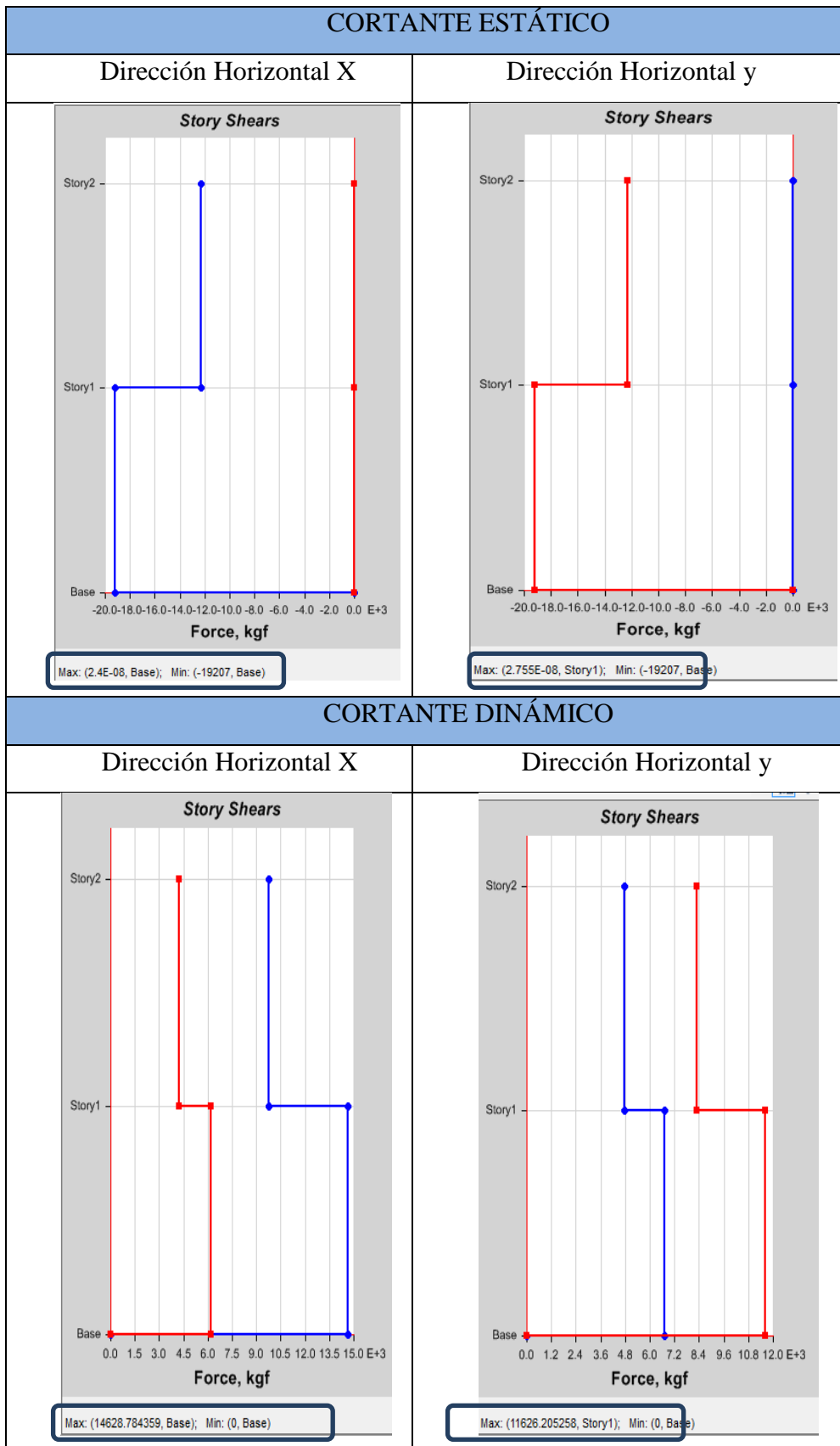
CORTANTES ESTÁTICOS Y DINÁMICOS DE ACUERDO A LA NEC-2015 PARA LAS ESTRUCTURAS TIPO

Figura 48. Cortantes estático y dinámico (NEC - 2015). Estructura tipo 1



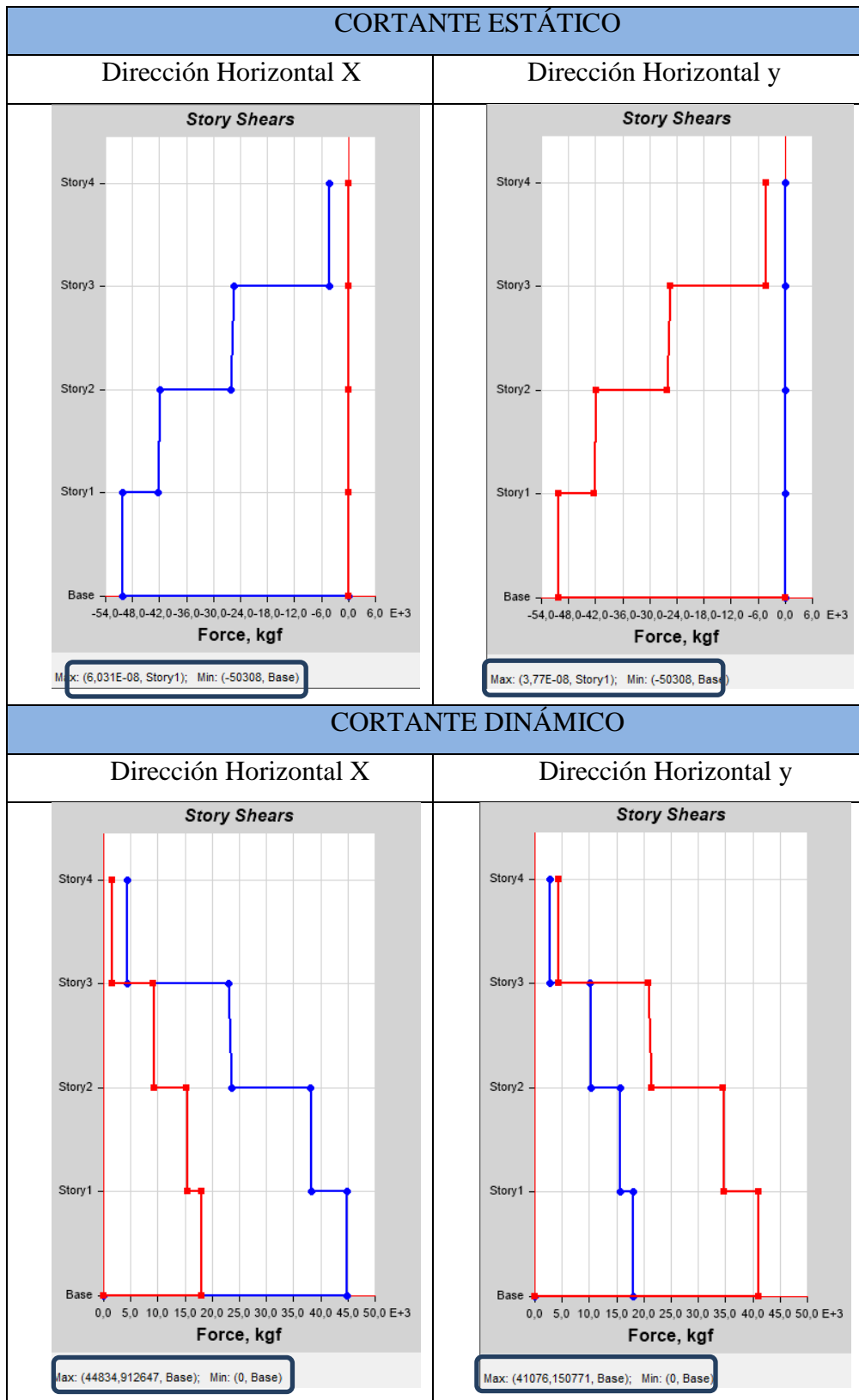
Fuente: ETAB'S 2016

Figura 49. Cortantes estático y dinámico (NEC - 2015). Estructura tipo 2



Fuente: ETAB'S 2016

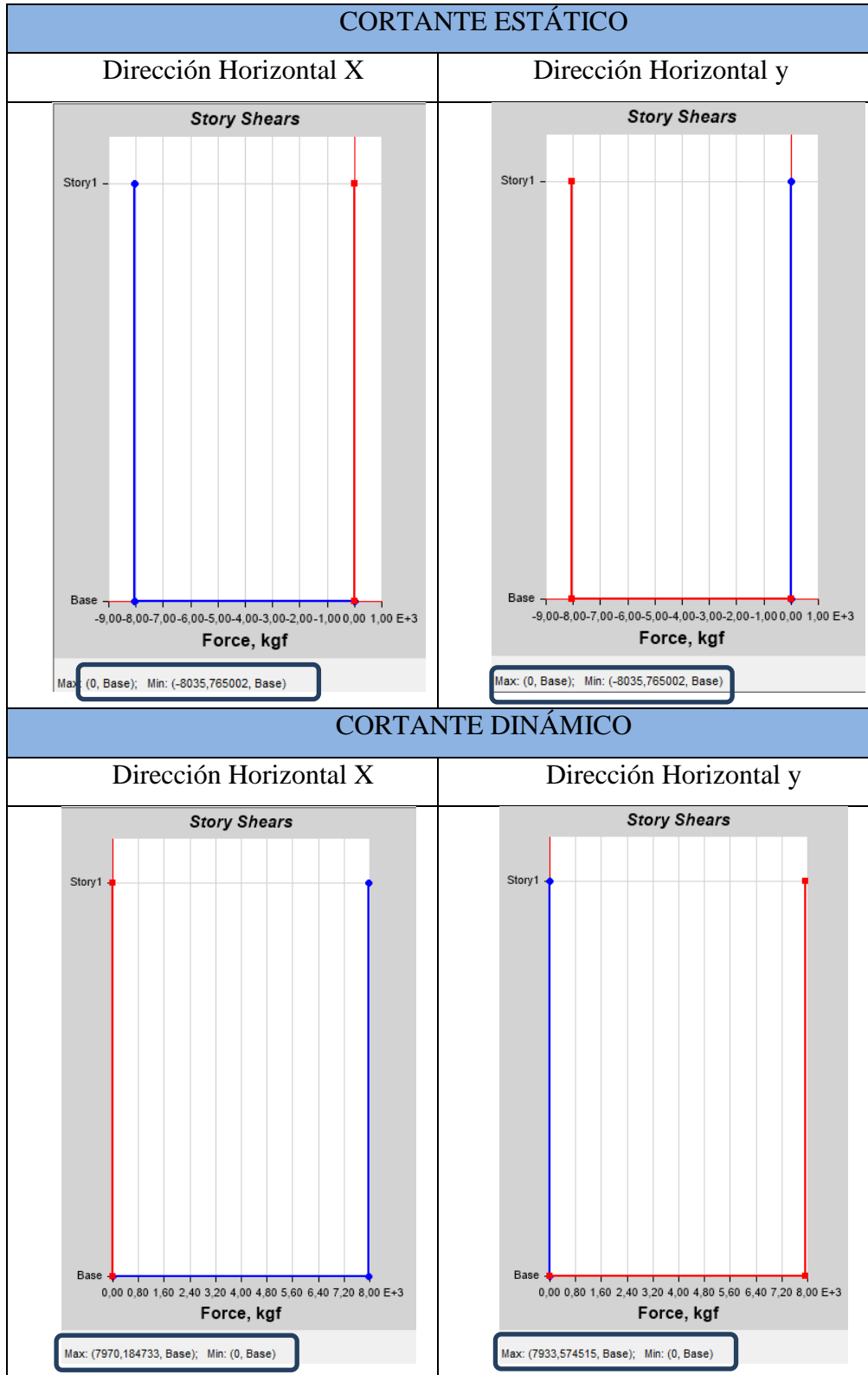
Figura 50. Cortantes estático y dinámico (NEC - 2015). Estructura tipo 3



Fuente: ETAB'S 2016

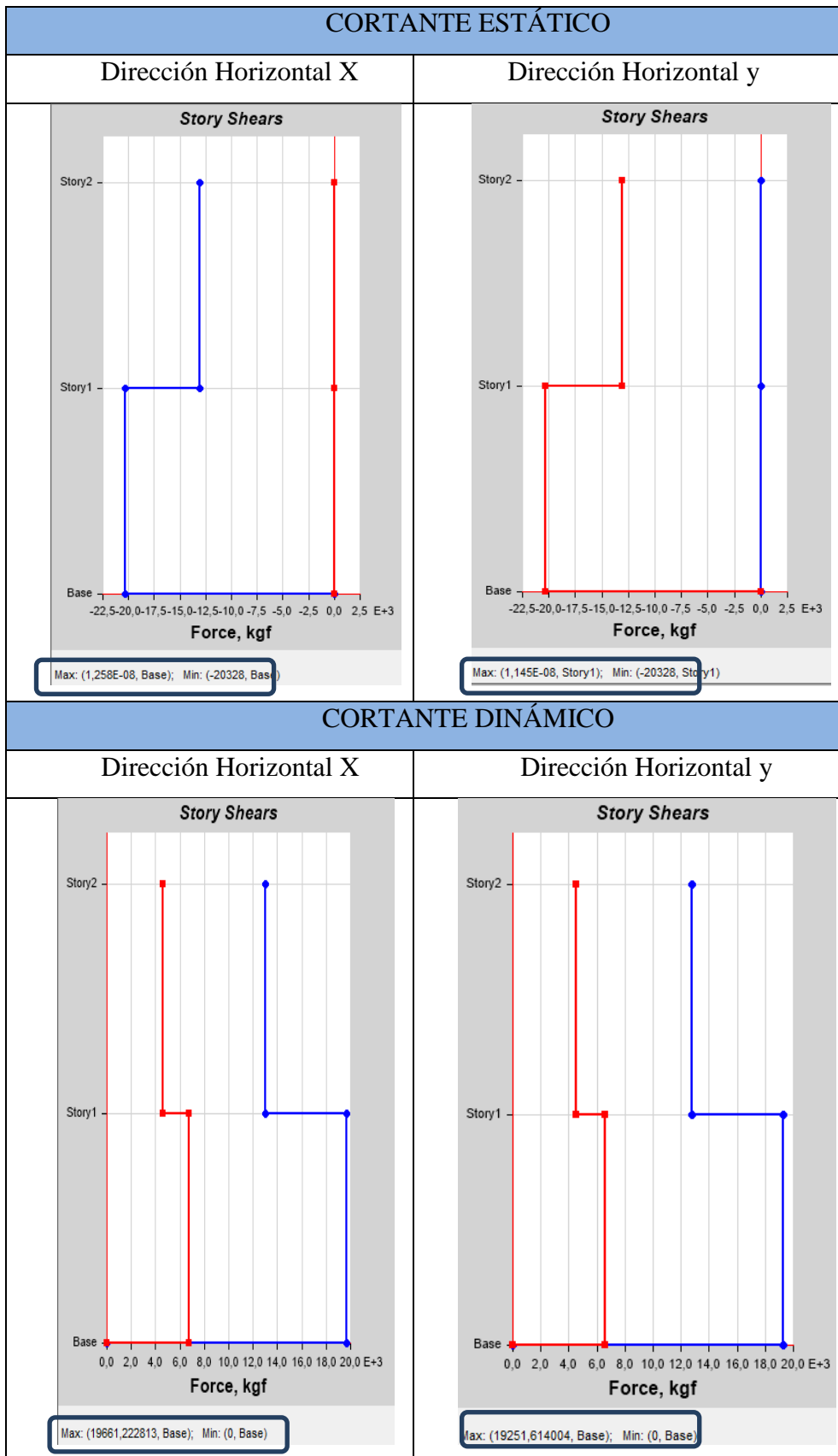
CORTANTES ESTÁTICOS Y DINÁMICOS DE ACUERDO AL ESPECTRO DETERMINISTICO OBTENIDO PARA LAS ESTRUCTURAS TIPO

Figura 51. Cortantes estático y dinámico (DETERMINISTICO). Estructura tipo 1



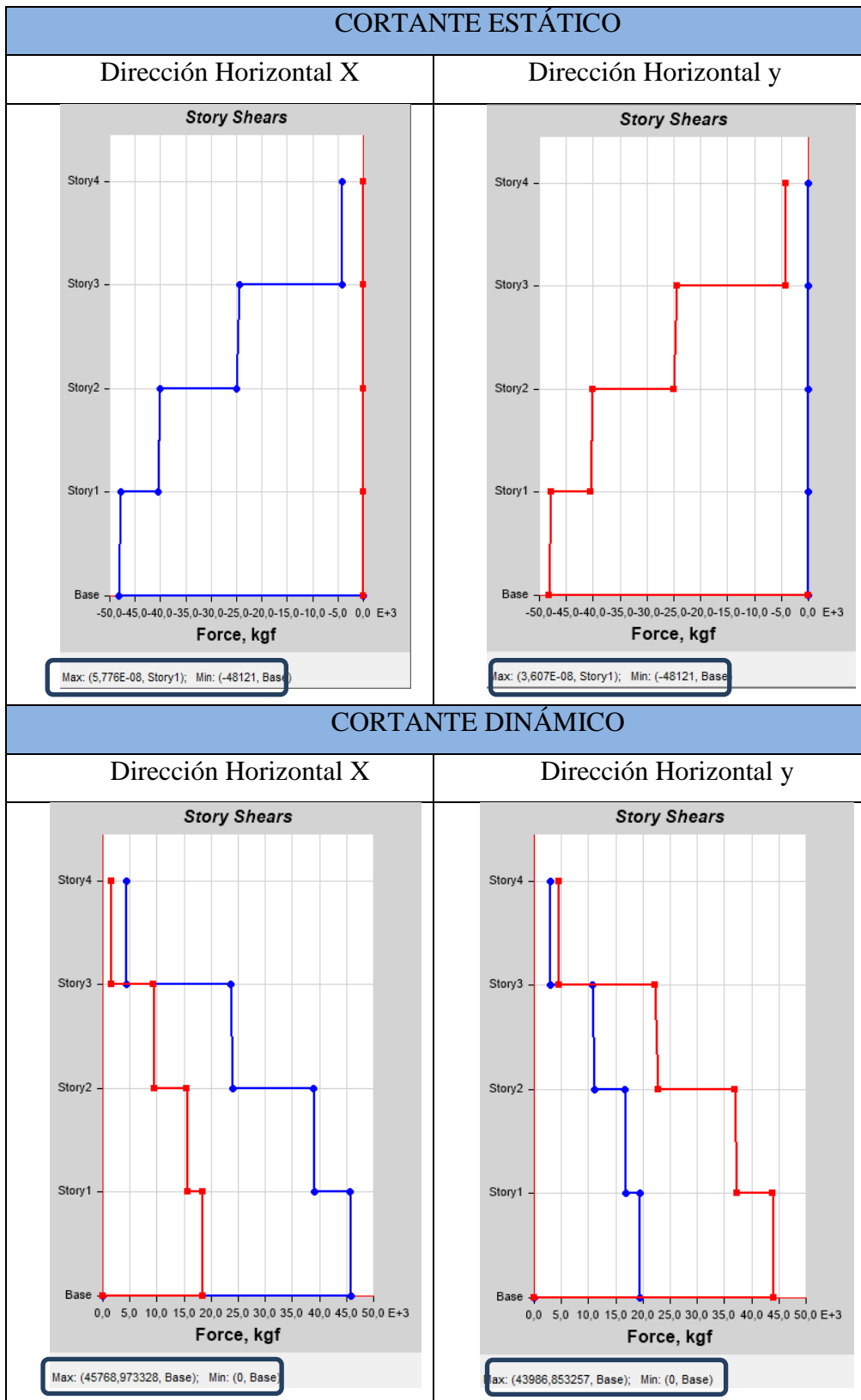
Fuente: ETAB'S 2016

Figura 52. Cortantes estático y dinámico (DETERMINIISTICO). Estructura tipo 2



Fuente: ETAB'S 2016

Figura 53. Cortantes estático y dinámico (DETERMINIISTICO). Estructura tipo 3



Fuente: ETAB'S 2016

Tabla 63. Valores de los cortantes estático y dinámicos con su respectivo análisis de validación.

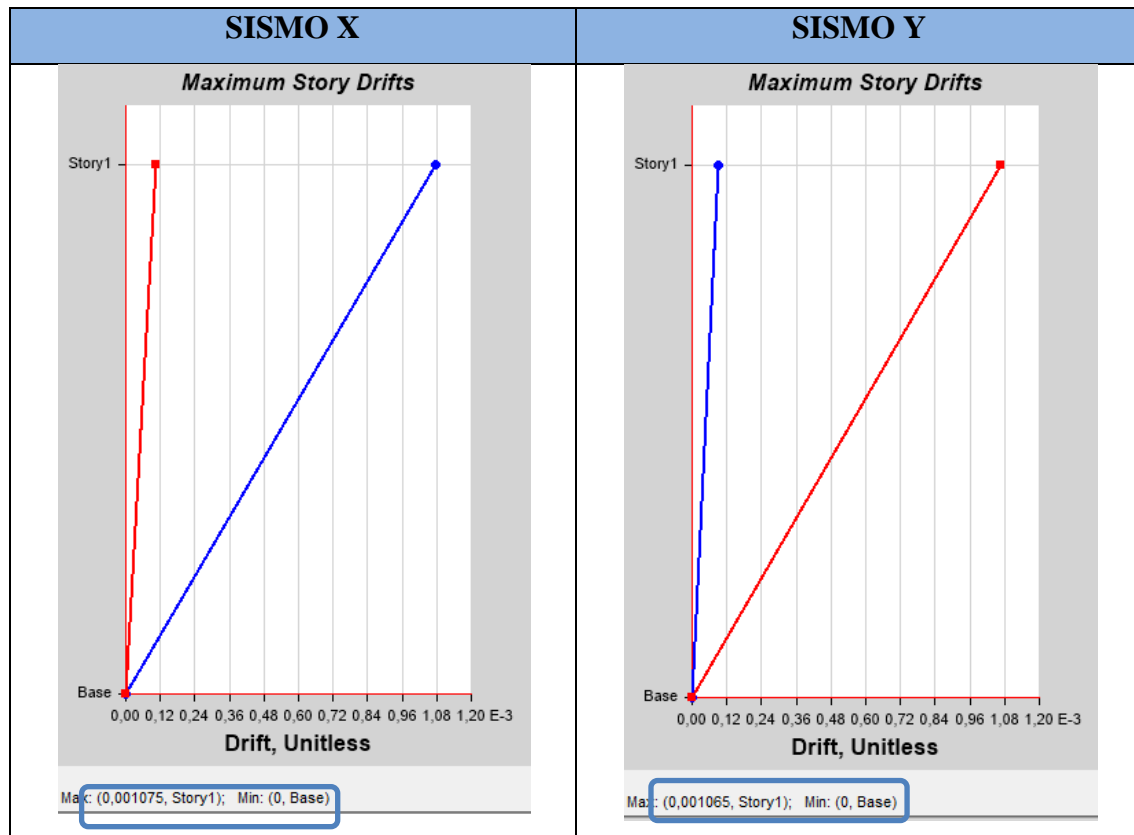
ESTRUCTURA	SENTIDO	NEC-2015			DETERMINISTA		
		Vestático (kg)	Vdinámico (kg)	Vdin/Vest	Vestático (kg)	Vdinámico (kg)	Vdin/Vest
1 PISO	X	8857,94	8855,76	99,98%	8035,76	7970,18	99,18%
	Y	8857,94	8857,19	99,99%	8035,76	7933,57	98,73%
2 PISOS	X	19207,00	14628,78	76,16%	20328,00	19661,22	96,72%
	Y	19207,00	11626,2	60,53%	20328,00	19251,61	94,70%
3 PISO + TAPA GRADA	X	50308,00	44834,91	89,12%	48121,00	45768,97	95,11%
	Y	50308,00	41076,15	81,65%	48121,00	43986,85	91,41%

Fuente: ETAB'S 2016

En la tabla anterior se puede visualizar que para la estructura tipo 1 la relación de los cortantes pasa el 80% en las dos direcciones, tanto para el espectro de la NEC-2015 como para el espectro determinista, sin embargo para las estructuras tipo 2 se puede observar que la relación de los cortantes para el espectro otorgado por la NEC-2015 no alcanzan el 80%, en cambio para el espectro determinista calculado en las dos direcciones se observa como supera el 85%, y de igual forma para la estructura tres de acuerdo al espectro de la NEC-2015 solo en el sentido x supera el 85%, en cambio para el espectro determinista supera el 85% en las dos direcciones.

DERIVAS DINÁMICAS DE ACUERDO A LA NEC_2015 PARA LAS ESTRUCTURAS TIPO

Figura 54. Derivas máximas dinámicas (NEC-2015). Estructura tipo 1



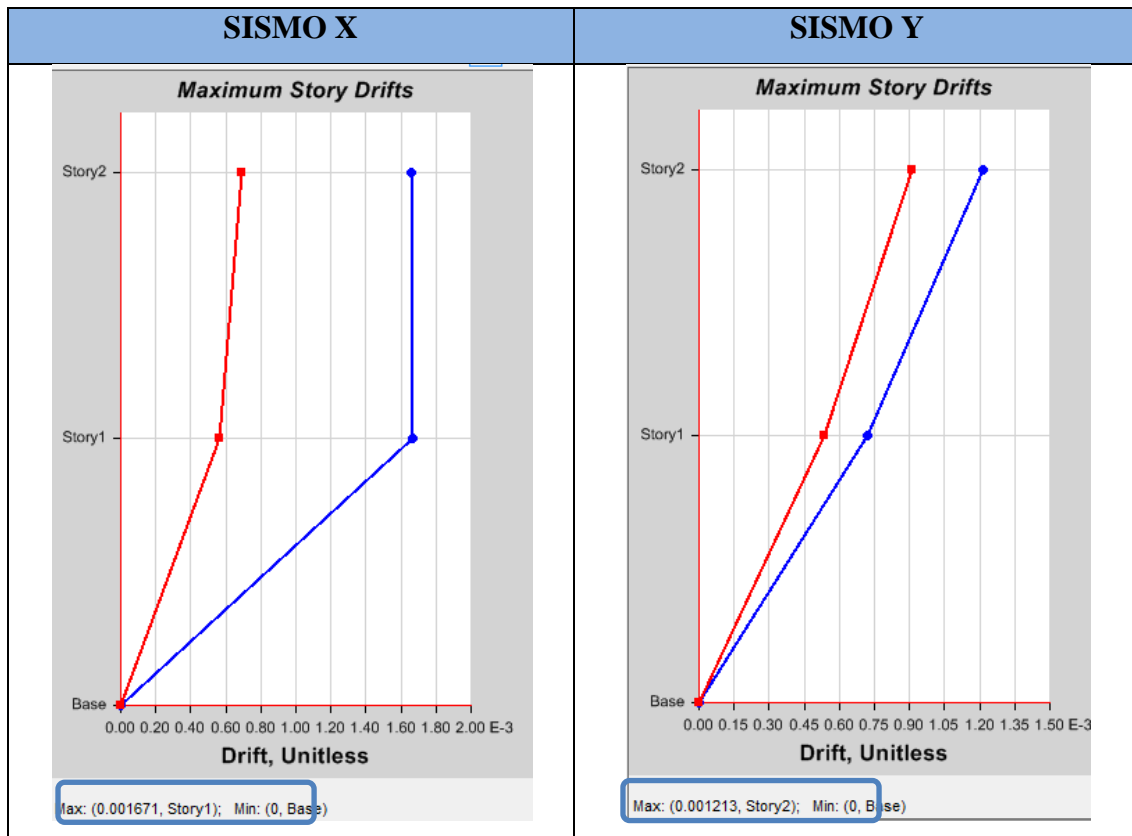
Fuente: ETAB'S 2016

Tabla 64. Valores de las derivas máximas dinámicas para la estructura tipo1.

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story1	ESPECTROX Max	X	0,001075
Story1	ESPECTROY Max	Y	0,001065

Fuente: ETAB'S 2016

Figura 55. Derivas máximas dinámicas (NEC-2015). Estructura tipo 2



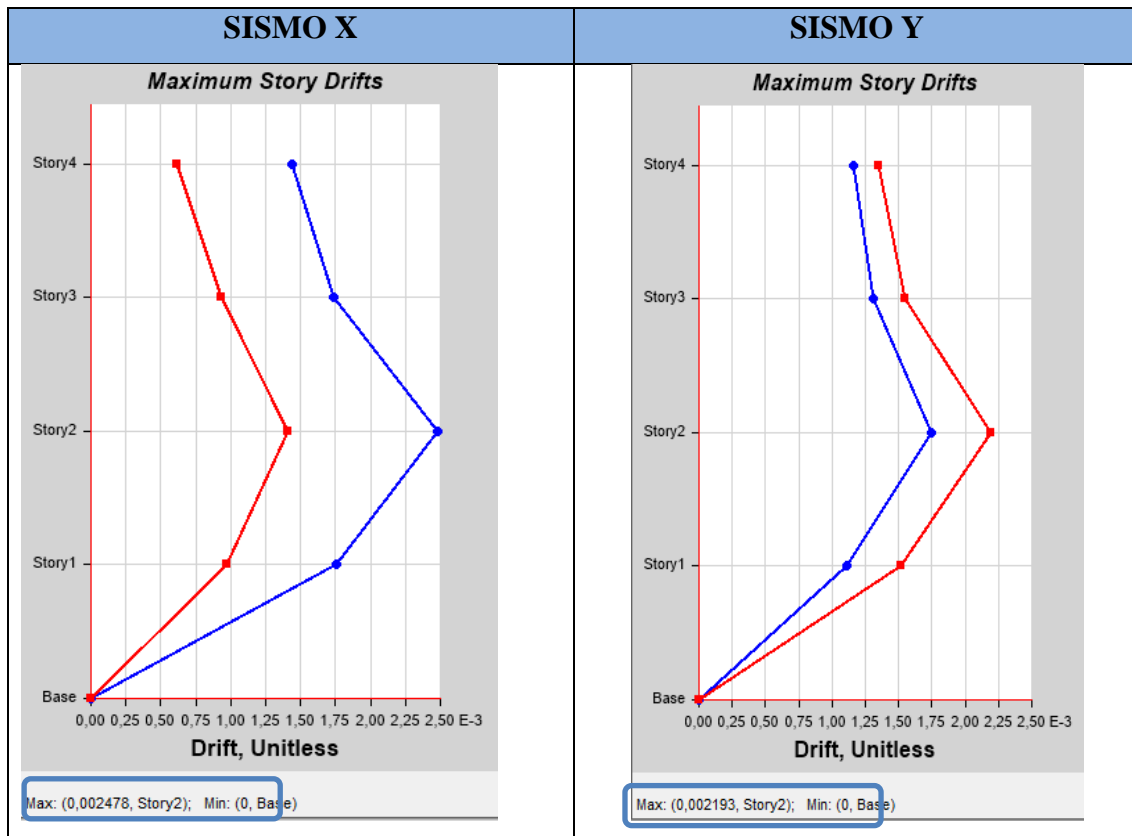
Fuente: ETAB'S 2016

Tabla 65. Valores de las derivas máximas dinámicas para la estructura tipo2.

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story2	ESPECTROX Max	X	0.001659
Story2	ESPECTROY Max	Y	0.001213
Story1	ESPECTROX Max	X	0.001671
Story1	ESPECTROY Max	Y	0.000566

Fuente: ETAB'S 2016

Figura 56. Derivas máximas dinámicas (NEC-2015). Estructura tipo 3



Fuente: ETAB'S 2016

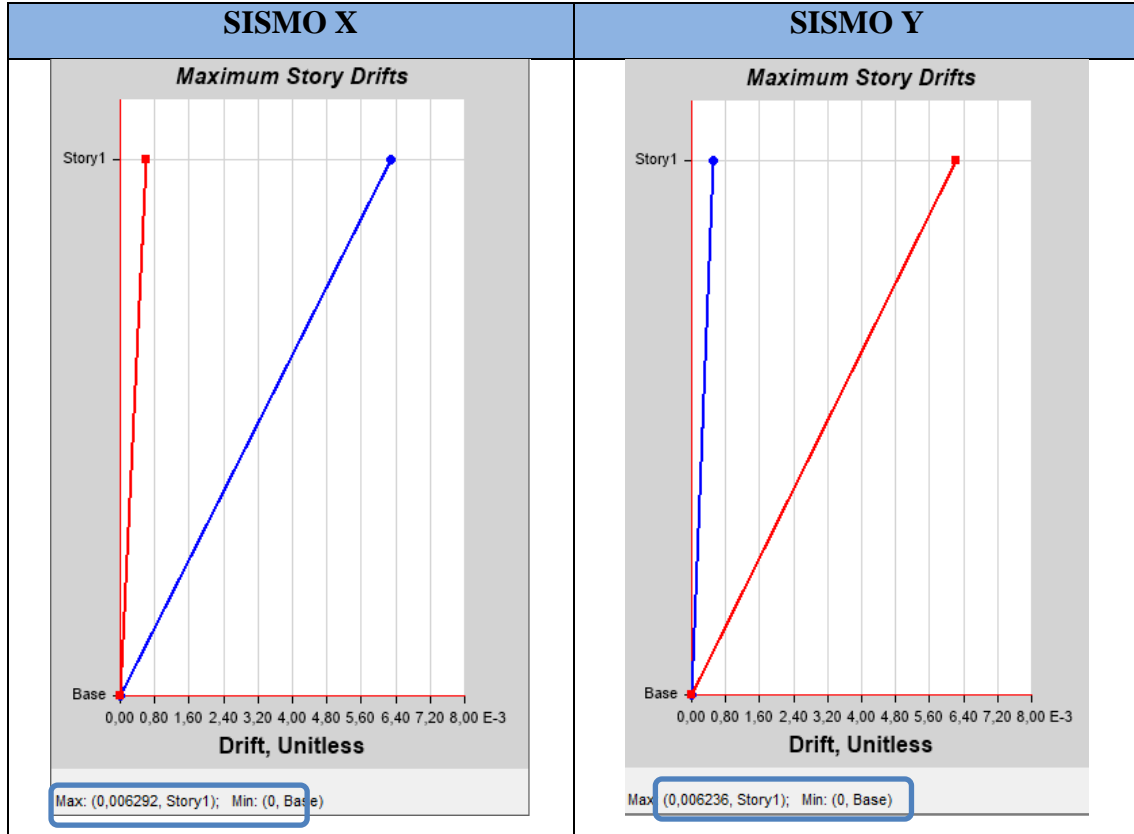
Tabla 66. Valores de las derivas máximas dinámicas para la estructura tipo 3.

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story4	ESPECTROX Max	X	0,001434
Story4	ESPECTROY Max	Y	0,001346
Story3	ESPECTROX Max	X	0,001738
Story3	ESPECTROY Max	Y	0,001544
Story2	ESPECTROX Max	X	0,002478
Story2	ESPECTROY Max	Y	0,002193
Story1	ESPECTROX Max	X	0,001758
Story1	ESPECTROY Max	Y	0,001518

Fuente: ETAB'S 2016

**DERIVAS DINÁMICAS DE ACUERDO AL ESPECTRO DETERMINISTICO
OBTENIDO PARA LAS ESTRUCTURAS TIPO**

Figura 57. Derivas máximas dinámicas (DETERMINISTICO). Estructura tipo 1



Fuente: ETAB'S 2016

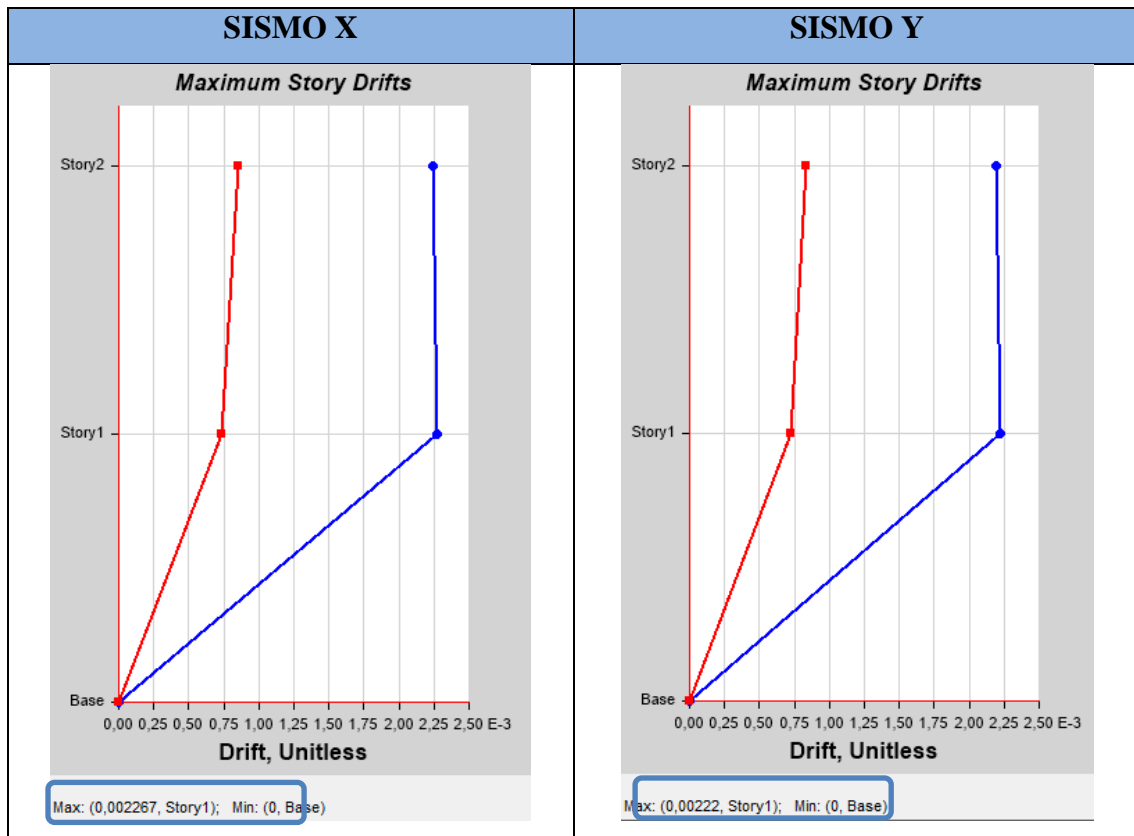
Tabla 67. Valores de las derivas máximas dinámicas para la estructura tipo1.

(DETERMINISTICO)

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story1	ESPECTROX Max	X	0,006292
Story1	ESPECTROY Max	Y	0,006235

Fuente: ETAB'S 2016

Figura 58. Derivas máximas dinámicas (DETERMINISTICO). Estructura tipo 2



Fuente: ETAB'S 2016

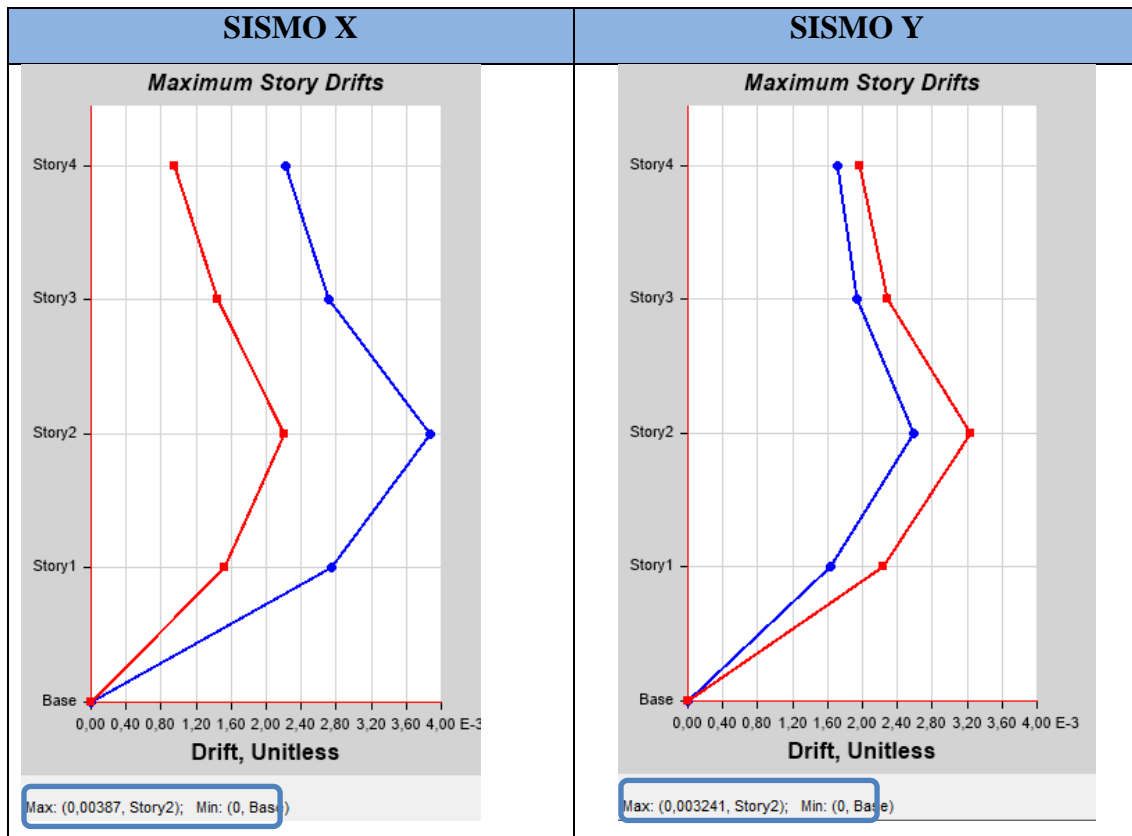
Tabla 68. Valores de las derivas máximas dinámicas para la estructura tipo2.

(DETERMINISTICO)

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story2	ESPECTROX Max	X	0,00224
Story2	ESPECTROY Max	Y	0,002193
Story1	ESPECTROX Max	X	0,002267
Story1	ESPECTROY Max	Y	0,00222

Fuente: ETAB'S 2016

Figura 59. Derivas máximas dinámicas (DETERMINISTICO). Estructura tipo 3



Fuente: ETAB'S 2016

Tabla 69. Valores de las derivas máximas dinámicas para la estructura tipo 3.

(DETERMINISTICO)

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story4	ESPECTROX Max	X	0,002216
Story4	ESPECTROY Max	Y	0,001963
Story3	ESPECTROX Max	X	0,002709
Story3	ESPECTROY Max	Y	0,002279
Story2	ESPECTROX Max	X	0,00387
Story2	ESPECTROY Max	Y	0,003241
Story1	ESPECTROX Max	X	0,002743
Story1	ESPECTROY Max	Y	0,002243

Fuente: ETAB'S 2016

Tabla 70. Tabla resumen de los valores de las derivas máximas dinámicas para las estructuras tipo.

ESTRUCTURA	SISMO	NEC-2015		DETERMINISTA	
		ΔE	ΔM	ΔE	ΔM
1 PISO	X	0,001075	0,65%	0,006292	3,78%
	Y	0,001065	0,64%	0,006235	3,74%
2 PISOS	X	0,001671	1,00%	0,002267	1,36%
	Y	0,001213	0,73%	0,00222	1,33%
3 PISO + TAPA GRADA	X	0,002478	1,49%	0,00387	2,32%
	Y	0,002193	1,32%	0,003241	1,94%

Fuente: ETAB'S 2016

De acuerdo a la tabla anterior y en base al espectro de la NEC-2015 las tres estructuras analizadas presentan derivas menores al 2% lo cual indica que estas estructuras son estables, sin embargo para el espectro determinista la estructura uno presenta derivas mayores al 2% lo cual indica ser una estructura flexible, la estructura dos presenta derivas menores al 2% lo cual está en el rango que recomienda la NEC-2015, pero la estructura 3 presenta en el sentido x una deriva mayor al 2% lo cual se establece que en este sentido la estructura es muy flexible y en la otra dirección menor al 2%.

4.4. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo a la hipótesis planteada en esta investigación “El estudio de peligrosidad sísmica determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras de Ambato sector LA UNIVERSAL”. Se verificó que el espectro crítico obtenido mediante una envolvente de los espectros encontrados en base a ecuaciones de atenuación generó mayores aceleraciones con respecto al espectro establecido en la NEC-2015 en un periodo 0.15 a 0.4 segundos, lo que se establece que las estructuras que se encuentran dentro de este periodo se ven afectadas significativamente. Lo cual se determina que espectro específico calculado tiene una gran influencia sobre las estructuras que se encuentra en esta zona, ya que presenta una mayor amenaza a estructuras menores a 5 pisos.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El estudio de peligrosidad sísmica realizado para el sector La Universal, establece que las fallas corticales presentan aceleraciones máximas en periodos cortos, mientras que la falla de subducción presenta un espectro distinto, ya que su máxima aceleración prevalece en un período largo. Considerando lo mencionado se establece que las estructuras del sector La Universal estarán propensas a sufrir grandes daños por lo que presentan alturas no mayor de 4 pisos.
- Mediante las fallas seleccionadas de acuerdo a su grado de amenaza a la zona de estudio, presentan magnitudes de **8.9, 6.5, 6.5, 6.9, 6.3**, respectivamente, considerando que la falla de Subducción presento una magnitud de momento de **8.9** por tener una mayor longitud de ruptura superficial, y de acuerdo a la longitud de ruptura es la de Samanga ya que presenta una magnitud de momento de **6.9**, sin embargo se establece la falla de Totoras tendrá mayor influencia en el sector La Universal ya que se encuentra más cerca.
- La velocidad de corte de suelo (V_{s30}), se determinó en base al tipo de suelo encontrado en sitio en este caso arena, esta velocidad se la obtuvo mediante la ecuación establecida por Hasancebi y Ulusay (2007), dando una velocidad promedio para la zona de estudio de 320.63m/seg, y mediante la tabla de clasificación del tipo de suelo otorgado por la NEC-2015 se obtiene un perfil tipo D.
- Se determinó que la aceleración máxima para la falla de Totoras mediante lo ecuaciones establecidas por Boore y Atkinson, y Akkar y Bommer presentan aceleraciones de 0.97g y 1.31g respectivamente en periodo de 0.3 y 0.4s, sin embargo mediante el modelo planteado por Kanno visualiza que la falla de Samanga alcanza una aceleración de 1.40g en un periodo de 0.22seg.
- El espectro determinístico presento que puede llegar a alcanzar una aceleración de 1.39g en un intervalo de 0.15 a 0.4 segundos, lo cual se determina que esta aceleración se encuentra en un 15% por encima de la aceleración otorgado por la NEC-2015, por lo que se establece que las estructuras del sitio deben ser calculadas para una aceleración mayor que el de la NEC.

- Las derivas encontradas en cada estructura tipo en base al espectro que presenta la NEC-2015 son valores menores al 2% lo cual se establece que para este establece que cumplen con lo dictaminado en la misma Norma e indica que las estructuras son estables. Sin embargo para el espectro determinista presento valores mayores a 2% lo cual indica que existen estructuras muy flexibles.
- La estructura de un piso posee un periodo determinado por el software ETAB's de 0.225 sg superando el periodo fundamental calculado en base a la NEC-2015 más del 30% ($T=0.17$). En el análisis dinámico la deriva de piso inelástica calculado en base al espectro determinista sobrepasa el 2%, lo que indica ser una estructura rígida, sin embargo en el análisis estático la estructura es estable porque las derivas son menor al 2%, además esta estructura no presenta problemas de torsión ya que cumple con los parámetros que establece la NEC-2015.
- La estructura de dos piso posee un periodo determinado por el software ETAB's de 0.30 sg manteniéndose en el rango que otorga la NEC-2015, sin embargo las deriva de piso inelástica en el análisis dinámico y estático cumplen por ser menor a 2%, lo cual indica una estructura estable. Sin embargo esta estructura presenta problemas de torsión ya que en el segundo y tercer modo supera el 30% de la masa modal presentando un comportamiento rotacional.
- La estructura de tres piso más tapa grada posee un periodo determinado por el software ETAB's de 0.39 sg, siendo inferior al periodo fundamental calculado mediante NEC-2015, sin embargo las deriva de piso inelástica en el análisis estático cumplen por ser menor a 2%, pero en el análisis dinámico en base al espectro determinista presenta en el sentido X una deriva mayor al 2%, lo cual indica ser de mayor rigidez en este sentido, ya que en el sentido Y la deriva es menor al 2%. Además esta estructura presenta problemas de torsión ya que en el primer modo de vibración presenta un comportamiento torsional ya que supera el 30% de la masa modal.
- Se concluyó que para las estructuras menores a 5 pisos el espectro determinista genera mayores aceleraciones, en periodos cortos lo cual se establece que estas estructuras estarán propensas a sufrir grandes daños.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar un mapa de microzonificación sísmica para la ciudad de Ambato, ya que se encuentra en una zona vulnerable a sismos con el objetivo de tener estructuras seguras y de un desempeño favorable frente a eventos sísmicos.
- Para la zona de estudio, las estructuras nuevas se debe realizar bajo un diseño sismo resistente de acuerdo a la NEC, haciendo una verificación con el espectro determinista obtenido en esta investigación.
- La ciudad de Ambato se ve afectada por varias fallas corticales, lo cual hace necesario fomentar la investigación planteada, con la finalidad de tener un mejor desempeño de las estructuras futuras que se diseñen el sector.
- Con los datos obtenidos si refleja vulnerabilidad sísmica que existe en la zona, para lo cual es necesario reforzar algunas estructuras que se encuentran construidas.
- Emplear otros métodos para la obtención de una velocidad de corte mayor a los 20m de profundidad, tomando en cuenta que el ensayo de penetración estándar se realiza a profundidades no muy relevantes.

MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alvarado, D. Valdebenito (2015). “Microzonificación Sísmica en Zonas de Geología Compleja”. Evaluación del Peligro Sísmico Local en Valdivia Chile, Universidad Austral de Chile. En línea. Disponible: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWa13hiwKYn4FOfcdhMW5>
- [2] Quizanga, D. (2015). “Espectros específicos para la ciudad de Quito en función de fallas ciegas inversas”. Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. En línea. Disponible: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11856>
- [3] Aguiar, R. 2013. “Microzonificación Sísmica del centro norte de Quito”, Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, Segunda Jornada de Investigación Científica desde las Aulas
- [4] Cobos, F. (2017).”Estudio de Peligro sísmico determinista para las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi. Universidad Técnica de Ambato”. En línea. Disponible: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25147/1/Tesis%201100%20-%20Cobos%20Torres%20Fabricio%20Pa%C3%BAI.pdf>
- [5] Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015. “Peligro Sísmico – Diseño Sismo Resistente”, Código NEC – SE – DS.
- [6] Telesur. “Anillos de Fuego del Pacífico ligados a desastres naturales”. En línea disponible: <https://www.telesurtv.net/news/Anillos-de-Fuego-del-Pacifico-ligados-a-desastres-naturales-20160418-0023.html>
- [7] Cinturón de Fuego. En línea disponible: <http://infomayorescastellon.com/imagenes/cinturon%20de%20fuego.pdf>
- [8] Geo Enciclopedia. “Cinturón del Fuego del Pacífico”. En línea disponible: <http://www.geoenciclopedia.com/cinturon-de-fuego-del-pacifico/>

- [9] Últimos Avances en la evaluación del riesgo sísmico de Quito y futuros proyectos de mitigación. En línea disponible: <http://www.flacsoandes.edu.ec/biblio/catalog/resGet.php?resId=24693>
- [10] La Hora. “Ambato necesita identificar zonas de alto riesgo”. En línea disponible: <http://www.flacsoandes.edu.ec/biblio/catalog/resGet.php?resId=24693>
- [11] LA PRENSA. (2014). “Vulcanismos y placas tectónica” En línea Disponible: <https://www.laprensa.com.ni/2014/10/15/opinion/215155-lvulcanismo-y-placas-tectonicas>
- [12] RSN (UCR-ICE). (2015). “GEOLOGIA-Que son las placas tectónicas” En línea Disponible: <http://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/geologia/3412-placas-tectonicas>
- [13] Tarbuck, E. Lutgens, F. “Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de Madrid”: Pearson Educación, 2005, pp. 51-308. En Línea. Disponible: <http://www.osop.com.pa/wp-content/uploads/2014/04/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf>
- [14] Galapagos Conservation Trust. En Línea Disponible: <http://descubriendogalapagos.ec/descubre/procesos-geograficos/ubicacion-formacion/placas-tectonicas/>
- [15] Vidal F. 1994. “los terremotos y sus causas”, Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, El Estudio de los Terremotos en Almería, Vol. 1 pp. 17-38.
- [16] Maldonado Yadry. (2018). Geología Estructural. En Línea Disponible: <https://geologiaweb.com/geologia-estructural/fallas-geologicas/>
- [17] Blog del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de La Universidad de Costa Rica. (2009-2018). En Línea Disponible: <http://www.lis.ucr.ac.cr/9>

- [18] Aguilar, Z. (2016). “Análisis de Peligrosidad sísmico de diseño”. En Línea Disponible: https://www.researchgate.net/publication/237684107_ANALISIS_DE_PELIGRO_SISMICO_Y_ESTIMADO_DEL_MOVIMIENTO_SISMICO_DE_DISENO
- [19] Taípe, L. 2013. “Análisis de las ecuaciones de predicción de movimiento de suelo para el Ecuador utilizando datos registrados durante el periodo 2000 – 2011 en estaciones sísmicas de banda ancha y acelerógrafos”, Escuela Politécnica Nacional, Proyecto previo a la obtención título de Ingeniero Especialista en Geología.
- [20] NTE INEN 0689.”Mecánica de suelos, Ensayo de Penetración Estándar”. En Línea Disponible: <file:///C:/Users/usuario1306/Downloads/222136169-689NTE-SPT-pdf.pdf>
- [21] Rivadeneira, et al. “Breves Fundamentos sobre los Terremotos en el Ecuador”. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional: Corporación Editorial Nacional, 2007. En Línea Disponible: <http://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file>
- [22] Egred Jose. (2000). “El terremoto de Riobamba”. En Línea Disponible: file:///C:/Users/usuario1306/Downloads/01._El_terremoto_de_Riobamba.pdf
- [23] Ortiz, P. Oscar. (Madrid 2012-2013). Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador. En Línea Disponible: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf>
- [24] Montalva, G. Catalán, P. Benedetti, F. “¿Qué Vs30 se debe usar como Índice para la Amplificación Sísmica?”, El caso de Edificios de varios Subterráneos. En Línea Disponible: <http://vu2018.admin.hosting.ing.udec.cl/descargas/46.pdf>
- [25] Schimidt Diaz V. (20112). “Determinación del parámetro vs30 usando los métodos fk y spac en la bahía de cádiz (Sur de España) en Línea Disponible: http://www.lis.ucr.ac.cr/_vista/documentos/victor_fk_spac.pdf

- [26] Youngs, R. Chiou, S. (1997). “Relaciones de atenuación de movimiento en el suelo para los terremotos de la zona de subducción”. En línea. Disponible: <http://www.pacificengineering.org/GM%20Attenuation/Strong%20GM%20Attenuation.pdf>
- [27] Zhao, et al. (2006). “Relaciones de atenuación del movimiento del suelo fuerte en Japón usando la clasificación del sitio basada en el período predominante”. En línea. Disponible: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWa13hn8sIjIBi8cjpGfy>
- [28] Boore, D., Atkinson, M. “Ecuaciones de predicción de movimiento del suelo para el componente horizontal promedio de PGA, PGV y PSA amortiguado al 5% en períodos espectrales entre 0,01s y 10,0s”. En línea. Disponible: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.76.2217&rep=rep1&type=pdf>
- [29] Akkar, S. Bommer, J. (2010). “Ecuaciones empíricas para la predicción de PGA, PGV y aceleraciones espectrales en Europa, la región mediterránea y Oriente Medio”. En línea. Disponible: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWa13hnzW5flbESek5QhU>

ANEXOS

Anexos A



Fotografía 1. Limpieza y colocación del extractor de muestras



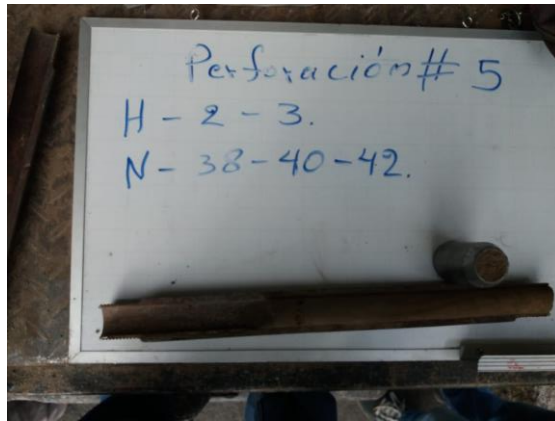
Fotografía 2. Medición de intervalos de 15 cm para el conteo de golpes.



Fotografía 3. Extracción del muestreador para conseguir la muestra.



Fotografía 4. Muestra obtenida en el pozo 1



Fotografía 5. Muestra obtenida en el pozo 5



Fotografía 6. Peso de las muestras.



Fotografía 7. Tamizado e las muestras.



Fotografía 8. Muestras del suelo tamizado.



Fotografía 9. Estructura tipo 1



Fotografía 10. Estructura tipo 2



Fotografía 11. Estructura tipo 3

Anexos B

B1. Relaciones de atenuación para el espectro de respuesta horizontal de aceleración (amortiguación 5%) para terremotos de subducción (coeficientes de regresión).

PERIODO (SG)	C1	C2	C3	C*4	C*5	Desviación Estándar
0	0	0	-2,329	1,45	-0,1	0,65
0,075	2,4	-0,0019	-2,697	1,45	-0,1	0,65
0,1	2,516	-0,0019	-2,697	1,45	-0,1	0,65
0,2	1,549	-0,0019	-2,464	1,45	-0,1	0,65
0,3	0,793	-0,002	-2,327	1,45	-0,1	0,65
0,4	0,144	-0,002	-2,23	1,45	-0,1	0,65
0,5	-0,438	-0,0035	-2,14	1,45	-0,1	0,65
0,75	-1,704	-0,0048	-1,952	1,45	-0,1	0,65
1	-2,87	-0,0066	-1,785	1,45	-0,1	0,65
1,5	-5,101	-0,0114	-1,47	1,5	-0,1	0,7
2	-6,433	-0,0164	-1,29	1,55	-0,1	0,75
3	-6,672	-0,0221	-1,347	1,65	-0,1	0,85
4	-7,618	-0,0235	-1,272	1,65	-0,1	0,85

Fuente: Youngs (1997)

Anexos C

D1 Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria correspondientes al modelo de Zhao (2006)

Periodo T(s)	a	b	c	d	e	SR	SI	Ss	SsL
0,00	1,101	-0,00564	0,0055	1,080	0,01412	0,251	0,000	2,607	-0,528
0,05	1,076	-0,00671	0,0075	1,060	0,01463	0,251	0,000	2,764	-0,551
0,10	1,118	-0,00787	0,0090	1,083	0,01423	0,240	0,000	2,156	-0,420
0,15	1,134	-0,00722	0,0100	1,053	0,01509	0,251	0,000	2,161	-0,431
0,20	1,147	-0,00659	0,0120	1,014	0,01462	0,260	0,000	1,901	-0,372
0,25	1,149	-0,00590	0,0140	0,966	0,01459	0,027	0,000	1,814	-0,360
0,30	1,163	-0,00520	0,0150	0,934	0,01458	0,259	0,000	2,181	-0,450
0,40	1,2	-0,00422	0,0100	0,959	0,01257	0,248	-0,041	2,432	-0,506
0,50	1,25	-0,00338	0,0060	1,008	0,01114	0,247	-0,053	2,629	-0,554
0,60	1,293	-0,00282	0,0030	1,088	0,01019	0,233	-0,103	2,702	-0,575
0,70	1,336	-0,00258	0,0025	1,084	0,00979	0,220	-0,146	2,654	-0,572
0,80	1,386	-0,00242	0,0022	1,088	0,00944	0,232	-0,164	2,480	-0,540
0,90	1,433	-0,00232	0,0020	1,109	0,00972	0,220	-0,206	2,332	-0,522
1,00	1,479	-0,00220	0,0020	1,115	0,01005	0,211	-0,239	2,233	-0,509
1,25	1,551	-0,00207	0,0020	1,083	0,01003	0,251	-0,256	2,029	-0,469
1,50	1,621	-0,00224	0,0020	1,091	0,00928	0,248	-0,306	1,589	-0,379
2,00	1,694	-0,00201	0,0025	1,055	0,00833	0,263	-0,320	0,966	-0,248
2,50	1,748	-0,00187	0,0028	1,052	0,00776	0,262	-0,337	0,789	-0,221
3,00	1,759	-0,00147	0,0032	1,025	0,00644	0,307	-0,331	1,037	-0,263
4,00	1,826	-0,00195	0,0040	1,044	0,00590	0,353	-0,390	0,561	-0,169
5,00	1,825	-0,00237	0,0050	1,065	0,00510	0,248	-0,498	0,225	-0,120

Fuente: Zhao (2006)

C2. Coeficientes para la condición de la clase de sitio correspondientes al modelo de Zhao (2006)

Periodo T(s)	CH	C1	C2	C3	C4
0,00	0,239	1,111	1,344	1,355	1,420
0,05	0,939	1,684	1,793	1,747	1,814
0,10	1,499	2,061	2,135	2,031	2,082
0,15	1,462	1,916	2,168	2,052	2,113
0,20	1,280	1,669	2,085	2,001	2,030
0,25	1,121	1,468	1,942	1,941	1,937
0,30	0,852	1,172	1,683	1,808	1,770
0,40	0,365	0,655	1,127	1,482	1,397
0,50	-0,207	0,071	0,515	0,934	0,955
0,60	-0,705	-0,429	-0,003	0,394	0,559
0,70	-1,144	-0,866	-0,449	-0,111	0,188
0,80	-1,609	-1,325	-0,928	-0,620	-0,246
0,90	-2,023	-1,732	-1,349	-1,066	-0,643
1,00	-2,451	-2,152	-1,776	-1,523	-1,084
1,25	-3,243	-2,923	-2,542	-2,327	-1,936
1,50	-3,888	-3,548	-3,169	-2,979	-2,661
2,00	-4,783	-4,410	-4,039	-3,871	-3,640
2,50	-5,444	-5,049	-4,698	-4,496	-4,341
3,00	-5,839	-5,431	-5,089	-4,893	-4,758
4,00	-6,598	-6,181	-5,882	-5,698	-5,588
5,00	-6,752	-6,347	-6,051	-5,873	-5,798

Fuente: Zhao (2006)

Anexos D

D1. Coeficientes escalares de la distancia ($M_{ref} = 4.5$ y $R_{ref} = 1.0$ km para todos los periodos, excepto $R_{ref} = 5.0$ km para pga4nl)

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

Fuente: Boore y Atkinson (2008)

D2. Coeficientes escalares de Magnitud

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

Fuente: Boore y Atkinson (2008)

D3. Coeficientes de amplificación de sitio en función al periodo

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

Fuente: Boore y Atkinson (2008)

Anexos E

E1. Coeficientes de la ecuación para predecir la aceleración pseudo-espectral

Periodo T(s)	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10
0	1,0416	0,9133	-0,0814	-2,9273	0,2812	7,8664	0,0875	0,0153	-0,0419	0,0802
0,05	2,1153	0,7257	-0,0735	-3,332	0,3353	7,7473	0,0471	-0,0243	-0,0426	0,0865
0,1	2,1199	0,7518	-0,0745	-3,1054	0,3025	8,2141	0,0267	-0,0006	-0,0491	0,0791
0,15	1,6449	0,8368	-0,0754	-2,7585	0,2549	8,3179	0,0258	0,017	-0,0418	0,0784
0,2	0,9207	0,9682	-0,079	-2,4926	0,2179	8,2191	0,0656	0,0211	-0,021	0,0844
0,25	0,1398	1,1307	-0,0876	-2,3382	0,2009	7,2069	0,0981	0,0392	-0,0485	0,0858
0,3	-0,8401	1,3744	-0,1035	-2,1912	0,1814	6,543	0,1285	0,0434	-0,0555	0,0922
0,35	-1,3221	1,4706	-0,1087	-2,1299	0,1749	6,2475	0,1621	0,067	-0,0472	0,09
0,4	-1,7032	1,5593	-0,1139	-2,1272	0,1714	6,5717	0,2122	0,092	-0,0515	0,099
0,45	-1,972	1,6165	-0,1174	-2,1662	0,177	6,7808	0,2412	0,1168	-0,052	0,0994
0,5	-2,7693	1,8327	-0,132	-2,1297	0,1688	7,1742	0,2594	0,1356	-0,0428	0,0858
0,55	-3,5167	2,0252	-0,145	-2,0421	0,1562	6,7617	0,265	0,1445	-0,0426	0,0695
0,6	-3,9276	2,0847	-0,1465	-1,8814	0,1362	6,101	0,2772	0,1516	-0,0385	0,0593
0,65	-4,4949	2,2115	-0,1552	-1,7903	0,1292	5,1914	0,2857	0,1524	-0,0342	0,0511
0,7	-4,6293	2,2176	-0,1549	-1,798	0,135	4,4632	0,3035	0,1565	-0,0415	0,0466
0,75	-4,9505	2,2914	-0,1598	-1,8132	0,1392	4,2795	0,3152	0,1633	-0,0405	0,0425
0,8	-5,3286	2,3839	-0,1657	-1,7727	0,1327	4,3701	0,3215	0,1737	-0,0395	0,0337
0,85	-5,758	2,5064	-0,1748	-1,7707	0,131	4,6219	0,3352	0,1848	-0,0379	0,0287
0,9	-5,8269	2,5029	-0,1737	-1,763	0,1306	4,6539	0,3485	0,1906	-0,0288	0,0248
0,95	-5,9059	2,5141	-0,1742	-1,7985	0,1354	4,8454	0,3592	0,1941	-0,0221	0,025
1	-6,1707	2,5856	-0,1794	-1,8072	0,136	4,976	0,3662	0,1952	-0,0227	0,0212
1,05	-6,6034	2,6958	-0,1865	-1,7384	0,1249	5,0449	0,3728	0,1946	-0,0261	0,0112
1,1	-6,9038	2,7704	-0,1917	-1,7111	0,1223	5,0098	0,3776	0,1942	-0,0266	0,0014
1,15	-6,9618	2,7586	-0,1889	-1,6659	0,1145	5,089	0,3815	0,194	-0,0209	0,0015
1,2	-6,9924	2,7343	-0,1849	-1,5912	0,1027	5,0327	0,3812	0,1931	-0,0162	0,0041
1,25	-6,7461	2,6238	-0,1739	-1,5289	0,0913	5,0835	0,3878	0,1939	-0,0183	0,0041
1,3	-6,5172	2,5187	-0,1633	-1,4653	0,0801	5,1442	0,3886	0,1927	-0,019	-0,0037
1,35	-6,5582	2,5224	-0,1631	-1,4822	0,0817	5,2901	0,3868	0,1908	-0,0184	-0,009
1,4	-6,6195	2,5261	-0,1627	-1,4826	0,0821	5,3349	0,3863	0,1929	-0,0161	-0,0088
1,45	-6,6274	2,4986	-0,1591	-1,4331	0,0758	5,1941	0,3829	0,1916	-0,0129	-0,0056

1,5	-6,7179	2,4949	-0,1569	-1,353	0,0638	5,1575	0,3787	0,1881	-0,0121	-0,0022
1,55	-6,8078	2,5029	-0,1563	-1,3123	0,057	5,2744	0,3727	0,1857	-0,0085	-0,0005
1,6	-6,8363	2,5101	-0,1568	-1,3326	0,0587	5,5454	0,3695	0,1815	-0,0053	-6E-05
1,65	-6,8868	2,5405	-0,16	-1,4093	0,0686	5,9383	0,3653	0,1762	-0,0085	-0,003
1,7	-6,946	2,5715	-0,1629	-1,4768	0,0767	6,366	0,3594	0,173	-0,012	-0,0074
1,75	-7,0917	2,6294	-0,1679	-1,5404	0,0843	6,8229	0,3528	0,1695	-0,0139	-0,0139
1,8	-7,2282	2,6682	-0,1706	-1,5427	0,0833	7,116	0,3478	0,1674	-0,014	-0,0149
1,85	-7,2977	2,6757	-0,17	-1,5094	0,0766	7,3193	0,3456	0,1673	-0,0153	-0,0119
1,9	-7,3552	2,6775	-0,1693	-1,4699	0,0707	7,2599	0,3414	0,1633	-0,0156	-0,007
1,95	-7,4072	2,6821	-0,1691	-1,4382	0,0653	7,2534	0,3372	0,1617	-0,0185	-0,0035
2	-7,504	2,71	-0,1713	-1,444	0,066	7,2606	0,333	0,1584	-0,0226	-0,0049
2,05	-7,556	2,7274	-0,1729	-1,4579	0,0677	7,4032	0,3301	0,155	-0,0263	-0,0073
2,1	-7,5346	2,7171	-0,1722	-1,4666	0,0694	7,4617	0,3265	0,1534	-0,0292	-0,0087
2,15	-7,5081	2,7104	-0,1721	-1,4968	0,0743	7,5127	0,3244	0,1526	-0,0348	-0,0123
2,2	-8,0917	2,9116	-0,1892	-1,5564	0,0843	7,7706	0,3135	0,1443	-0,0399	-0,0193
2,25	-8,1106	2,9209	-0,1904	-1,5954	0,0905	7,877	0,31	0,1443	-0,0416	-0,0232
2,3	-8,1627	2,9333	-0,1916	-1,6046	0,0928	7,9175	0,3083	0,1441	-0,0424	-0,0263
2,35	-7,947	2,8533	-0,1854	-1,5743	0,0908	7,6196	0,3207	0,1432	-0,0496	-0,0234
2,4	-7,9668	2,8536	-0,1856	-1,5783	0,0929	7,5964	0,318	0,143	-0,0491	-0,0257
2,45	-7,9788	2,849	-0,1853	-1,5773	0,0943	7,5034	0,314	0,1432	-0,0481	-0,0264
2,5	-7,884	2,8182	-0,1832	-1,6038	0,0989	7,5395	0,311	0,1433	-0,0471	-0,0277
2,55	-7,681	2,7572	-0,1791	-1,6521	0,1068	7,6189	0,3088	0,1434	-0,0461	-0,0282
2,6	-7,7257	2,8204	-0,1872	-1,8878	0,1405	8,1225	0,3112	0,1426	-0,0511	-0,0297
2,65	-7,5329	2,7482	-0,1814	-1,8953	0,1436	7,9224	0,3094	0,1422	-0,0502	-0,0293
2,7	-7,4159	2,6901	-0,1763	-1,8704	0,1428	7,5	0,3069	0,1407	-0,0489	-0,0296
2,75	-7,3454	2,6535	-0,1731	-1,8608	0,1434	7,2667	0,3064	0,1405	-0,0474	-0,0292
2,8	-7,2456	2,6103	-0,1695	-1,8561	0,1444	7,1186	0,3053	0,1392	-0,0473	-0,0275
2,85	-7,0711	2,5612	-0,1662	-1,9042	0,1513	7,3628	0,3051	0,1393	-0,0452	-0,0278
2,9	-6,9933	2,527	-0,163	-1,897	0,1504	7,4504	0,3036	0,1378	-0,042	-0,0262
2,95	-6,9567	2,5101	-0,1614	-1,9013	0,1508	7,6023	0,2999	0,1358	-0,0386	-0,0249
3	-6,9292	2,459	-0,1551	-1,768	0,1331	7,2195	0,2977	0,132	-0,0386	-0,0247

Fuente: Akkar y Bommer (2010)

Anexos F

F1. Coeficientes de regresión para el modelo de Kanno para un evento superficial y espectro de respuesta de aceleración atenuado 5%

PERIODO	a1	b1	c1	d1	ε1
0	0,56	-0,0031	0,26	0,0055	0,37
0,05	0,54	-0,0035	0,48	0,0061	0,37
0,06	0,54	-0,0037	0,57	0,0065	0,38
0,07	0,53	-0,0039	0,67	0,0066	0,38
0,08	0,52	-0,004	0,75	0,0069	0,39
0,09	0,52	-0,0041	0,8	0,0071	0,4
0,1	0,52	-0,0041	0,85	0,0073	0,4
0,11	0,5	-0,004	0,96	0,0061	0,4
0,12	0,51	-0,004	0,93	0,0062	0,4
0,13	0,51	-0,0039	0,91	0,0062	0,4
0,15	0,52	-0,0038	0,89	0,006	0,41
0,17	0,53	-0,0037	0,84	0,0056	0,41
0,2	0,54	-0,0034	0,76	0,0053	0,4
0,22	0,54	-0,0032	0,73	0,0048	0,4
0,25	0,54	-0,0029	0,66	0,0044	0,4
0,3	0,56	-0,0026	0,51	0,0039	0,39
0,35	0,56	-0,0024	0,42	0,0036	0,4
0,4	0,58	-0,0021	0,26	0,0033	0,4
0,45	0,59	-0,0019	0,13	0,003	0,41
0,5	0,59	-0,0016	0,04	0,0022	0,41
0,6	0,62	-0,0014	-0,22	0,0025	0,41
0,7	0,63	-0,0012	-0,37	0,0022	0,41
0,8	0,65	-0,0011	-0,54	0,002	0,41
0,9	0,68	-0,0009	-0,8	0,0019	0,41
1	0,71	-0,0009	-1,04	0,0021	0,41
1,1	0,72	-0,0007	-1,19	0,0018	0,41
1,2	0,73	-0,0006	-1,32	0,0014	0,41
1,3	0,74	-0,0006	-1,44	0,0014	0,41

1,5	0,77	-0,0005	-1,7	0,0017	0,4
1,7	0,79	-0,0005	-1,89	0,0019	0,39
2	0,8	-0,0004	-2,08	0,002	0,39
2,2	0,82	-0,0004	-2,24	0,0022	0,38
2,5	0,84	-0,0003	-2,46	0,0023	0,38
3	0,86	-0,0002	-2,72	0,0021	0,38
3,5	0,9	-0,0003	-2,99	0,0032	0,37
4	0,92	-0,0005	-3,21	0,0045	0,38
4,5	0,94	-0,0007	-3,39	0,0064	0,38
5	0,92	-0,0004	-3,35	0,003	0,38

Fuente: Kanno (2006)