



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

TEMA

**“ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA EL SECTOR DE
CELIANO MONGE DEL CANTÓN AMBATO”**

AUTOR: Karina Elizabeth Freire Rodríguez

TUTOR: Ing. Jorge Cevallos

AMBATO – ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Jorge Cevallos, certifico que el presente trabajo bajo el tema: **“ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA EL SECTOR DE CELIANO MONGE DEL CANTÓN AMBATO”**, es de autoría de la Señorita. Karina Elizabeth Freire Rodríguez, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Abril del 2018.

Ing. Jorge Cevallos

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Karina Elizabeth Freire Rodríguez con C.I: 160054009-8, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: **“ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA EL SECTOR DE CELIANO MONGE DEL CANTÓN AMBATO”**, es de mi completa autoría.

Ambato, Abril del 2018

Karina Elizabeth Freire Rodríguez

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, Abril del 2018

Autor

Karina Elizabeth Freire Rodríguez
160054009-8

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema:
**“ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA EL SECTOR DE
CELIANO MONGE DEL CANTÓN AMBATO”** de la egresada Karina Elizabeth Freire
Rodríguez, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, enero del 2017

Para constancia firman.

Ing. Mg. Carlos Navarro

Ing. Mg. Diego Chérrez

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico con todo mi amor:

A **DIOS** quien inspiro mi espíritu para la realización de este estudio, por darme salud y bendición para alcanzar mis metas como persona y como profesional.

A **MI MADRE** Emma por ser la madre más valiente y decidida del mundo, invencible ante la vida y luchadora por sus hijos. A tí, por hacerme crecer, por defenderme, por darme tu apoyo siempre y tu amor infinito.

A **MI HERMANO** Darwin por su apoyo, confianza y amor.

A **MI ESPOSO** Daniel y **MI HIJO** Rashad quienes con su amor, su cariño, su estímulo y su apoyo constante se convirtieron en mi razón de ser y el motivo para luchar por mi meta, y salir adelante juntos con la bendición de Dios.

A **MI ABUELITA** Anita quien ha estado a mi lado siempre brindándome su apoyo incondicional.

A **MIS SUEGROS** Noé y Nelly que han estado cerca apoyándome en el transcurso de este proyecto.

“PORQUE LO MAS VALIOSO NO ES LO QUE TENGO SINO A QUIENES TENGO EN MI VIDA”

LOS AMO

KARY

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS, por guiarme por el camino correcto, porque nunca me ha abandonado, gracias por haberme dado una excelente familia, por permitirme conocer excelentes profesores y amigos y porque ha llenado mi corazón con la luz de su espíritu dejando que cumpla esta meta.

A MI MADRE por querer lo mejor para mí, en todo momento, por su esfuerzo de lucha y trabajo, para que yo pueda terminar mi carrera.

A la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por los conocimientos recibidos, a los señores Profesores por haber compartido su saber.

Al tutor de esta investigación el Ing. Jorge Cevallos, por su valioso aporte de conocimientos y tiempo dedicado al desarrollo de esta investigación.

MUCHAS GRACIAS!!

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XVIII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XXII
ABSTRACT.....	XXIII
CAPÍTULO I.....	1
1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2. ANTECEDENTES.....	1
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO II.....	4
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1.1. Estructura Interna de la tierra.....	4
2.1.2. Deriva continental y tectónica de placas.....	5
2.1.3 Placas tectónicas.....	6

2.1.4. Tipos de límites en las placas	8
2.1.5 Fallas	11
2.1.5.1. Geometría de fallas.....	12
2.1.5.2 Tipos de falla	12
2.1.6. Ondas sísmicas.....	15
2.1.6.1. Ondas de cuerpo.....	16
2.1.6.1.1. Ondas P.....	16
2.1.6.1.2. Ondas S.....	17
2.1.6.2. Ondas superficiales	19
2.1.6.2.1 Ondas Rayleigh.....	19
2.1.6.2.2 Ondas Love	20
2.1.7. Medida de los Sismos.....	20
2.1.8. Magnitud Sísmica	21
2.1.9. Magnitud de ondas superficiales (Ms)	22
2.1.10. Energía sísmica	22
2.1.11. Otras fuentes de actividad sísmica	24
2.1.11.1. Actividad Volcánica.....	24
2.1.12. Sismos Artificiales	24
2.1.13. Ruido Sísmico.....	24
2.13.1. Análisis Determinístico del Peligro Sísmico	25
2.13.2. Análisis Probabilístico del Peligro Sísmico.....	26
2.14. Antecedentes Históricos del sismo en Ecuador	26
2.15. Gestión de Riesgos en el Ecuador.....	30
2.2. HIPÓTESIS	30

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	31
2.3.1 Variable dependiente.....	31
2.3.2 Variable Independiente.....	31
CAPÍTULO III	32
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	32
3.2. Población y muestra	33
3.2.1. Población:	33
3.2.2 Muestra.....	33
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	34
3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	36
3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	37
CAPÍTULO IV	38
4.1 RECOLECCION DE DATOS.....	38
4.1.1 Identificación Del Régimen Tectónico	38
4.1.2 Selección De Las Fallas Que Afectan El Lugar De Estudio	42
4.1.3 Identificación Y Caracterización De Las Fallas	44
4.1.4 Cálculo De La Magnitud De Momento (Mw)	44
4.1.5 Clasificación Del Tipo De Suelo	45
4.1.6 Determinación De La Velocidad De La Onda De Cortante (Vs)	59
4.1.7 Ecuaciones De Predicción De Movimiento Se Suelo GMPE´S.	62
4.1.7.1 Ecuaciones de Atenuación para Régimen Cortical	62
A) Modelo David M. Boore y Gail M. Atkinson (2008)	62
B) Modelo Sinan Akkar Y Julian Bonner (2010).....	69
C) Modelo Kanno Et Al (2006).....	70

4.1.7.2 Ecuaciones de Atenuación para Subducción	73
A) Modelo Youngs (1997)	73
B) Modelo Zhao (2006)	75
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	77
4.2.1 Espectros Para Fallas Corticales	77
A) Espectros Calculados con el Modelo de Akkar-Bommer	77
B) Espectros Calculados con el Modelo de Kanno	78
C) Espectros Calculados con el Modelo de Boore y Atkinson	79
D) Espectros Calculados con el Modelo de Youngs	80
E) Espectros Calculados con el Modelo de Zhao.....	81
4.2.2 Espectros Con Modelos Para Una Falla.....	81
4.2.3 Contraste De Los Espectros Calculados Con El Espectro NEC-2015.....	84
4.2.4 Espectros Con Todos Los Modelos y NEC-2015	88
4.2.5 Espectro Determinista A Partir De Una Envolvente De Aceleraciones Críticas.....	89
4.2.6 EVALUACION ESTRUCTURAL.....	91
4.2.6.1 Evaluación de una Edificación de Un Nivel.....	91
A) Cálculo de la Aceleración Espectral	93
B) Cortante Basal Estática	94
C) Cálculo del Período Fundamental de la Estructura	96
D) Comprobación Del Período De Vibración de la Estructura.....	97
E) Períodos Limite De Vibración.....	99
F) Modos De Vibración De La Estructura	101
G) Modos Necesarios Para La Acumulación Del 90% De La Masa En Las Direcciones Principales	102

H) Cálculo de Derivas.....	103
I) Análisis Dinámico para la Estructura Tipo (Un Piso)	110
4.2.6.2 Evaluación de una Edificación de Tres niveles	112
A) Cálculo de la Aceleración Espectral	114
B) Cortante Basal Estática	115
C) Cálculo del Período Fundamental de la Estructura	116
D) Comprobación Del Período De Vibración de la Estructura.....	117
E) Períodos Limite De Vibración.....	118
F) Modos De Vibración De La Estructura Tipo de Tres Pisos.....	119
G) Modos Necesarios Para La Acumulación Del 90% De La Masa En Las Direcciones Principales	119
H) Cálculo de Derivas.....	121
I) Análisis Dinámico	127
4.2.6.3 Evaluación de la Edificación de Tres Niveles (Sótano).....	129
A) Cálculo de la Aceleración Espectral	132
B) Cortante Basal Estática	133
C) Cálculo del Período Fundamental de la Estructura.....	135
D) Comprobación Del Período De Vibración de la Estructura.....	135
E) Períodos Limite De Vibración.....	136
F) Modos De Vibración De La Estructura	137
G) Modos Necesarios Para La Acumulación Del 90% De La Masa En Las Direcciones Principales	138
H) Cálculo de Derivas.....	140
I) Análisis Dinámico	146
4.9 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	148

CAPÍTULO V	149
5.1 CONCLUSIONES	149
5.2 RECOMENDACIONES	150
BIBLIOGRAFÍA	151
ANEXOS.....	154
A. Fotografías.....	154
B. TABLAS	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Correlaciones para el cálculo Mw de Wells y Coppersmith	23
Tabla N° 2: Operacionalización de las variables.....	34
Tabla N° 3: Plan de recolección de información.....	36
Tabla N° 4: Identificación de los Sismos sentidos en el sector, ordenados cronológicamente y con su respectiva escala.	40
Tabla N° 5. Fallas Geológicas con su respectiva Longitud, Tipo y Distancia al Área de Estudio.....	44
Tabla N° 6. Fallas Geológicas con Magnitud de Momento	44
Tabla N° 7: Procedimiento para realizar el ensayo de SPT	46
Tabla N° 8: Ensayo de Penetración Estándar – Laboratorio FICM P1	47
Tabla N° 9: Ensayo de Penetración Estándar – Laboratorio FICM P2	48
Tabla N° 10: Ensayo de Penetración Estándar – Laboratorio FICM P3	49
Tabla N° 11: Ensayo de Penetración Estándar – Laboratorio FICM P4	50
Tabla N° 12: Ensayo de Penetración Estándar – Laboratorio FICM P5	51
Tabla N° 13 Clasificación Tipos de suelo SUCS	52
Tabla N° 14: Clasificación del Suelo P1	53
Tabla N° 15: Clasificación del Suelo P2	54
Tabla N° 16: Clasificación del Suelo P3	55
Tabla N° 17: Clasificación del Suelo P4	56
Tabla N° 18: Clasificación del Suelo P5	57
Tabla N° 19: Calculo de la Velocidad Cortante Vs.....	60
Tabla N° 20. Clasificación de los Perfiles del Suelo NEC-2015	60
Tabla N° 21 Espectro Critico	89
Tabla N° 24 Características de la Estructura de Un Nivel.....	91
Tabla N° 25 Parámetros para el cálculo del período de vibración por el Método 1.....	98
Tabla N° 26 Valores del factor Z y Coeficientes de.....	99
Tabla N° 27 Síntesis de datos obtenidos T_0 , T_c , T_1 y T_a calculado por medio del análisis modal para la estructura uno	100

Tabla N° 28. Valores Obtenidos en Etabs 2016 de la Estructura de un Piso - Participación Modal de la Masa	101
Tabla N° 29. Verificación de los Modos de Vibración – Estructura de un Piso	101
Tabla N° 30. Modos obligatorios para la acumulación del 90% de la masa	102
Tabla N° 31. Modos utilizados para la acumulación del 90% de la masa	102
Tabla N° 32. Valores obtenidos en Etabs-2016, periodos, modales y frecuencias	103
Tabla N° 33. Periodos obtenidos para de la Estructura de un Piso	103
Tabla N° 34. Factor de reducción de resistencia	104
Tabla N° 35. Valores obtenidos de las Derivas elásticas estáticas en X y Y	109
Tabla N° 36. Tabla Resumen de las Derivas elásticas estáticas.....	109
Tabla N° 37. Tabla de Derivas Máximas elásticas e inelásticas estáticas para la estructura de Un piso con los dos espectros.....	109
Tabla N° 38. Valores Cortante Estático y Cortante Dinámico del Espectro NEC-2015 para el sentido X y Y.....	111
Tabla N° 39. Valores Cortante Estático y Cortante Dinámico del Espectro Determinista para el sentido X y Y.....	111
Tabla N° 40. Relación del cortante Dinámico y Estático del espectro NEC-2015 y el Determinista para la validación de Análisis Dinámico	112
Tabla N° 41 Características de la Estructura de Tres Niveles	112
Tabla N° 42 Parámetros para el cálculo del período de vibración por el Método 1.....	117
Tabla N° 43 Resumen de datos obtenidos T_o , T_c , T_1 y T_a calculado por medio del análisis modal	118
Tabla N° 44. Valores Obtenidos en Etabs 2016 - Estructura de Tres Piso Participación Modal de la Masa	119
Tabla N° 45. Verificación de los Modos de Vibración – Estructura de Tres Pisos	119
Tabla N° 46. Modos obligatorios para la acumulación del 90% de la masa	119
Tabla N° 47. Modos utilizados para la acumulación del 90% de la masa	120
Tabla N° 48. Valores obtenidos en Etabs-2016, periodos, modales y frecuencias	120
Tabla N° 49. Periodos obtenidos para de la Estructura Tres Pisos	120
Tabla N° 50. Factor de reducción de resistencia	121

Tabla N° 51. Valores obtenidos de las Derivas Elásticas Estáticas en X y Y	126
Tabla N° 52. Tabla Resumen de las Derivas Elásticas Estáticas	126
Tabla N° 53. Derivas de piso elásticas e inelásticas estáticas	127
Tabla N° 54. Valores Cortante Estático y Cortante Dinámico del Espectro NEC-2015 para el sentido X y Y. Estructura de Tres Pisos	128
Tabla N° 55. Valores Cortante Estático y Cortante Dinámico del Espectro Determinista para el sentido X y Y. Estructura de Tres Pisos.....	128
Tabla N° 56. Relación del cortante Dinámico y Estático del espectro NEC-2015 y Determinista para la validación de análisis dinámico. Estructura de Tres Pisos	129
Tabla N° 57. Características de la Estructura de Tres Niveles	129
Tabla N° 57. Parámetros para el cálculo del período de vibración por el Método 1.....	135
Tabla N° 58. Resumen de datos obtenidos T_o , T_c , T_1 y T_a calculado por medio del análisis modal. Estructura de Tres Pisos (Sótano).....	136
Tabla N° 59. Valores Obtenidos en Etabs 2016 - Estructura de Tres Pisos (Sótano) Participación Modal de la Masa.....	137
Tabla N° 60. Verificación de los Modos de Vibración	137
Tabla N° 61. Modos obligatorios para la acumulación del 90% de la masa	138
Tabla N° 62. Modos utilizados para la acumulación del 90% de la masa	138
Tabla N° 63. Valores obtenidos en Etabs-2016, periodos, modales y frecuencias	139
Tabla N° 64. Periodos obtenidos - Estructura de Tres Pisos (Sótano)	139
Tabla N° 65. Factor de reducción de resistencia	140
Tabla N° 66. Valores obtenidos de Derivas Máximas elásticas estáticas en X y Y.....	141
Tabla N° 67. Resumen de Derivas Máximas elásticas estáticas en X y Y	145
Tabla N° 68. Comprobación de Derivas elásticas e inelásticas estáticas para la Estructura de Tres Pisos (Sótano) - Espectro NEC-2015, Espectro Determinista.....	145
Tabla N° 69. Valores Cortante Estático y Cortante Dinámico del Espectro NEC-2015 Sentido X y Y. Estructura de Tres Pisos (Sótano).....	146
Tabla N° 70. Valores Cortante Estático y Cortante Dinámico del Espectro Determinista Sentido X y Y. Estructura de Tres Pisos (Sótano).....	147

Tabla N° 71. Relación del cortante Dinámico y Estático del espectro NEC-2015 y
Determinista para la validación de análisis dinámico. Estructura de Tres Pisos (Sótano). 147

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Estructura Interna de la Tierra.....	5
Gráfico N° 2. Pangea.....	6
Gráfico N° 3. Placas litosféricas y límites de placas. Se muestra las Placas Principales: Africana, Euroasiática, Australiana, Norteamericana, Sudamericana, Pacífica y Antártica. Microplacas: Cocos, Nazca, Caribe, Filipinas, Arábica, Somalia, Juan de Fuca	7
Gráfico N° 4. Límites divergentes	8
Gráfico N° 5. Placa de convergencia continental - continental	9
Gráfico N° 6. Placa de convergencia oceánica - continental.....	10
Gráfico N° 7. Placa de convergencia oceánica – oceánica.....	10
Gráfico N° 8. Límites de transformación	11
Gráfico N° 9. Falla de San Andrés.....	12
Gráfico N° 10. Falla Inversa.....	13
Gráfico N° 11. Falla Normal.....	14
Gráfico N° 12. Falla de transformación	15
Gráfico N° 13. Ondas P.....	17
Gráfico N° 14. Ondas S.....	18
Gráfico N° 15. La Onda S y sus componentes SV y SH.....	19
Gráfico N° 16. Ondas Rayleigh	20
Gráfico 17. Ondas Love.....	20
Gráfico N° 18. Ruido sísmico.....	25
Gráfico N° 19. Contacto entre las Placas de Nazca y Sudamericana.....	27
Gráfico N° 20. Mapa isosista terremoto de Riobamba 1797	28
Gráfico N° 21. Sismos en Ecuador	29
Gráfico N° 22 Límites de placas propuesta por Ego et al. 95	39
Gráfico N° 23. Tipificación de Sismos generados en Ecuador con su referente año y magnitud.....	41
Gráfico N° 24. Falla de Subducción de tipo Inversa con una Longitud de 1.536,5 Km.....	42
Gráfico N° 25. Fallas Geológicas en Ambato	43

Gráfico N° 26. Fallas Geológicas que Afectan el Área de Estudio	43
Gráfico N° 27. Espectro de Aceleración para el Modelo Akkar-Bommer	77
Gráfico N° 28. Variación de Porcentajes del Modelo Akkar-Bommer con relación al Espectro NEC- 2015.....	78
Gráfico N° 29. Espectro de Aceleración para el Modelo de Kanno	78
Gráfico N° 30. Variación de Porcentajes del Modelo Kanno con relación al	79
Gráfico 31. Espectro de Aceleración para el Modelo Boore – Atkinson 2008	79
Gráfico N° 32. Variación de Porcentajes del Modelo Boore - Atkinson con relación al Espectro NEC- 2015.....	80
Gráfico N° 33. Espectro de Aceleración para el Modelo YOUNGS	80
Gráfico N° 34. Espectro de Aceleración para el Modelo Zhao	81
Gráfico N° 35. Espectros en Aceleración para la Falla de HUACHI con los Modelos de BOORE-ATKINSON, AKKAR-BOOMER, KANNO.....	82
Gráfico N° 36. Espectros en aceleración para la falla de Ambato con los modelos de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno.....	82
Gráfico N° 37. Espectros en Aceleración para la Falla de Totoras con los modelos de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno.....	83
Gráfico N° 38: Espectros en aceleración para la falla de Subducción con los modelos de Youngs Zhao.....	83
Gráfico N° 39. Espectros en aceleración para la falla de Huachi con los modelos de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno, NEC-2015	84
Gráfico N° 40. Visualización del espectro más crítico en relación a la NEC-2015 para la falla de Huachi con el modelo Akkar y Boomer.....	85
Gráfico N° 41. Espectros en aceleración para la falla de Ambato con los modelos de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno, NEC-2015	85
Gráfico N° 42. Visualización del espectro más crítico en relación a la NEC-2015 para la falla de Ambato con el modelo de Akkar y Boomer.....	86
Gráfico N° 43. Espectros en aceleración para la falla de Totoras con los modelos de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno, NEC-2015	86

Gráfico N° 44. Visualización del espectro más crítico en relación a la NEC-2015 para la falla de Totoras con el modelo de Akkar y Boomer.	87
Gráfico N° 45. Espectros en Aceleración para la falla de Subducción con los Modelos de Youngs, Zhao. NEC-2015	87
Gráfico N° 46. Visualización del espectro más crítico en relación a la NEC-2015 para la falla de Subducción con el Modelo de Young.	88
Gráfico N° 47. Espectro con todos los Modelos y NEC-2015	88
Gráfico N° 48. Espectro Crítico y NEC-2015.	90
Gráfico N° 49 Vista isométrica modelo 3d.....	92
Gráfico N° 50. Vista en planta Nv+ 2.60.....	92
Gráfico N° 51 Vista en Elevación Pórtico A	93
Gráfico N° 52 Aceleración Espectral para el análisis de la Estructura Un Piso	93
Gráfico N° 53 Coeficiente de Corte Basal Espectro NEC-2015.....	95
Gráfico N° 54 Coeficiente de Corte Basal Espectro Determinista.	96
Gráfico N° 55 Período Fundamental de la Estructura	97
Gráfico N° 56 Deriva elástica estática en el sentido X para la estructura de Un Piso Espectro NEC-2015.....	105
Gráfico N° 57 Deriva elástica estática en el sentido Y para la estructura de Un piso.....	106
Gráfico N° 58 Deriva elástica estática en el sentido X para la estructura de Un piso Espectro Determinista.....	107
Gráfico N° 59 Deriva elástica estática en el sentido Y para la estructura de Un piso Espectro Determinista.....	108
Gráfico 60 Vista isométrica modelo 3d.....	113
Gráfico N° 61 Vista en Planta Nv+5,58m	113
Gráfico N° 62 Vista en Elevación	114
Gráfico N° 63 Cálculo de la Aceleración Espectral	114
Gráfico N° 64 Coeficiente de Corte Basal Espectro NEC-2015.....	116
Gráfico N° 65 Coeficiente de Corte Basal Espectro Determinista.....	116
Gráfico N° 66 Cálculo del Período Fundamental de la Estructura.....	117
Gráfico N° 67 Deriva elástica estática en el sentido X.....	122

Gráfico N° 68 Deriva elástica estática en el sentido Y.....	123
Gráfico N° 69 Deriva elástica estática en el sentido X.....	124
Gráfico N° 70 Deriva elástica estática en el sentido Y.....	125
Gráfico N° 71 Vista isométrica modelo 3d.....	130
Gráfico N° 72 Vista planta Nv+ 0.20	130
Gráfico N° 73 Vista planta Nv+ 2.90	131
Gráfico N° 74 Vista planta Nv+ 5.60	131
Gráfico N° 75 Vista planta Nv+ 8.30	132
Gráfico N° 76 Aceleración Espectral	132
Gráfico N° 77 Coeficiente de Corte basal Espectro NEC-2015	134
Gráfico N° 78 Coeficiente de corte basal Espectro Determinista	134
Gráfico N° 79 Período Fundamental de la Estructura	135
Gráfico N° 80 Deriva Máxima elástica estática en el sentido X.....	141
Gráfico N° 81 Deriva Máxima elástica estática en el sentido Y	142
Gráfico N° 82 Deriva Máxima elástica estática en el sentido X.....	143
Gráfico N° 83 Deriva Máxima elástica estática en el sentido Y	144

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

**TEMA: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA EL
SECTOR DE CELIANO MONGE DEL CANTÓN AMBATO”**

Autor: Karina Elizabeth Freire Rodríguez

Tutor: Ing. Jorge Cevallos

RESUMEN EJECUTIVO

Para la realización del estudio fue necesario recurrir a diferentes métodos y técnicas de investigación, inicialmente para la etapa de recolección de información se la realizó a través de la evaluación de espectros de respuesta de los sistemas de fallas seleccionados con el espectro propuesto por la NEC-2015; la investigación descriptiva usada en la fase de medición de características y resultados, después de la experimentación; se usaron ensayos para determinar el tipo de suelo, utilizando el ensayo de penetración estándar SPT; la metodología recomendada por la NEC-2015 se basa en el experimentación con 5 perforaciones para el estudio de suelos, es así que se usaron los GMPE's: Akkar y Bommer (2010), Boore y Atkinson (2008), Kanno (2006), Youngs (1997) y Zhao (2006). Los resultados obtenidos fueron que según el modelo de Boore y Atkinson la falla de Ambato produce mayores aceleraciones, según el modelo de Akkar y Bommer las aceleraciones producidas por la liberación de energía de la falla de Ambato están por encima de las restantes, esta superioridad no es muy marcada como en el primer caso; el modelo de Kanno describe el ajuste casi perfecto que existen en las aceleraciones de la falla de Ambato y Totoras; el modelo de Youngs muestra que las aceleraciones para periodos cortos son bajas en comparación a las producidas por el régimen cortical y finalmente el modelo de Zhao las aceleraciones para períodos largos son superiores a las de las fallas corticales.

ABSTRACT

For the realization of the study it was necessary to resort to different research methods and techniques, initially for the information collection stage it was carried out through the evaluation of the response spectrum of the selected fault systems with the spectrum proposed by the NEC-2015; the descriptive research used in the phase of measurement of characteristics and results, after experimentation; tests were used to determine the type of soil, using the SPT standard penetration test; The methodology recommended by NEC-2015 is based on experimentation with 5 holes for the study of soils, so the GMPE's were used: Akkar and Bommer (2010), Boore and Atkinson (2008), Kanno (2006), Youngs (1997) and Zhao (2006). The results obtained were that according to the model of Boore and Atkinson the fault of Ambato produces greater accelerations, according to the model of Akkar and Bommer the accelerations produced by the energy release of the Ambato fault are above the rest, this superiority does not it is very marked as in the first case; the Kanno model describes the almost perfect fit that exists in the accelerations of the fault of Ambato and Totoras; Youngs's model shows that accelerations for short periods are low compared to those produced by the cortical regime and finally the Zhao model accelerations for long periods are superior to those of cortical failures.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA EL SECTOR DE CELIANO MONGE DEL CANTÓN AMBATO”

1.2. ANTECEDENTES

Según la Ing. Ana Bolaños “Los espectros de diseño basados en formas que se escalan con la aceleración pico del suelo conducen a una distribución no uniforme del peligro a lo largo del espectro y por tanto a un nivel de riesgo diferente entre edificaciones de distinta altura” [1]

Las aceleraciones obtenidas en roca presentan valores inferiores a los obtenidos en 1993 por Castillo y Alva hasta en 10%, salvo en la zona de Piura y Tumbes donde los valores son menores hasta en 30%. Se encontraron que los valores de amplificación espectral para 0,2 seg tienen diferencias pequeñas (3%) a lo largo del territorio, mientras que para 1,0 seg los valores aumentan de oeste a este de manera significativa (35% en Iquitos) [1] .

Según, Eduardo Aquiles “El trabajo de titulación propuesta tiene como objetivo la estimación del peligro sísmico en la zona cordillerana de Chile Central, comprendida entre las latitudes 34.5°S y 33°S y las longitudes 71°W y 69.5 °W, para así obtener una herramienta útil para el diseño de estructuras en el lugar. Para cumplir este objetivo se ha probado con dos métodos: uno determinístico consistente en estudiar la sismicidad cortical de la zona estimando fallas máximas en base a las fallas reportadas y la sismicidad asociada a ellas y otro probabilístico en base a catálogos telesísmicos que son analizados en el tiempo para esa zona, suponiendo que estos sismos siguen una distribución estadística en particular” [2]

Según, Cristian Ortiz “El Ecuador es un territorio sísmicamente activo que ha sido afectado por numerosos terremotos y en los últimos años los movimientos telúricos se ven incrementando en la declaración de los movimientos telúricos” [3]

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

1.3. JUSTIFICACIÓN

El hombre desde siempre ha convivido con la inquietud del fenómeno sísmico, y ha tratado, por tanto, de buscar causas a las que atribuir este movimiento inesperado del suelo, lo que ha llevado con el paso del tiempo y los avances tecnológicos a la aparición de la moderna Sismología, ciencia que trata de interpretar de forma científica este fenómeno. [4]

De este modo aparecen las diferentes terminologías y estudios que definen al Riesgo Sísmico como un hecho que depende directamente de la peligrosidad y vulnerabilidad del mismo, es decir, los elementos de una zona con cierta peligrosidad sísmica pueden verse afectados en menor o mayor medida dependiendo del grado de vulnerabilidad sísmica que tengan, ocasionando un cierto nivel de Riesgo Sísmico del lugar. [5]

En base a ello se conoce que el riesgo sísmico en el mundo se debe a la presencia del cinturón de fuego existente y a sus zonas de subducción lo cual provoca actividad sísmica y volcánica. Este se encuentra conformado por varios países en todo el mundo, dentro de los cuales está Ecuador; existe para ello entonces una normativa de construcción estandarizada para todos los países que formen parte o estén cerca del mencionado cinturón de fuego, debido a que corren peligro sísmico, lo que ha sido evidente cuando se han suscitado grandes sismos tales como, el terremoto de Estados Unidos en 1964 con 9,2 Mw., el de Indonesia en 2004 con 9,3 Mw., y finalmente el mayor terremoto registrado en el mundo y Latinoamérica el de Chile en el año 1960 con 9,5 Mw.

Ecuador forma parte de la zona de la Cordillera de los Andes, denominada también zona Volcánica de los Andes, la cual forma parte del cinturón de fuego mencionado con anterioridad, esto da al país características sísmicas muy altas, catalogándolo como una zona sísmica muy activa.

De acuerdo a ello y con efectos del presente estudio se puede definir a la ciudad de Ambato como una zona de alto riesgo sísmico debido a las fallas geológicas que abarca su área, dadas por la existencia de suelos vulnerables de acuerdo al Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional. Es de gran importancia realizar investigaciones de este ámbito en la ciudad por lo que se establece la presente propuesta a través de la que se determinará el tipo de suelo, la magnitud máxima del área de estudio de las fallas seleccionadas, y con ello se podrá definir acciones con el objetivo de la reducción del peligro sísmico de edificaciones y de esta manera obtener seguridad sísmica en el sector de Celiano Monge del Cantón Ambato.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Realizar el estudio de Peligro Sísmico Determinista para las estructuras del sector de Celiano Monge del cantón Ambato.

1.4.2. Objetivos específicos

- Elegir las fallas geológicas de mayor importancia que abarca el Régimen Tectónico en consecuencia con el área determinada de estudio.
- Mediante ecuaciones de atenuación determinar la aceleración probable del sitio en estudio.
- Analizar tres estructuras con el espectro encontrado.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. Estructura Interna de la tierra

La tierra está estructurada de manera esférica, y se encuentra alisada por los polos, tiene un diámetro Ecuatorial de 12740 km, y un diámetro polar de 12700 km. La masa es de 5973×10^{24} kg, la superficie se encuentra cubierta por agua. [1]

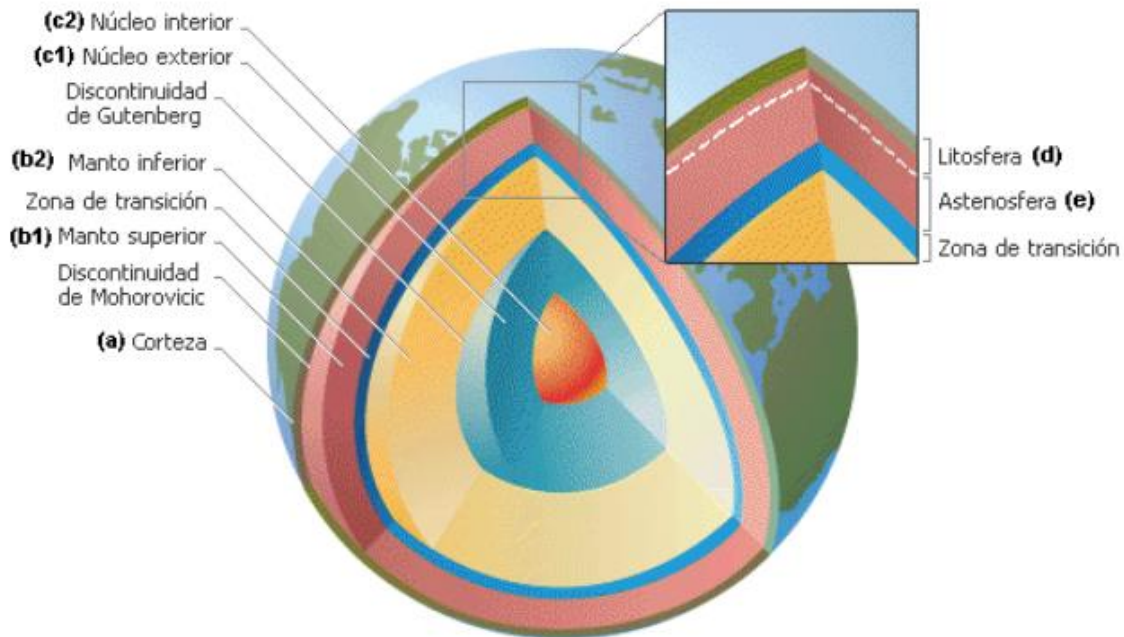
La tierra se encuentra constituida por tres capas concéntricas entre las cuales se encuentran: el núcleo, el manto, y la corteza. Cada una de las capas mencionadas tiene características físicas y también químicas. El núcleo de la tierra se encuentra conformado por ciertos metales como son el hierro y el níquel y así mismo se encuentra dividida en dos regiones estos son; el núcleo interno y el núcleo externo.

El núcleo interno es una esfera sólida de 2400 km de diámetro y es 16 veces más denso que el agua. El núcleo externo en cambio es líquido, capaz de fluir y genera el campo magnético de la tierra. [1]

En cuanto a la corteza entre sus características principales es una de las capas más delgadas y se encuentra dividida en la corteza oceánica se encuentra debajo de los océanos y su espesor es de 9 a 10km. En cambio las cortezas continentales tienen un espesor que varía entre 30 y 70 km se caracteriza por ser una de las más jóvenes.

La tierra se encuentra estructurada por núcleo y capas que determinan ciertas funciones, siendo una de las más grandes estructuras del planeta.

Gráfico N° 1. Estructura Interna de la Tierra



Fuente: Bolaños, A. & Monroy, O. (2004). Espectros del peligro sísmico uniforme [1]

2.1.2. Deriva continental y tectónica de placas

En el año de 1915 el Alemán Alfred Wegener realizó un trabajo titulado “la Teoría de la deriva de los continentes”, el autor sustentó que los continentes se encuentran en constantes movimientos y que hace más de 2000 millones de años solo existía un continente el mismo que fue denominado Pangea.

Este continente posteriormente se dividió en los continentes que hoy conocemos debido a la deriva o desplazamiento entre estos. La teoría de Wegener produjo una gran controversia y no fue aceptada debido a la idea estática que se tenía de la Tierra.

Los terremotos se encuentran relacionados de acuerdo a la estructura interna de nuestro planeta, La tectónica de placas constituye la litosfera y se encuentra dividida en varios segmentos de roca rígida, se denominan placas, y existen grandes placas tectónicas las mismas

que se encuentra flotando sobre el manto basáltico y este fenómeno es conocido como deriva continental debido al ciclo de construcción y destrucción. [6]

Gráfico N° 2. Pangea

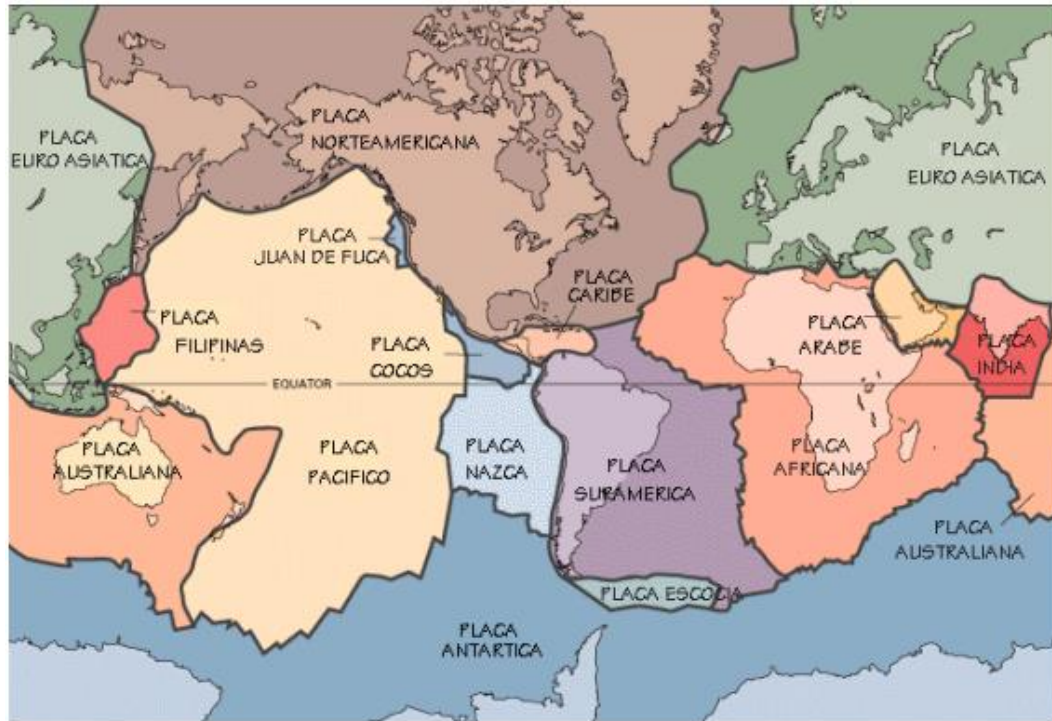


Fuente: Bolaños, A. & Monroy, O. (2004). Espectros del peligro sísmico uniforme [1]

2.1.3 Placas tectónicas

La litósfera está dividida en seis placas continentales (Americana, Africana, Antártica, India-Australiana, Euroasiática y Pacífica) y alrededor de 14 placas subcontinentales (Nazca, Sudamericana, Cocos, etc.). Cada placa se desplaza horizontalmente con respecto a las placas adyacentes. La deformación relativa entre las placas ocurre únicamente en zonas cercanas a los bordes y puede ser lenta y continua (deformación asísmica) o puede ser esporádica en forma de sismos (deformación sísmica).

Gráfico N° 3. Placas litosféricas y límites de placas. Se muestra las Placas Principales: Africana, Euroasiática, Australiana, Norteamericana, Sudamericana, Pacífica y Antártica. Microplacas: Cocos, Nazca, Caribe, Filipinas, Arábica, Somalia, Juan de Fuca



Fuente: Kious, J. & Tillin, R (2014). Earth: The story of plate tectonics [7]

En el gráfico 3 denominado distribución de las placas tectónicas en la tierra se observan que las principales placas de y mayor tamaño son la Norteamericana, Sudamericana, la del Pacífico, Africana, Euroasiática, Australiana y Antártica; mientras que las placas de menor tamaño son la Caribeña, la de Cocos, la de Nazca, la Filipina, la Arábica, Escocia y Juan de Fuca. Así también en el gráfico se logra visualizar que Centroamérica se encuentra ubicado sobre la placa caribeña, por lo que la subducción¹ de la placa Cocos es causante de la actividad sísmica y volcánica de estos países.

¹ Proceso por el que una placa litosférica oceánica se hunde bajo otra placa, ya sea oceánica o continental

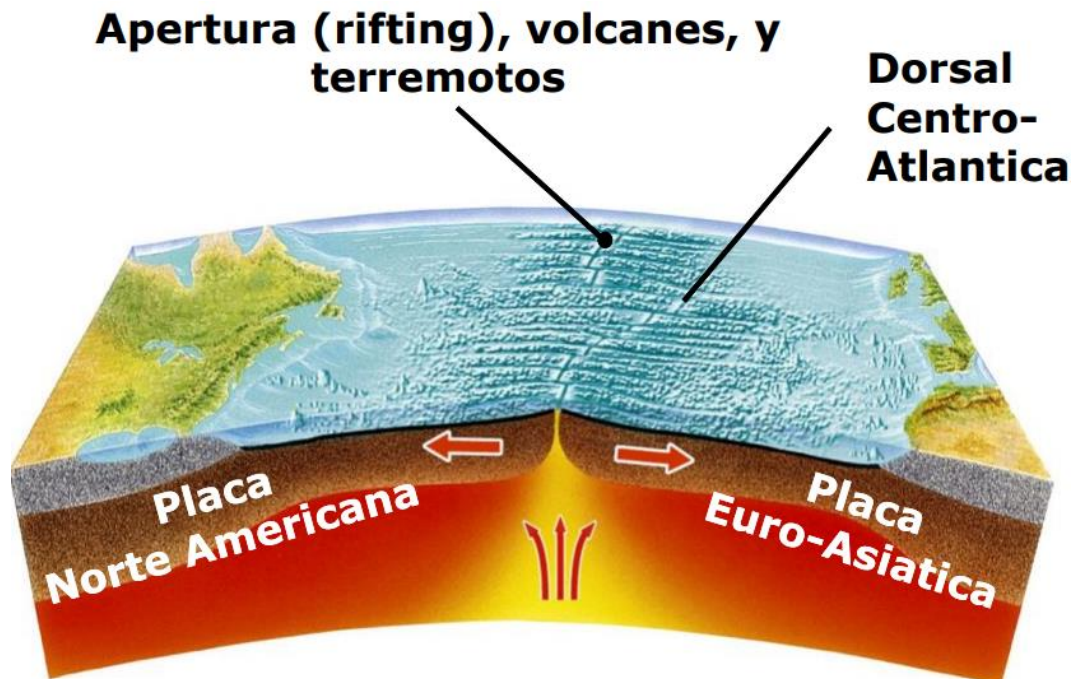
2.1.4. Tipos de límites en las placas

Existen tres tipos de límites de placa: divergente, convergente y de transformación. La comprensión del movimiento asociado con cada una ayudará en el entendimiento de la tectónica de placas.

Límites divergentes: Son también llamados bordes constructivos o márgenes de extensión, se caracterizan por el desplazamiento de las placas en direcciones opuestas unas con respecto a otras. Los bordes divergentes se localizan en los fondos oceánicos y en la superficie de los continentes y dan lugar a unas estructuras muy características llamadas dorsales oceánicas (como la Cordillera Centro-Atlántica) y fosas tectónicas. [5]

Las márgenes de subducción se encuentran generalmente cercanas a los límites de los continentes en los que la placa oceánica, generalmente fría y densa, se hunde debajo de la placa continental. Cuando la tasa de convergencia entre las placas es alta, en el borde entre éstas se forma una fosa en donde se produce gran cantidad de sismos.

Gráfico N° 4. Límites divergentes



Fuente: Caballero, C. (2016). Tectónica de placas ¿Cómo funcionan? [6]

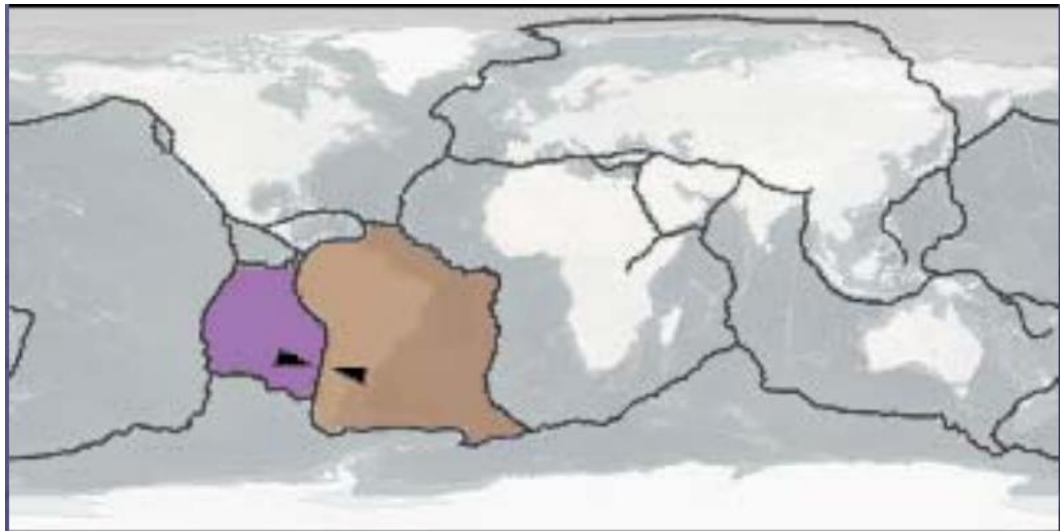
Límites Convergentes: están enfocadas de acuerdo al tamaño de la tierra cuando permanece constante, La formación de diferentes placas en la cordillera oceánica debe mantenerse equilibrada esto debido a que en otras ubicaciones se da el consumo de placas. La destrucción de placas se da en los bordes que se lo conoce como márgenes de subducción en donde las placas chocan y pasan debajo de otra.

A medida que la placa se hunde cada vez más, ésta se calienta haciéndose más dúctil e incapaz de producir sismos. En las zonas más profundas parte de la placa se derrite y produce magma que puede llegar a la superficie y formar líneas de volcanes casi paralelos a la zona de subducción.

Se puede distinguir tres tipos de convergencia de placas:

- Continental - Continental (Placa de la India y Euroasia),

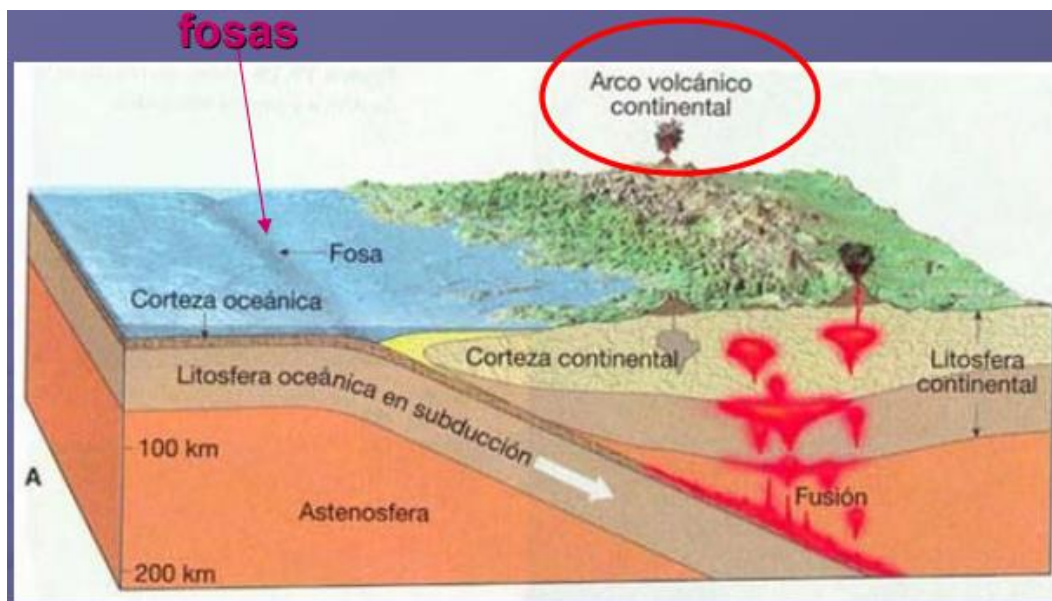
Gráfico N° 5. Placa de convergencia continental - continental



Fuente: Caballero, C. (2016). Tectónica de placas ¿Cómo funcionan? [6]

- Oceánica - Continental (Placa de Nazca y Sudamérica). Se forma el arco volcánico en la corteza continental

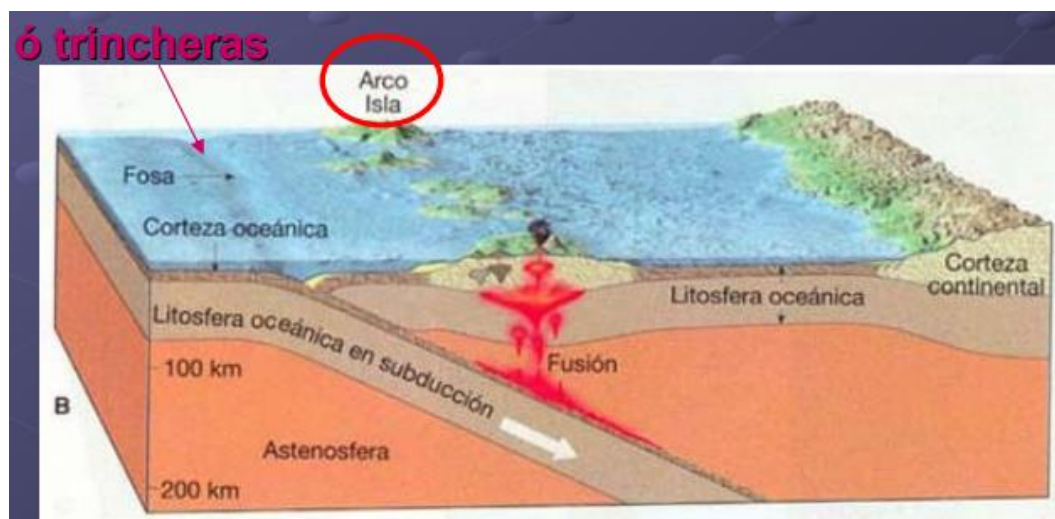
Gráfico N° 6. Placa de convergencia oceánica - continental



Fuente: Caballero, C. (2016). Tectónica de placas ¿Cómo funcionan? [6]

- Oceánica - Oceánica (Placa de Nueva Guinea). [8]

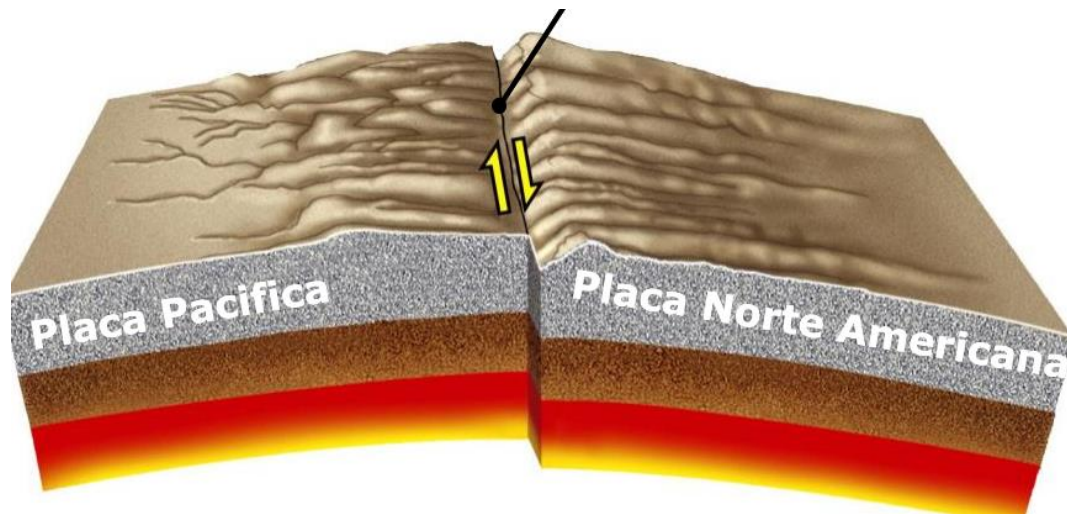
Gráfico N° 7. Placa de convergencia oceánica – oceánica



Fuente: Caballero, C. (2016). Tectónica de placas ¿Cómo funcionan? [6]

Límites de transformación: son conocidos también como deslizamientos horizontales y se caracterizan por el movimiento de las placas en direcciones opuestas lateralmente entre sí, sin crear ni destruir fondo oceánico. Los límites de transformación son identificados por diferencias en las mediciones magnéticas o por fallas visuales en la corteza terrestre.

Gráfico N° 8. Límites de transformación



Fuente: Caballero, C. (2016). Tectónica de placas ¿Cómo funcionan? [6]

2.1.5 Fallas

Las fallas son fracturas o dislocaciones que ocurren en las rocas de la corteza terrestre y producen desplazamiento de los bloques resultantes de la fracturación. Este movimiento puede producirse en cualquier dirección: vertical, horizontal, o una combinación de ambas.

Las fallas se producen cuando el esfuerzo ejercido debido al constante movimiento de las placas tectónicas supera la resistencia del material. Cuando se produce una falla se libera la energía de deformación acumulada en forma de calor y en forma de ondas sísmicas. Los pedazos de roca resultantes de la falla tienden a regresar a su estado inicial.

Gráfico N° 9. Falla de San Andrés



Fuente: Caballero, C. (2016). Tectónica de placas ¿Cómo funcionan? [6]

2.1.5.1. Geometría de fallas

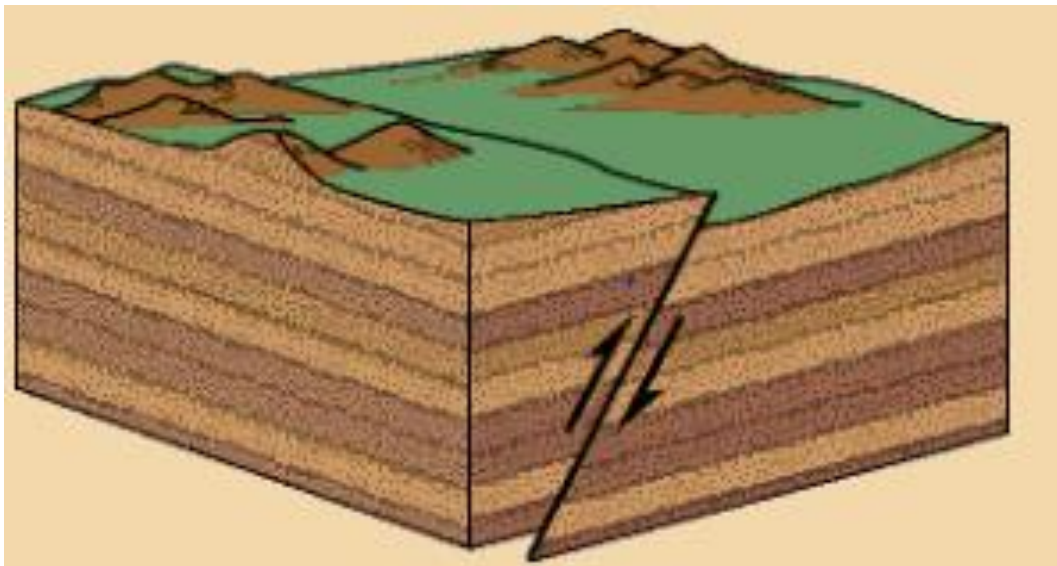
Para poder describir la orientación de una falla en el espacio se utiliza la nomenclatura geológica estándar. La geometría de una falla es generalmente irregular; sin embargo, su forma puede ser aproximada como un plano, por lo menos en distancias pequeñas. La orientación de un plano de falla esta descrita por su rumbo y por su buzamiento. El rumbo de una falla es la línea horizontal producida por la intersección del plano de falla y el plano horizontal. La pendiente inclinada del plano de falla es descrita por el ángulo de buzamiento, que es el ángulo entre el plano de falla y el plano horizontal, medido perpendicularmente al rumbo.

2.1.5.2 Tipos de falla

Las fallas se pueden clasificar en diferentes tipos esto de acuerdo a su orientación e inclinación; entre los principales tipos se encuentran los siguientes:

Falla Inversa. – Es un movimiento de bloque superior hacia arriba en relación al bloque inferior hacia abajo y presenta un ángulo de desnivel por lo general se encuentra menor a 45°. Las fallas contrapuestas se encuentran agrupadas a esfuerzos de compresión que producen un acortamiento directo en la corteza.

Gráfico N° 10. Falla Inversa



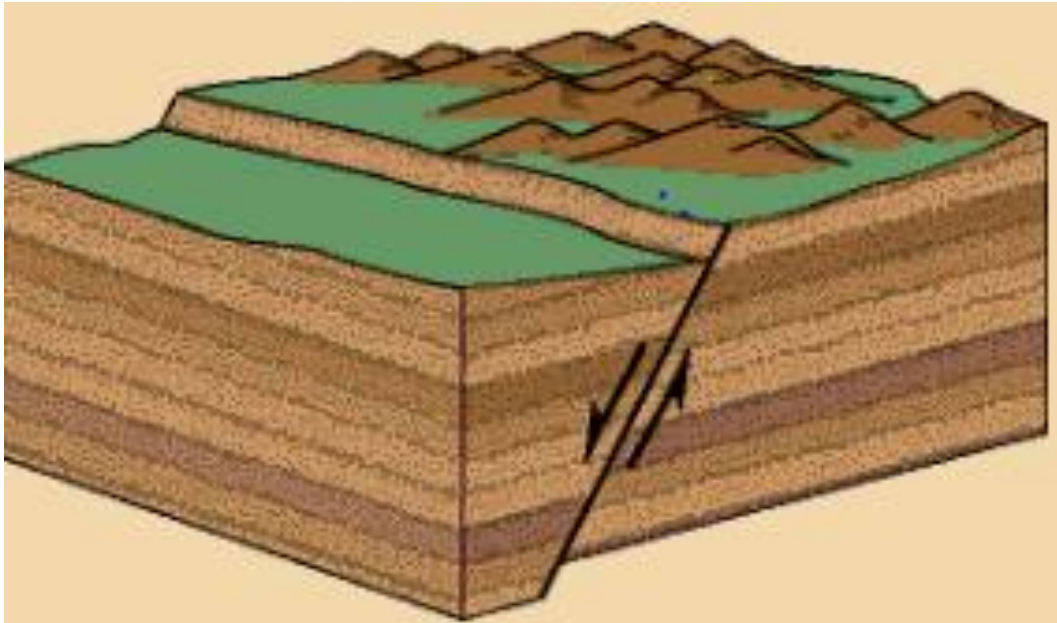
Fuente: Tarbuck, E. & Lutgens, F. (2001): Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física [9]

En el gráfico se observa el movimiento de las fallas inversas, la roca de un lado asciende con relación a la roca que se encuentra en el otro lado, el área expuesta por lo tanto al ser saliente limita caminar sobre la misma. Entonces, se concluye que como resultado de este movimiento los estratos más antiguos se superponen sobre los más jóvenes. Algunos ejemplos de este tipo de falla se los encuentra en regiones montañosas como los Alpes, el Himalaya y los Andes; en Costa Rica la falla de Alajuela con una extensión de 20km es la que sobresale.

Falla Normal.- es conocida también como directa o de gravedad, y se caracteriza debido a un movimiento del bloque superior hacia abajo en referencia al bloque inferior, se genera como respuesta a esfuerzos distintivos. Los bloques que se desplazan tienen el nombre de

bloque o labio levantado y bloque o labio hundido. La superficie hacia donde se establece el movimiento es la superficie o plano de falla y puede tener componentes en varias direcciones del espacio.

Gráfico N° 11. Falla Normal

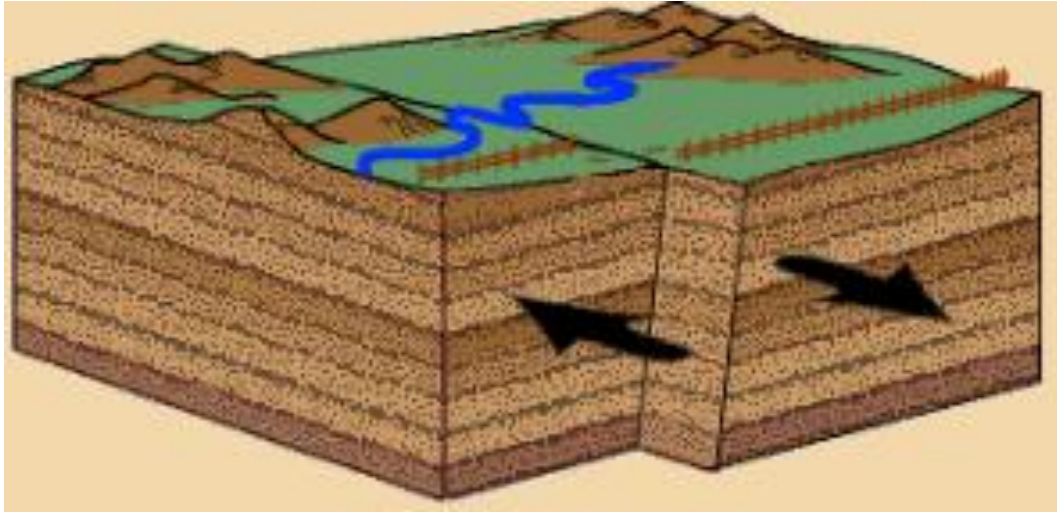


Fuente: Tarbuck, E. & Lutgens, F. (2001): Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física [9]

Como se observa en la ilustración correspondiente, este tipo de falla se inicia cuando existe una separación de las rocas, por lo que la corteza rocosa puede llegar a ocupar más espacio. Se visualiza además que las rocas de un lado se hunden frente a las rocas que se encuentran en el otro lado, por ende no se forman salientes rocosos, posibilitando así caminar sobre estas áreas.

Falla de transformación o desgarre: Es la que se acomoda al movimiento horizontal de dos bloques contiguos, esto depende en gran parte del movimiento relativo de un bloque en relación a otro. La falla transcurrente se caracteriza por un desnivel de 90° , a continuación se presenta el grafico que muestra el movimiento de la falla.

Gráfico N° 12. Falla de transformación



Fuente: Tarbuck, E. & Lutgens, F. (2001): Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física [9]

Se visualiza la existencia de una grieta horizontal, en el que un bloque de roca se mueve en dirección opuesta al del otro bloque. Este tipo de falla no origina precipicios porque los movimientos no son arriba o abajo.

2.1.6. Ondas sísmicas

Al producirse un sismo existen tres tipos de ondas sísmicas que causan daños, de las cuales solo dos se propagan al interior de la tierra causando vibración y muchas de las veces destrucción en la superficie dando un grave resultado como son los terremotos. Las ondas sísmicas cambian y aumentan de manera significativa las velocidades y las direcciones al ser atravesadas en la tierra variando de acuerdo al lugar por donde avanzan. La consistencia y la elasticidad del medio son propiedades físicas que establecen las características del movimiento que realizan las ondas. [10]

La llegada y el movimiento producido por las ondas sísmicas son registrados en los sismógrafos en función del tiempo y tipo de movimiento. Los registros de los sismógrafos se

utilizan para conocer con mayor precisión los parámetros sismológicos que definen un evento sísmico.

A través de los registros obtenidos de un evento sísmico se puede determinar parámetros como:

- La ubicación del foco (punto donde se originan las primeras ondas sísmicas).
- La ubicación del epicentro (proyección del foco en la superficie).
- La distancia hipocentral (distancia que existe entre el foco y el sismógrafo).
- La distancia epicentral (distancia entre el epicentro y el sismógrafo).
- La magnitud. Existen dos tipos de ondas que se producen en un sismo: las ondas de cuerpo y las ondas superficiales.

2.1.6.1. Ondas de cuerpo

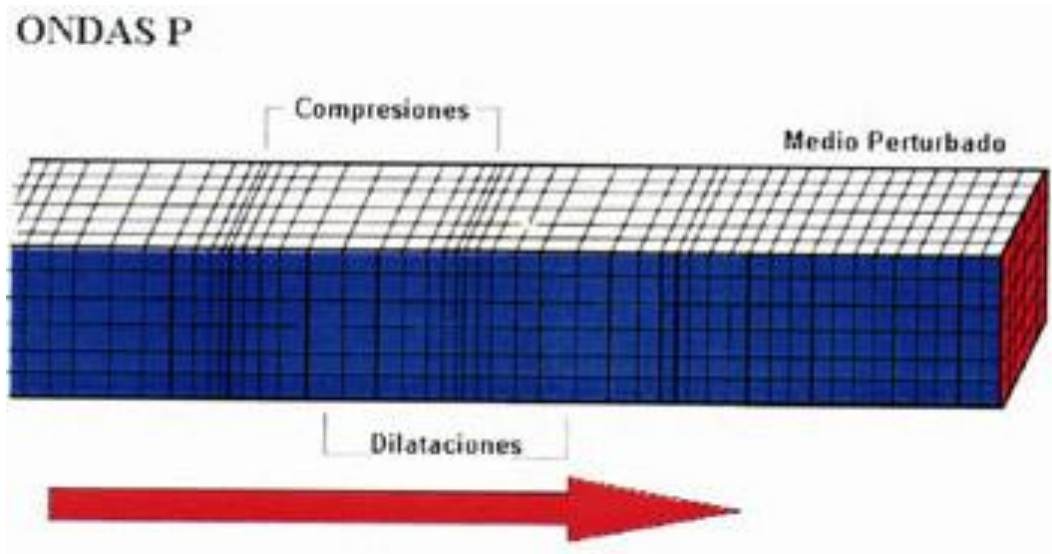
Las ondas de cuerpo generan una energía liberada durante la rotura, son capaces de propagarse en medios sean estos sólidos, líquidos o gaseosos. Las ondas de cuerpo se encuentran involucradas con la actividad sísmica y con las ondas P y Onda S. Suelo llamarse ondas de cuerpo debido a que viajan al interior del planeta, estas ondas siempre aparecen en los sismogramas.

Las ondas de cuerpo se subdividen en dos grandes grupos que a continuación se detallan:

2.1.6.1.1. Ondas P

Son también conocidas como ondas primarias o compresionales. Las ondas P se transmiten cuando las partículas del medio se desplazan en la dirección de propagación, produciendo compresiones y dilataciones en el medio.

Gráfico N° 13. Ondas P



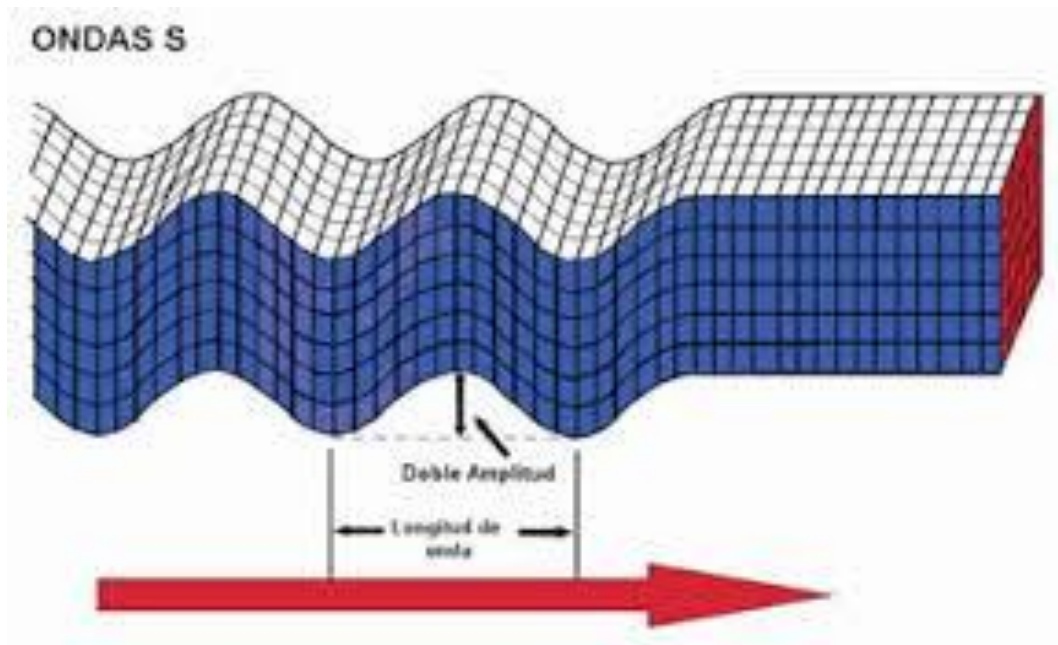
Fuente: Bolt, B. (1999) Earthquakes [11]

Para la interpretación del gráfico N° 13, se observa que durante el recorrido de la onda es paralelo, es decir si la velocidad de una onda aumenta en una capa, debe coincidir con el incremento de la velocidad de la orea, debido a que este tipo de onda no encuentra obstáculos en su camino ya que atraviesa materiales líquidos, sólidos y gaseosos.

2.1.6.1.2. Ondas S

Son conocidas como ondas de corte o secundarias. Las ondas S se transmiten cuando las partículas del medio se desplazan perpendicularmente a la dirección de propagación. Las ondas S son más lentas que las ondas P, con velocidades en roca aproximadamente iguales al 70% de las velocidades de las ondas P.

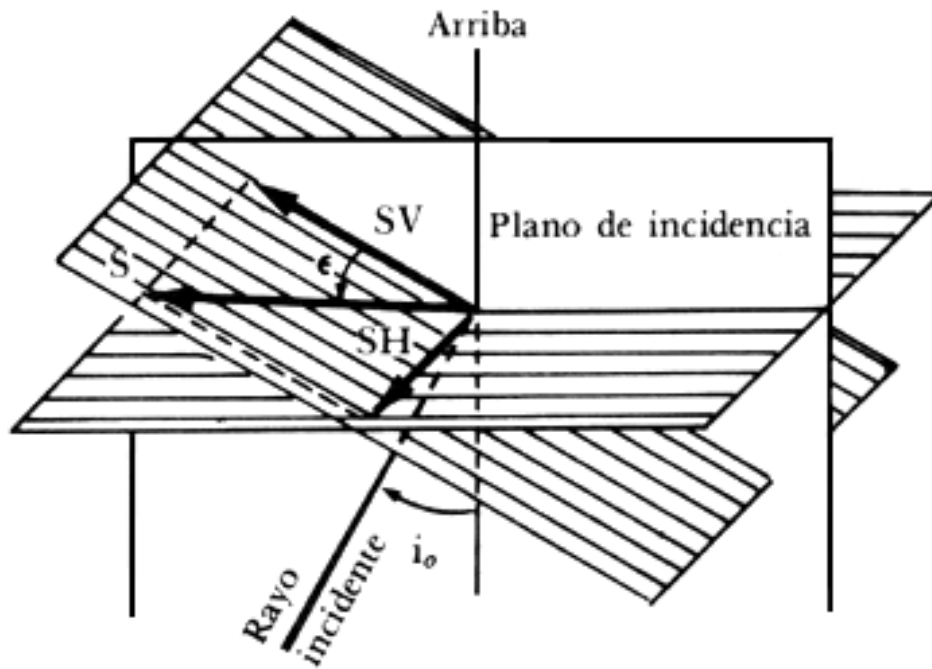
Gráfico N° 14. Ondas S.



Fuente: Bolt, B. (1999) Earthquakes [11]

Como los líquidos no pueden soportar esfuerzos cortantes, las ondas S no se propagan a través de ellos. Usualmente las ondas S tienen mayor amplitud y son más destructivas que las ondas P. La componente vertical de las ondas S se denota a menudo por SV (polarizadas en el plano vertical), mientras que la componente horizontal se denota por SH (polarizadas en el plano horizontal).

Gráfico N° 15. La Onda S y sus componentes SV y SH



Fuente: Bolt, B. (1999) Earthquakes [11]

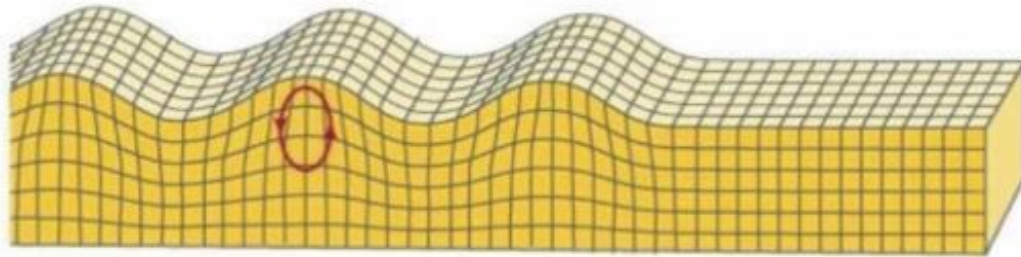
2.1.6.2. Ondas superficiales

Estas ondas son formadas por la interacción de las ondas de cuerpo que viajan en diferentes direcciones. Su amplitud es máxima en la superficie y nula a grandes profundidades. Las ondas superficiales pueden ser de dos tipos: las ondas Rayleigh y las ondas Love.

2.1.6.2.1 Ondas Rayleigh

Son denotadas usualmente por R y se deben a la interacción entre las ondas P y las SV (polarizadas en el plano vertical). Las ondas de Rayleigh causan un movimiento rodante parecido a las ondas del mar y sus partículas se mueven en forma elipsoidal en el plano vertical que pasa por la dirección de propagación.

Gráfico N° 16. Ondas Rayleigh

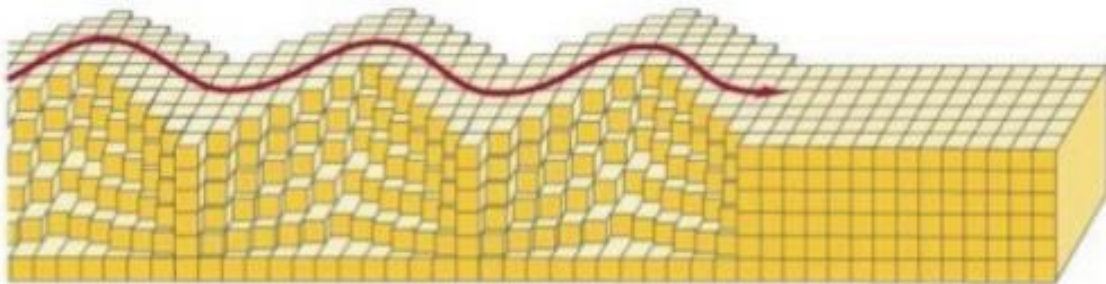


Fuente: Bolt, B. (1999) Earthquakes [11]

2.1.6.2.2 Ondas Love

Son ondas con movimientos similares a las ondas S que no tiene desplazamiento vertical. Las ondas Love hacen que la superficie se mueva de lado a lado en un plano horizontal pero con ángulos rectos a la dirección de propagación. Estas ondas son dañinas a las cimentaciones de las estructuras.

Gráfico 17. Ondas Love



Fuente: Bolt, B. (1999) Earthquakes [11]

2.1.7. Medida de los Sismos

Los terremotos pueden ser medidos cuantitativamente en función de la cantidad de energía liberada y cualitativamente según el grado de destrucción que ellos causan.

Intensidad sísmica La intensidad sísmica es la violencia con que se siente un sismo en la zona afectada. La medición de la intensidad es cualitativa y se realiza observando los efectos o

daños producidos por el sismo en las construcciones, objetos, terreno, y el impacto que provoca en las personas. Para medir la intensidad se emplea la Escala de Intensidades Modificada de Mercalli que es una escala descriptiva de 12 grados. Existe también la escala MSK, elaborada por los sismólogos europeos Medvedev, Sponhever y Karnik. Esta escala precisa mejor los efectos de un sismo en las construcciones.

2.1.8. Magnitud Sísmica

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

Cualquiera sea la ubicación de estos instrumentos con respecto al lugar del sismo el valor de la magnitud es aproximadamente el mismo. Sin embargo, un terremoto con una sola magnitud puede tener muchas intensidades que irán disminuyendo a medida que se alejen del epicentro sísmico. [8]

Existen varias escalas para medir la magnitud de los sismos. Entre las principales están la magnitud local, la magnitud superficial, la magnitud de ondas de cuerpo y la magnitud momento. Magnitud Local (ML) En 1935, Richter definió la magnitud local como la magnitud para medir sismos del Sur de California poco profundos y con distancias epicentrales menores a 600 km. La escala de Richter es la escala más conocida.

Sin embargo, no siempre es la más apropiada para medir sismos en otras partes del mundo. La magnitud de Richter está definida como el logaritmo en base 10 de la máxima amplitud (A_{max}) medida en cm con en un sismógrafo WoodAnderson estándar, menos una corrección por la distancia (D) entre el epicentro y el lugar de registro, que corresponde al logaritmo de la amplitud que debe tener a esa distancia un sismo de magnitud cero.

$$M_L = \log (A_{max}) - \log A_0 * D. [5]$$

Donde:

M_L=Magnitud local

log= Logaritmo (base 10)

A_{max}= Máxima amplitud medida en centímetros

log A₀= Logaritmo de la amplitud

D= Distancia entre el epicentro y el lugar del registro

2.1.9. Magnitud de ondas superficiales (M_s)

Debido a que la magnitud Richter no distingue los diferentes tipos de ondas sísmicas, su uso es muchas veces poco adecuado. Una escala de magnitud basada en la amplitud de las ondas Rayleigh es la magnitud de ondas superficiales (Gutenberg y Richter 1936). La relación utilizada frecuentemente es: $M_s = \log (A) + 1,66 \log (D) + 2,0$. [2]

M_s= Magnitud de ondas superficiales

A= Amplitud del desplazamiento del suelo en micrómetros

D= Distancia epicentral del sismómetro medida en grados (360° correspondientes a la circunferencia de la tierra)

Es necesario mencionar que esta fórmula únicamente es válida cuando la distancia se encuentra comprendida entre $20^\circ < D < 90^\circ$ y terremotos localizados con una profundidad inferior a 70 km.

2.1.10. Energía sísmica

La Energía total liberada por un terremoto es la suma de la energía disipada en forma térmica por la deformación en la zona de ruptura y la energía emitida como ondas sísmicas. Como la magnitud no es una variable física, los sismólogos han buscado fórmulas de relación entre

esta y otras cantidades físicas, por ejemplo, con la energía liberada como ondas sísmicas. Esta relación se expresa como: $\log E = a + bM$

Donde:

a y **b** = dependen de la escala de magnitud que se ha utilizado, ejemplando esto se puede decir que si la magnitud es M_s , la energía sísmica en Joules puede ser:

$$\log E = 4,8 + 1,5 M_s$$

2.1.10.1 Magnitud de Momento Sísmico M_w

Tabla N° 1: Correlaciones para el cálculo M_w de Wells y Coppersmith

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

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

Fuente: Wells, D. Coppersmith, K. Nuevas relaciones empíricas entre magnitud, longitud de ruptura, Ancho de ruptura, área de ruptura y desplazamiento de superficie. [12]

2.1.11. Otras fuentes de actividad sísmica

2.1.11.1. Actividad Volcánica

El 7% de los sismos son debidos a la actividad volcánica y ocurren a menos de 20 km de profundidad. A diferencia de los sismos tectónicos, el área de daños producidos por los sismos volcánicos son de pocos km porque el foco es puntual y gran parte de la energía se libera en la atmósfera. Cuando las burbujas del magma alcanzan la zona rígida de la corteza y la presión es suficiente, se produce el emplazamiento del magma en regiones superiores y el escape de gases que deforman y fracturan la corteza.

La velocidad de ascenso del magma y su volumen, suelen inferirse por la magnitud de los sismos y desplazamiento temporal de los focos sísmicos.

2.1.12. Sismos Artificiales

Los sismos artificiales son producidos por el hombre, por ejemplo con las detonaciones de bombas nucleares. Estos sismos tienen una profundidad de menos de 2 km y foco muy puntual donde gran parte de la energía es liberada en la atmósfera.

2.1.13. Ruido Sísmico

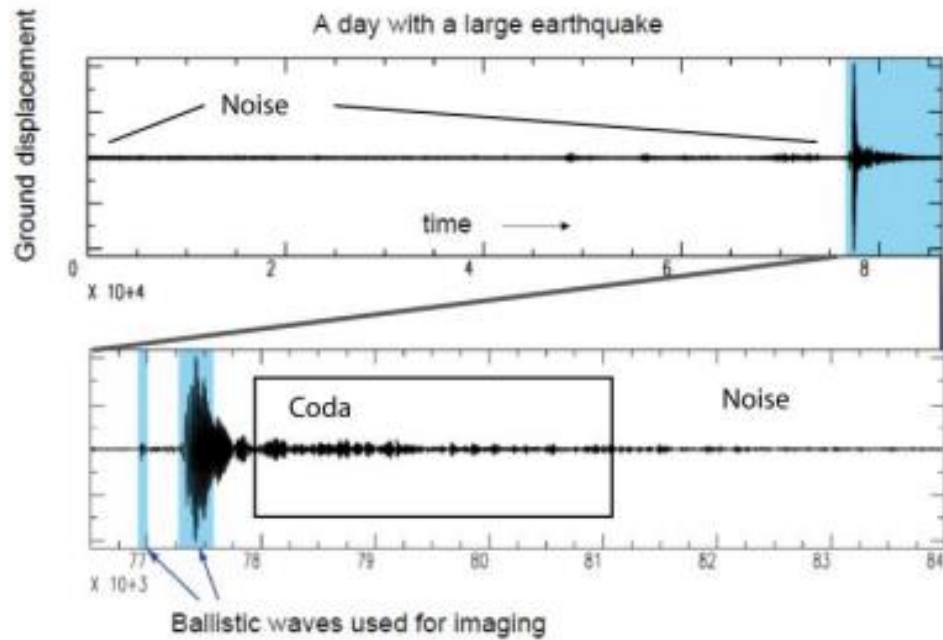
El ruido sísmico puede ser natural como el producido por mareas terrestres, olas, viento; o artificial como el producido por vehículos en movimiento.

“El ruido sísmico o ruido ambiente es el registro temporal continuo de un sismómetro que no contiene eventos sísmicos tales como explosiones o terremotos” [13]

Previo al año 2005, el registro sísmico sin ningún tipo de evento era considerado inservible y se desechaba; únicamente se guardaban aquellos registros que presentaban algún tipo de señal de eventos sísmico. En el año mencionado, se realizan diversos tipos de experimentos a través de los cuales se determinó la importancia de los ruidos sísmicos ya que por medio de estos se pudieron obtener distintas propiedades de propagación de ondas superficiales con

dos sensores. En la actualidad al registro sísmico continuo sin ningún evento, se le denomina como ruido [13].

Gráfico N° 18. Ruido sísmico



Fuente: Gaité. B. (2013) Análisis y aplicaciones del ruido sísmico en México, Golfo de México y Caribe: Tomografía de ondas superficiales Rayleigh y Love

En el gráfico N° 18 se visualiza el ruido sísmico, la parte que se encuentra de color azul es la señal que ha sido analizada sismológicamente hasta la aparición del respectivo campo difuso, incluyendo ondas de coda y ruido sísmico

2.13.1. Análisis Determinístico del Peligro Sísmico

El enfoque determinístico es el más antiguo. El peligro se evalúa en función del evento más grande que se pueda presentar en el área de estudio. El conjunto de todos los agentes generadores de terremotos se suele denominar el potencial sísmico de la zona y se acostumbra representarlo por el evento más grande que se pueda generar.

Luego de identificar el sismo más grande, el peligro del sitio queda definido en términos del movimiento del suelo o de la respuesta estructural que este sismo pueda generar. Un análisis

determinístico de peligro sísmico tiene la ventaja de ser muy simple y claro, ya que se puede determinar directamente el valor de peligro en el sitio y actualizarlo a medida que se obtenga información reciente respecto al sismo máximo. [14]

Un análisis determinístico, sin embargo, no considera las incertidumbres en las magnitudes y la ubicación de los sismos, así como el nivel de movimiento de suelo que pueda ocurrir durante el tiempo de vida útil de una estructura, no resultando apropiado en muchos casos para tomar decisiones.

2.13.2. Análisis Probabilístico del Peligro Sísmico

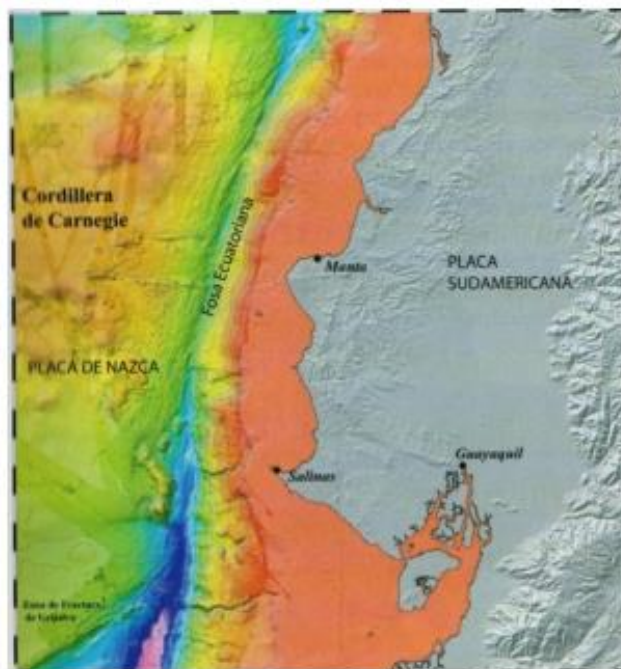
Debido a la naturaleza aleatoria de los eventos sísmicos, un análisis determinístico resulta con frecuencia poco útil en la toma de decisiones ya que no toma en cuenta la gran variabilidad observada en el movimiento del suelo y la respuesta estructural.

La mejor forma de tener en cuenta las características de variabilidad y aleatoriedad de los sismos de una manera lógica y consistente en la toma de decisiones es haciendo uso de la teoría de probabilidades. En los últimos 20 a 30 años los conceptos de probabilidades han permitido que las incertidumbres en la magnitud, ubicación, variación del movimiento del suelo y respuesta estructural puedan ser explícitamente consideradas en la evaluación del peligro sísmico.

2.14. Antecedentes Históricos del sismo en Ecuador

El Ecuador se encuentra ubicado en el denominado *Cinturón de Fuego del Pacífico*, en el caso de nuestro país se debe a la subducción de dos placa tectónicas que son la de Nazca y la Sudamérica, debido al peso de la primera placa la cual está penetrando la Placa Sudamericana, se creó la Cordillera de los Andes [15]

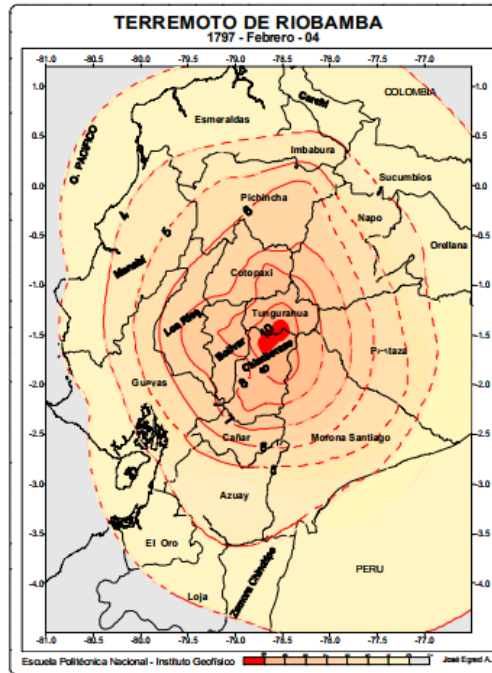
Gráfico N° 19. Contacto entre las Placas de Nazca y Sudamericana



Fuente: Rivadeneira, F. Segovia, M. & Alvarado, A. (2007).
Breves Fundamentos sobre los Terremotos en el Ecuador [15]

En cuanto a la historia sísmica del Ecuador, se ha registrado que el terremoto de mayor intensidad medida en la escala de Richter, fue el de Esmeraldas del año 1906, con 8,8 grados. En tanto que el más destructivo que hasta causó cambios en la topografía, fue el de Riobamba, en el año de 1797 de gran intensidad (XI) causando graves daños en la historia sismográfica del Ecuador. De este último no se conoce la escala de Richter debido a que en la época no existían sismógrafos.

Gráfico N° 20. Mapa isosista terremoto de Riobamba 1797



Fuente: Egred, J. (2004) El terremoto de Riobamba del 4 de Febrero de 1797

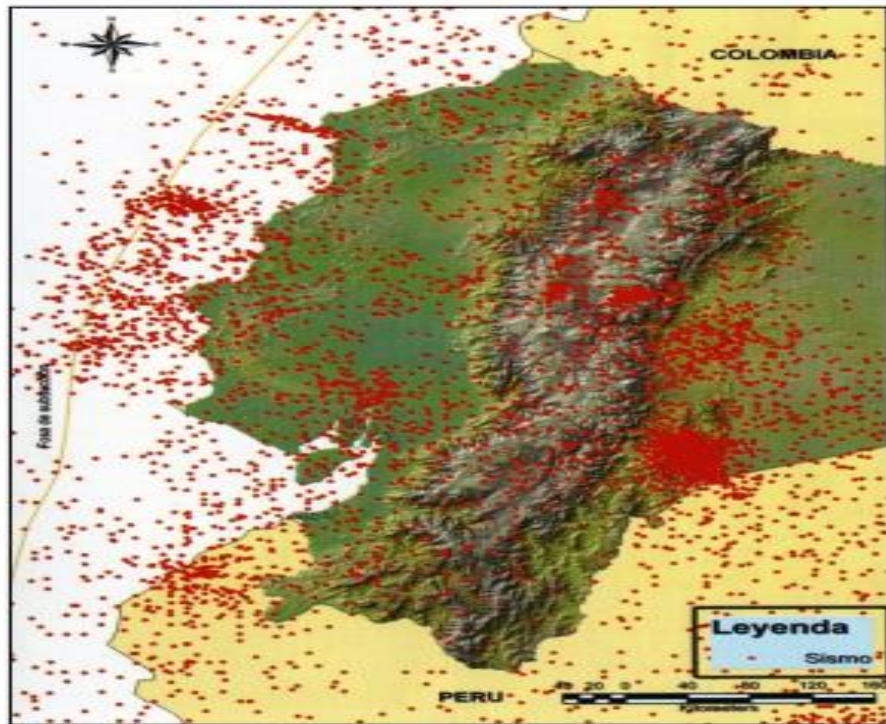
Analizando el mapa de Isosistas, se establece que la forma de las curvas es elíptica, con un sentido de norte a sur, se observa que su dirección se enfoca en los ramales de la Cordillera

El terremoto de Esmeraldas es considerado el sexto terremoto más fuerte instrumental en el mundo. De acuerdo con el geólogo de ascendencia rusa, Stward Nishenko, al día de hoy, Esmeraldas es considerada una de las zonas de más alto riesgo sísmico en el planeta.

En el siglo XX hubieron 19 movimientos telúricos destructivos en el Ecuador y aun cuando en los siglos anteriores el número de terremotos históricos son de menor número; se puede suponer que la cantidad de sismos fue muy parecida pero al ser una época en que el país estaba mucho menos poblado y no se contaba con los sismógrafos, como en la actualidad, es muy probable que se hayan suscitado, pero que las personas no se percataron de su ocurrencia. Considerando el número de sismos graves observados en el siglo XX, se debería esperar que ocurra un sismo fuerte en territorio ecuatoriano aproximadamente cada cinco años [15]

En el siguiente mapa se pueden observar los epicentros de sismos de magnitud mayor a los 4 grados ocurridos en el territorio del Ecuador desde el año 1541 hasta el 2007. Se puede apreciar que existen ciertas zonas donde se han concentrado mayor cantidad de estos eventos.

Gráfico N° 21. Sismos en Ecuador



Fuente: Rivadeneira, F. Segovia, M. & Alvarado, A. (2007).
Breves Fundamentos sobre los Terremotos en el Ecuador [15]

Como se ha visto anteriormente, la provincia de Pichincha, donde se han producido 10 terremotos con escala igual o mayor a VIII, es una de las zonas donde con más frecuencia se han suscitado sismos en el Ecuador. Esto a su vez, refleja que Quito es una ciudad con un alto riesgo sísmico. [16]

La presencia de la falla de Pallatanga, que es cercana a la ciudad y el sistema de fallas Quito, son dos de los causantes de movimientos sísmicos en esta zona. Es así que en el terremoto de Riobamba del año 1797, originado por una ruptura en la falla de Pallatanga, no fueron mayores los daños en Quito, pero igual sufrió algunas secuelas en sus templos. El sistema de fallas Quito “muestra en superficie una serie de colinas alineadas, de baja altura, que se

inician en el sector de Tambillo y continúan al norte con las lomas de Puengasí, Ilumbisí, El Batán, La Bota, Bellavista y Catequilla, en el sector de la Mitad del Mundo. Su longitud total se estima en 45 km.” Como se hizo referencia anteriormente, se considera que este sistema de fallas podría llegar a generar un sismo de intensidad 6 a 6,5.

Los terremotos más recientes que ha enfrentado la ciudad de Quito fueron los ocurridos el 5 de marzo de 1987, con una intensidad de 6,1 y 6,9 grados. El número de víctimas fueron 1000 y se produjeron grandes deslaves, que fueron los causantes de la mayoría de estas pérdidas humanas y destrucción. Sin embargo, si llegase a suscitarse un sismo de características similares en la actualidad las consecuencias serían muchísimo más graves debido al crecimiento poblacional en los últimos 24 años.

2.15. Gestión de Riesgos en el Ecuador

La gestión de riesgos es el Proceso integral de planificación, organización, dirección y control dirigido a la reducción de riesgos, manejo de desastres y recuperación ante eventos ya ocurridos, orientado al desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenible.
[2]

El efecto de los eventos adversos puede ser mitigado, depende mucho de prevenir el posible impacto que tengan estos sucesos.

El comportamiento humano influye en el incremento o la reducción del riesgo de un desastre. Se puede disminuir el nivel de impacto si se conoce acerca de las amenazas y se está preparado para actuar en caso de que se suscite un evento de esta naturaleza.

2.2. HIPÓTESIS

El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza para el sector de Celiano Monge del Cantón Ambato.

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable dependiente

Nivel de amenaza para el sector de Celiano Monge del Cantón Ambato.

2.3.2 Variable Independiente

Estratigrafía y análisis determinístico .

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Por la naturaleza investigativa y exploratoria del proceso se define a este estudio como un compendio de diferentes métodos y técnicas a través de las cuales se conseguirán tanto las bases teóricas de fundamento, así como las métricas de resultados, para ello se utilizará la investigación exploratoria y descriptiva en el desarrollo del presente estudio.

Se iniciará específicamente con el proceso de recolección de información, ya que la exploración del peligro sísmico para las tres estructuras del sector de Celiano Monge no se ha realizado aún; así mismo la metodología a desarrollar será a través de la evaluación de los espectros de respuesta de los sistemas de fallas seleccionadas con el espectro propuesto por la NEC-2015. [17]

Seguidamente, se utilizará la investigación descriptiva específicamente en la fase de medición de características y resultados, actividad que será realizada en el proceso después de la experimentación [14].

Además se realizarán ensayos los cuales permitirán establecer el tipo de perfil de suelo a través del ensayo de penetración estándar SPT. Para lo cual se habrá de utilizar el laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, con lo cual será posible controlar y medir cualquier cambio en otras variables [18]; de esta manera se podrán arrojar resultados que serán de gran beneficio para la verificación de la hipótesis y por consiguiente dar una estructura a las conclusiones y recomendaciones del presente estudio.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población:

La elaboración del estudio de peligro sísmico determinista se realizará en una área aproximada de 143.8 hectáreas en el sector de Celiano Monge ubicado en la ciudad de Ambato. Para ello será trascendental conocer las características geotectónicas del suelo y las Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo (GMPE's) que se va a utilizar.

3.2.2 Muestra

Serán evaluadas tres estructuras tipo del sector de estudio.

Debido a que se ha definido como un trabajo netamente experimental se utilizará la metodología recomendada por la NEC_SE_DS 2015 (Peligro Sísmico), lo cual indica que para el análisis de suelos se debe realizar mínimo 5 perforaciones, (Ensayo de Penetración Estándar SPT).

Los GMPE's a utilizar serán:

Akkar y Bommer (2010)

Boore y Atkinson (2008)

Kanno (2006)

Youngs (1997)

Zhao (2006)

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla N° 2: Operacionalización de las variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El peligro sísmico determinista	Es la evaluación del peligro o intensidad del movimiento sísmico en alguna zona de interés de terremotos históricos que han afectado.	-Intensidad sísmica	-Sismo -PGA	¿Cuál fue la magnitud del terremoto? ¿Cuál fue el PGA Obtenido?	- Experimental -Experimental -- Bibliográfico
VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Nivel de amenaza para el sector de Celiano Monge	Es la probidad de la existencia de un sismo en un sector y tiempo determinado	Amenaza Sísmica	-Magnitud -Distancia y tiempo desde el lugar sísmico hasta el punto de estudio.	¿La magnitud del sismo es de amenaza significativa? ¿La distancia que existe tiene relevancia significativa con el punto de estudio?	-Experimental -Bibliográfica -Experimental -Bibliográfica

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El peligro sísmico determinista	Es la evaluación del peligro o intensidad del movimiento sísmico en alguna zona de interés de terremotos históricos que han afectado.	-Intensidad sísmica	-Sismo -PGA	¿Cuál fue la magnitud del terremoto? ¿Cuál fue el PGA Obtenido?	- Experimental -Experimental -- Bibliográfico
VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Nivel de amenaza para el sector de Celiano Monge	Es la probidad de la existencia de un sismo en un sector y tiempo determinado	Amenaza Sísmica	-Magnitud -Distancia y tiempo desde el lugar sísmico hasta el punto de estudio.	¿La magnitud del sismo es de amenaza significativa? ¿La distancia que existe tiene relevancia significativa con el punto de estudio?	-Experimental -Bibliográfica -Experimental -Bibliográfica

Elaborado por: Karina Freire

3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Tabla N° 3: Plan de recolección de información

¿Con qué finalidad se realiza el estudio?	Con la finalidad de evaluar el peligro sísmico en el sector de Celiano Monge, mediante la determinación de espectros de respuesta asociados a las fallas seleccionadas.
¿Cuáles son los objetos a utilizar?	<ul style="list-style-type: none">- Régimen tectónico- Fallas seleccionadas- Tipo de suelo del área de estudio.
¿Sobre qué aspectos?	Influencia de los peligros sísmicos en el sector de Celiano Monge del Cantón Ambato.
¿Quién lo realizará?	Karina Freire
¿Dónde lo realizará?	<ul style="list-style-type: none">- En el sector de Celiano Monge del Cantón Ambato.- Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
¿Cómo lo realizará?	Investigación Experimental Investigación Bibliográfica Ensayos de laboratorio Norma NEC – SE – DS 2015

Elaborado por: Karina Freire

3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Para la realización del estudio de investigación se tomará en cuenta los siguientes pasos para el procesamiento y análisis:

- Identificación del régimen tectónico en base al área de estudio
- Selección de las fallas más importantes que afectan al área de estudio, basado en NeoTec/Ecuador, tales como la Falla Ambato, Huachi, Totoras y la falla de Subducción.
- Identificación y caracterización de fuentes sísmicas capaces de producir movimientos sísmicos.
- Cuantificación del potencial sísmico de las fallas seleccionadas en base a la magnitud de momento (M_w), basado en la metodología de Wells – Coppersmith, la ecuación que se utilizará está en función de la longitud de ruptura para los diferentes tipos de fallas (normal, inversa y transcurrente).
- Clasificación del tipo de suelo.
- Determinación de la velocidad de onda cortante V_s , a partir de relaciones empíricas.
- Utilización de las Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo GMPEs, para calcular espectros en aceleración de cada una de las fallas analizadas.
- Obtener un espectro determinista a partir de los valores pico, generados por los espectros de cada una de las fallas.
- Comparación de los resultados obtenidos con las NEC-SE-DS.
- Realizar modelaciones estructurales en el software ETABS 2016.
- Evaluación estructural de edificaciones seleccionadas a partir de los espectros calculados, realizando una modelación estructural de cada una de las estructuras tipo tomadas del lugar de estudio con el software ETABS 2016.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCION DE DATOS

4.1.1 Identificación Del Régimen Tectónico

El sector de Celiano Monge, perteneciente al cantón Ambato, está sobre los 2560 msnm, pertenece a la región interandina del Ecuador. Ubicado en la provincia de Tungurahua en una región sísmica y volcánica.

La frecuencia de los sismos generados en todo el cantón ha afectado de cierta manera al sector, las mismas que se derivan de tres fuentes diferentes, la primera identificada como tectónica cortical – subducción y la volcánica.

Los sismos originados por el movimiento de las placas tectónicas pueden alcanzar magnitudes M_w de hasta 9.4, mientras que la generación de las magnitudes de los sismos volcánicos M_w determinan un movimiento menor de 3. De acuerdo a una investigación realizada se conoce que el terremoto ocurrido en la ciudad de Ambato y Pelileo en el año de 1949 género una magnitud calculada en función de las intensidades de 6.8.

El Ecuador presenta de acuerdo estudios y sismos efectuados tres tipos de regímenes tectónicos que son:

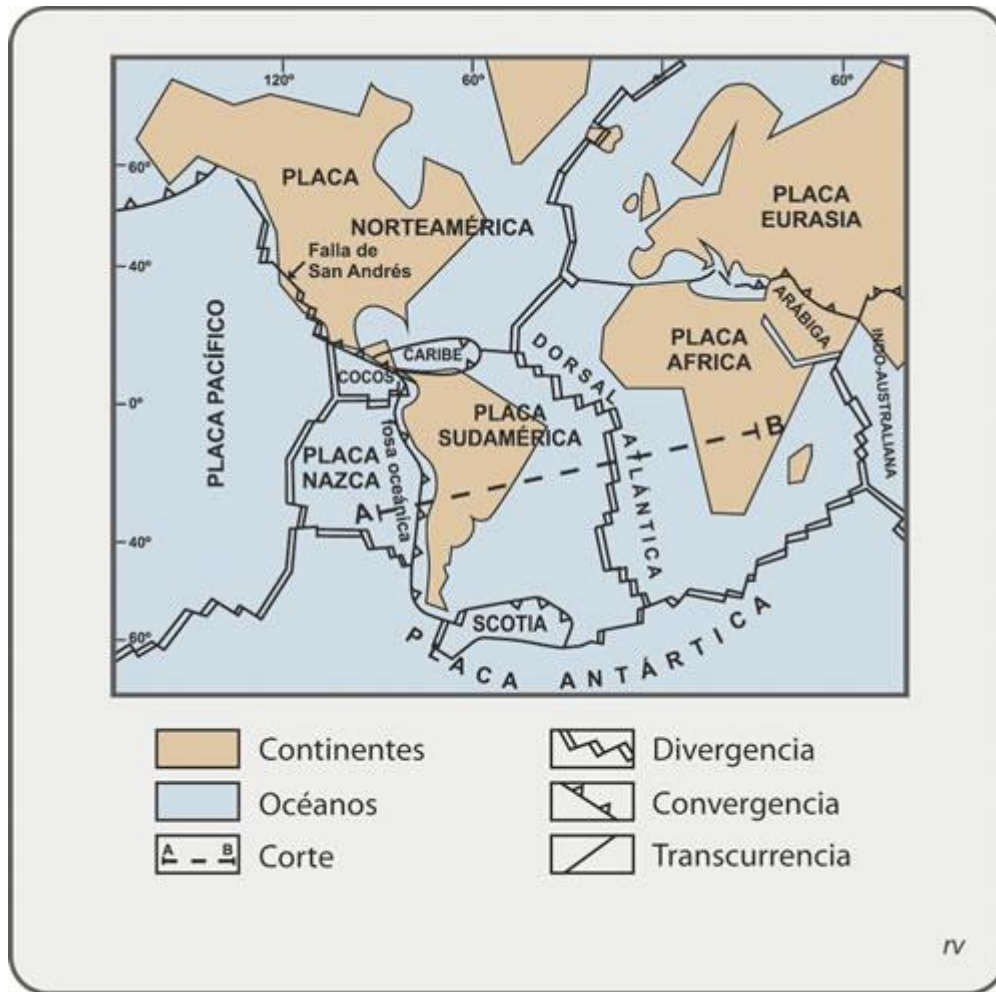
- Cortical
- Subducción Interplaca
- Subducción Intraplaca.

Una parte de la placa tectónica se encuentra estructurada en el territorio continental cubierta por una micro placa conocida como Bloque Andino. La micro placa se encuentra intervenida por la mediación de las placas Sudamericana Nazca y Caribe.

La plaza oceánica de Nazca se encuentra subdividiendo a la placa sudamericana con dirección $N84^\circ E$, por lo que el bloque andino presenta otro desplazamiento con una dirección

de N34°E. En la siguiente figura se puede observar los límites de las placas propuestas por Ego et al.1995, en donde se identifica la velocidad de las placas de convergencia en cuanto a los meses y años.

Gráfico N° 22 Límites de placas propuesta por Ego et al. 95



El estudio de la convergencia entre placas, como es la subducción producida entre la placa de Nazca y la Sudamericana es importante debido a que permite determinar el peligro sísmico en el sector de Celiano Monge.

Uno de los terremotos más reciente corresponden al 16 de abril del 2016, el cual fue registrado en el Cantón Pedernales perteneciente a la provincia de Manabí a una profundidad de 20Km, el mismo que se dio debido a un desplazamiento de la placa Nazca con la placa Sudamericana, alcanzando una magnitud de Mw 7.8.

Es importante destacar que el fenómeno de la subducción ha afectado a nuestro país con sismos como el del año 1906 con una magnitud de (Mw 8.8) y en los años de 1942 y 1958 con una magnitud de (Mw 7,8).

En la provincia de Tungurahua la liberación de energía debido a sismos ha producido innumerables muertes y cuantiosas pérdidas materiales, el más recordado es el de 1949 cuyo epicentro se determinó a 20 km al nororiente del Cantón Pelileo, en una falla centrada en un nido sísmico conocido como Pisayambo, el cual alcanzo con una magnitud de (Mw 6.8).
[17]

Tabla N° 4: Identificación de los Sismos sentidos en el sector, ordenados cronológicamente y con su respectiva escala.

EVENTO	AÑO	MAGNITUD	ESCALA
Terremoto Riobamba- Ambato	1698	7,8	Msk
Terremoto Riobamba	1797	6,8	Mks
Sismo Ambato Pelileo	1949	7,4	Mks
Terremoto Ambato	1949	7,5	Mks
Terremoto Pedernales	2016	7,8	Mks

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN)

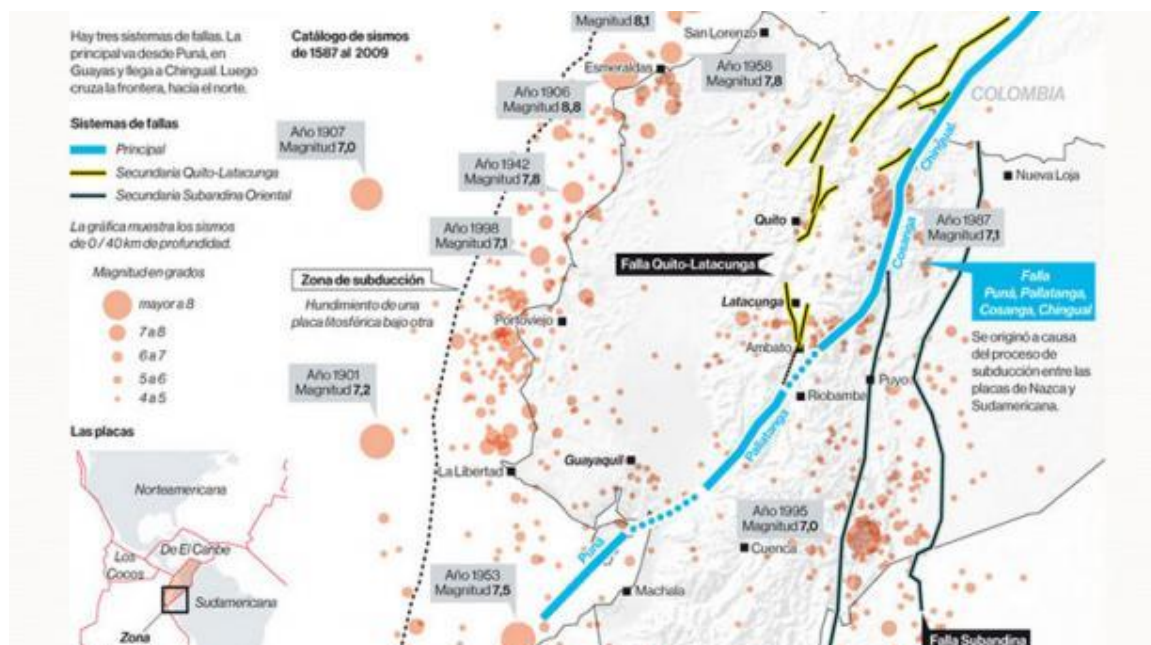
Como se puede observar en la anterior tabla, los sismos registrados en los diferentes años en sectores adyacentes al sitio de estudio, fueron sentidos directamente por sus pobladores.

Es importante tener en cuenta que la intensidad es medida de acuerdo al grado de daños que deja a las construcciones, como también cantidad de daños en la superficie de los suelos,

debido a que en eventos históricos no se han podido registrar mediante herramientas o instrumentos.

No existen estudios que indiquen o demuestren el porqué de estas fallas sin embargo los científicos han podido detectar la intensidad de los sismos producidos por la magnitud con que se presentan. Los movimientos sísmicos han sido identificados por medio de equipos técnicos mediante investigaciones realizadas por la Escuela Politécnica Nacional.

Gráfico N° 23. Tipificación de Sismos generados en Ecuador con su referente año y magnitud.



Fuente: Escuela Politécnica Nacional

<http://www.igepn.edu.ec/mapas/mapa-catalogo-homogenizado>

En base a la sismicidad histórica mostrada anteriormente en el Ecuador, en la provincia de Tungurahua y en el Cantón Ambato, podemos concluir que el área de investigación seleccionada se ve afectada principalmente por el régimen de subducción interplaca y cortical.

4.1.2 Selección De Las Fallas Que Afectan El Lugar De Estudio

A pesar de que la falla de subducción se encuentra a una distancia relativamente lejana de nuestra zona de estudio, la posible liberación de energía que esta desencadenaría es capaz de producir daños en nuestras estructuras, por tal razón ha sido seleccionada para el presente estudio.

Gráfico N° 24. Falla de Subducción de tipo Inversa con una Longitud de 1.536,5 Km

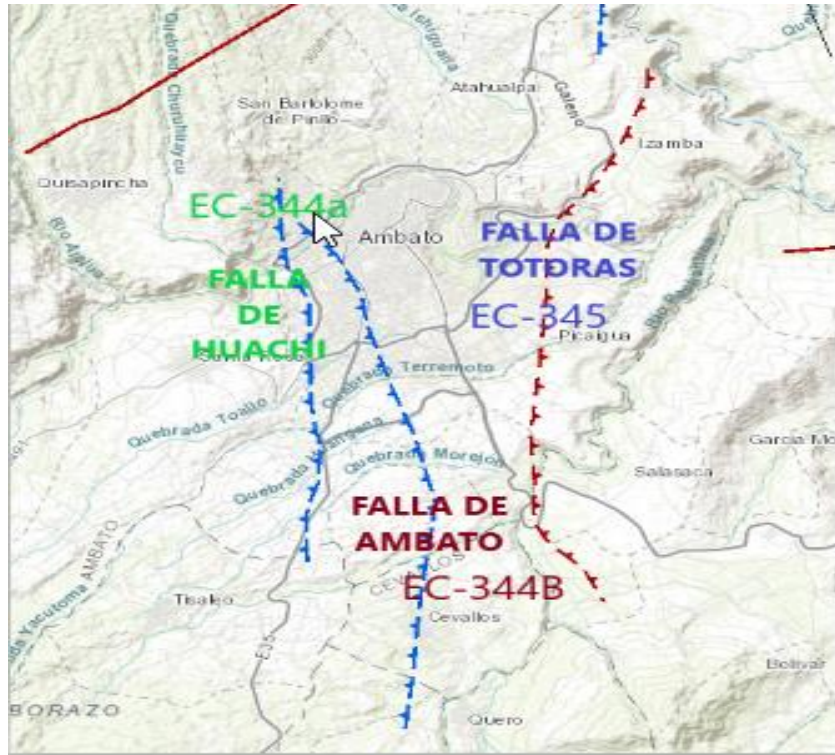


Fuente: IGEPN

<http://www.igepn.edu.ec/mapas/mapa-catalogo-homogenizado> [19]

De igual manera las fallas corticales adyacentes al área de estudio son un potencial peligro sísmico.

Gráfico N° 25. Fallas Geológicas en Ambato
Falla de Ambato, Huachi y Totoras



Fuente: IGEPN

<http://www.igepn.edu.ec/mapas/mapa-catalogo-homogenizado> [19]

Gráfico N° 26. Fallas Geológicas que Afectan el Área de Estudio



Fuente: IGEPN <http://www.igepn.edu.ec/mapas/mapa-catalogo-homogenizado> [19]

4.1.3 Identificación Y Caracterización De Las Fallas

Tabla N° 5. Fallas Geológicas con su respectiva Longitud, Tipo y Distancia al Área de Estudio.

Código	Nombre	Tipo	Longitud de la falla (Km)	Distancia al área de Análisis (Km)
EC-223	Subducción	Inversa	1536.5	307.89
EC-344a	Huachi	Inversa ciega	12.00	2.47
EC-344b	Ambato	Inversa ciega	16.30	1.21
EC-345	Totoras	Transcurrente Inversa Ciega	17.70	2.98

Fuente: IGEPN

Elaborado por: Karina Freire

4.1.4 Cálculo De La Magnitud De Momento (Mw)

Para cuantificar el potencial sísmico de las fallas previamente seleccionadas calcularemos la magnitud de momento que cada una de estas puede desencadenar en caso de producirse la ruptura completa de la falla. Para esto se utilizara las correlaciones de Wells y Coppersmith mencionadas en el capítulo dos.

$$M_w = a + b * SRL$$

Ec. 1

Tabla N° 6. Fallas Geológicas con Magnitud de Momento

Código	Falla Geológica	Longitud de la falla (SRL) Km	Magnitud de Momento (Mw)
EC-223	Subducción	1536.5	8.9
EC-344a	Huachi	12.00	6.3
EC-344b	Ambato	16.30	6.5
EC-345	Totoras	17.70	6.5

Fuente: Neo Tec – Ecuador IGEPN

Elaborado por: Karina Freire

4.1.5 Clasificación Del Tipo De Suelo

Parámetros de clasificación NEC-2015

Los parámetros que la Norma Ecuatoriana utiliza para definir el tipo de perfil de suelo son los siguientes:

- La velocidad media de la onda de cortante, V_{s30} (m/s).
- El número medio de golpes del Ensayo de Penetración Estándar (SPT en inglés para “Standard Penetration Test”) para el 60% de la energía teórica, N_{60} , a lo largo de todo el perfil.

Cuando se trate de considerar por separado los estratos no cohesivos y los cohesivos del perfil, se determinará:

- El número medio de golpes del ensayo de penetración estándar, N_{ch} para los estratos de suelos no cohesivos
- La resistencia media al corte obtenida del ensayo para determinar su resistencia no drenada, S_u (kPa) para los cohesivos.
- El Índice de Plasticidad (IP).
- El contenido de agua, w (%).

En base a los parámetros determinados por la NEC-2015, clasificaremos el suelo en el área de estudio mediante el ensayo de SPT.

Ensayo De Penetración Estándar (SPT)

Para la aplicación del estudio se ha considerado tomar como base las especificaciones mencionadas por las normas INEN 698, las mismas que determinan los pasos que se debe seguir para el estudio planteado.

Tabla N° 7: Procedimiento para realizar el ensayo de SPT

No	DESCRIPCION
1	Después de haber apoyado el muestreador en el fondo del pozo perforado, se proviene a hundirlo mediante pequeños golpes del martinete lanzado desde una caída libre desde una altura de 75+- cm sobre la cabeza del golpe.
2	Debe usarse un cabo de manila para el izaje del martinete, en caso de ser accionado mecánicamente, el cabo debe enrollarse máximo dos veces.
3	La barra de acero debe estar completamente vertical para asegurar la energía de los golpes.
4	Se inicia el ensayo contando el número de golpes para penetrar 15 cm en dos intervalos el muestreador, lo cual determina la resistencia a la penetración de dicho suelo
5	Si al realizarlo sobrepasa los 50 golpes, sin haber penetrado la totalidad de cada intervalo, se anotará el número de golpes y la longitud de penetración del muestreador.
6	Antes de extraer el muestreador a la superficie se debe girar por lo menos dos revoluciones, para cortar la muestra, posteriormente se extrae y se mide la longitud de la muestra obtenida, desechando la parte superior ya que no es representativa.
7	La muestra se cierra herméticamente para su envío a laboratorio.
8	Se debe etiquetar las muestras adecuadamente con todos los datos necesarios para realizar los ensayos requeridos.

Fuente: Normas INEN 698 [20]

Elaborado por: Karina Freire

Tabla N° 8: Ensayo de Penetración Estándar – Laboratorio FICM P1

PERFORACIÓN 1 (h= -0.00 a -3.00 m)				
COORDENADAS: X= 764653 Y= 9859918 Z= 2711				
PROFUNDIDAD (m)	TOTAL N (SPT)		PROMEDIO N (SPT)	TIPO DE PERFIL
100	LIMPIEZA		41	CAPA VEGETAL
120	12	28		D
135	13			
150	15			
170	16	36		
185	18			
200	18			
220	22	47		
235	22			
250	25			
270	29	52		
285	25			
300	27			

Elaborado por: Karina Freire

Tabla N° 9: Ensayo de Penetración Estándar – Laboratorio FICM P2

PERFORACIÓN 2 (h= -0.00 a -3.50 m)				
COORDENADAS: X= 764599 Y= 9859668 Z= 2724				
PROFUNDIDAD (m)		TOTAL N (SPT)	PROMEDIO N (SPT)	TIPO DE PERFIL
100	LIMPIEZA		42	CAPA VEGETAL
120	3	21		D
135	11			
150	10			
170	18	51		
185	25			
200	26			
220	26	52		
235	27			
250	25			
270	28	65		
285	32			
300	33			
320	3	21		
335	11			
350	10			

Elaborado por: Karina Freire

Tabla N° 10: Ensayo de Penetración Estándar – Laboratorio FICM P3

PERFORACIÓN 3 (h= -0.00 a -4.00 m)				
COORDENADAS: X= 765482 Y= 9860306 Z= 2669				
PROFUNDIDAD (m)		TOTAL N (SPT)	PROMEDIO N (SPT)	TIPO DE PERFIL
100	LIMPIEZA		39	CAPA VEGETAL
120	5	20		D
135	8			
150	12			
170	20	22		
185	10			
200	12			
220	17	42		
235	20			
250	22			
270	17	38		
285	18			
300	20			
320	22	49		

335	25	61		
350	24			
370	30			
385	32			
400	29			

Elaborado por: Karina Freire

Tabla N° 11: Ensayo de Penetración Estándar – Laboratorio FICM P4

PERFORACIÓN 4 (h= -0.00 a -4.00 m)				
COORDENADAS: X= 765459 Y= 9859818 Z= 2681				
PROFUNDIDAD (m)		TOTAL N (SPT)	PROMEDIO N (SPT)	TIPO DE PERFIL
100	LIMPIEZA		44	CAPA VEGETAL
120	10	35		D
135	18			
150	17			
170	17	43		
185	19			
200	24			
220	16	45		
235	21			
250	24			

270	24	47		
285	24			
300	23			
320	16	42		
335	19			
350	23			
370	23	54		
385	25			
400	29			

Elaborado por: Karina Freire

Tabla N° 12: Ensayo de Penetración Estándar – Laboratorio FICM P5

PERFORACIÓN 5 (h= -0.00 a -5.00 m)				
COORDENADAS: X= 765459 Y= 9859818 Z= 2681				
PROFUNDIDAD (m)		TOTAL N (SPT)	PROMEDIO N (SPT)	TIPO DE PERFIL
100	LIMPIEZA		38	CAPA VEGETAL
120	6	17		D
135	8			
150	9			
170	12	32		
185	15			

200	17			
220	12	26		
235	12			
250	14			
270	14	30		
285	14			
300	16			
320	14	37		
335	15			
350	22			
370	23	43		
385	22			
400	21			
370	28	57		
385	28			
400	29			
370	30	63		
385	30			
400	33			

Elaborado por: Karina Freire

El intervalo en el cual se encuentra el número de golpes promedio del ensayo SPT, está comprendido entre $50 > N \geq 15.0$, por lo cual la norma ecuatoriana de la construcción clasifica al suelo como un perfil Tipo **D**.

A partir de las muestras obtenidas del ensayo SPT, se realizara una clasificación del tipo de suelo en base a lo expuesto por la SUCS.

Tabla N° 13 Clasificación Tipos de suelo SUCS

TIPO	SUB-TIPOS		IDENTIFICACION			SIMBOLO DE
Suelos (partículas menores de 7,5cm)	SUELOS GRUESOS Mas de la mitad del material se retiene en la malla No 200 (0,075mm)	GRAVA Mas de la mitad de fracción gruesa se retiene en la malla N ^o 4	GRAVA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (Cc)	Menos del 5% en masa pasa la malla N ^o 200	GW
				Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N ^o 200	GP
			GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciada de partículas finas)	Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Más del 12% en masa pasa la malla N ^o 200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véase abajo los grupos ML y MH)	GM
		ARENA Mas de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N ^o 4	ARENA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (Cc)	Menos del 5% en masa pasa la malla N ^o 200	SW
				Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N ^o 200	SP
			ARENA CON FINOS (Cantidad apreciada de partículas finas)	Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.	Más del 12% en masa pasa la malla N ^o 200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véase abajo los grupos ML y MH)	SM
			Arena arcillosa; mezcla de arena, grava y arcilla.	Más del 12% en masa pasa la malla N ^o 200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véase abajo los grupos CL y CH)	SC	
	SUELOS FINOS Mas de la mitad del material pasa la malla N ^o 200 (0,075 MM)	LIMO Y ARCILLA Limite Liquido Menor de 50%	Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Fig. 1 de este Manual.	ML		
			Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la carta de plasticidad mostrada en la Fig. 1 de este Manual.	CL		
			Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Fig. 1 de este Manual.	OL		
		LIMO Y ARCILLA Limite Liquido Mayor de 50%	Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Fig. 1 de este Manual.	MH		
			Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la carta de plasticidad mostrada en la Fig. 1 de este Manual.	CH		
Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Fig. 1 de este Manual.			OH			
ALTAMENTE ORGANICOS		Turba. Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	P			

Fuente: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. SUCS [20]

La caracterización primaria del suelo se realizará en base al ensayo granulométrico como se muestra a continuación en las siguientes tablas.

Tabla N° 14: Clasificación del Suelo P1

<p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS ELABORADO POR: EGDA. KARINA FREIRE</p>

TUTOR: JORGE CEVALLOS			
PERFORACIÓN # 1			
TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	%RETENIDO	% PASA
PRIMER METRO (h= -0.00 a -1.00)			
# 4	7,5	2,5	97,50
# 10	9,8	3,27	94,23
# 40	48,7	16,23	78,00
# 100	67,5	22,5	55,50
# 200	71	23,67	31,83
Fuente	95,5	31,83	
Total	300	100	
SEGUNDO METRO (h= -1.00 a -2.00)			
# 4	10,2	1,7	98,30
# 10	28,9	4,82	93,48
# 40	304,8	50,80	42,68
# 100	98	16,33	26,35
# 200	50,2	8,37	17,98
Fuente	107,9	17,98	
Total	600	100	
TERCER METRO (h= -2.00 a -3.00)			
# 4	0,8	0,24	99,76
# 10	8,2	2,41	97,35
# 40	145,6	42,82	54,53
# 100	101,7	29,91	24,62
# 200	31,3	9,21	15,41
Fuente	52,4	15,41	
Total	340	100	

Elaborado por: Karina Freire

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla anterior y con base a la clasificación SUCS, podemos concluir que el suelo en esta perforación es Arena, debido a que más del 50% en masa de la muestra pasa el tamiz número 4.

Tabla N° 15: Clasificación del Suelo P2

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
--

LABORATORIO DE SUELOS			
ELABORADO POR: EGDA. KARINA FREIRE			
TUTOR: JORGE CEVALLOS			
PERFORACIÓN # 2			
TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	%RETENIDO	% PASA
PRIMER METRO (h= -0.05 a -1.50)			
# 4	83,2	27,73	72,27
# 10	15,6	5,20	67,07
# 40	26,3	8,77	58,30
# 100	52,7	17,57	40,73
# 200	53,7	17,90	22,83
Fuente	68,5	22,83	
Total	300	100	
SEGUNDO METRO (h= -1.50 a -2.50)			
# 4	34,2	10,06	89,94
# 10	20,3	5,97	83,97
# 40	47,5	13,97	70,00
# 100	73,2	21,53	48,47
# 200	61,8	18,18	30,29
Fuente	103	30,29	
Total	340	100	
TERCER METRO (h= -2.50 a -3.50)			
# 4	48,3	8,05	91,95
# 10	40,7	6,78	85,17
# 40	90,5	15,08	70,08
# 100	126,5	21,08	49,00
# 200	125,9	20,98	28,02
Fuente	168,1	28,02	
Total	600	100	

Elaborado por: Karina Freire

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla anterior y con base a la clasificación SUCS, podemos concluir que el suelo en esta perforación es Arena, debido a que más del 50% en masa de la muestra pasa el tamiz número 4.

Tabla N° 16: Clasificación del Suelo P3

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS			
ELABORADO POR: EGDA. KARINA FREIRE			
TUTOR: JORGE CEVALLOS			
PERFORACIÓN # 3			
TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	%RETENIDO	% PASA
PRIMER METRO (h= -1.00 a -2.00)			
# 4	3,7	1,23	98,77
# 10	5,5	1,83	96,93
# 40	41	13,67	83,27
# 100	71,3	23,77	59,50
# 200	71,7	23,90	35,60
Fuente	106,8	35,60	
Total	300	100	
SEGUNDO METRO (h= -2.00 a -3.00)			
# 4	8,9	1,48	98,52
# 10	10,8	1,80	96,72
# 40	83,8	13,97	82,75
# 100	160,9	26,82	55,93
# 200	175,1	29,18	26,75
Fuente	160,5	26,75	
Total	600	100	
TERCER METRO (h= -3.00 a -4.00)			
# 4	4,1	1,37	98,63
# 10	11,4	3,80	94,83
# 40	64,6	21,53	73,30
# 100	99,3	33,10	40,20
# 200	41	13,67	26,53
Fuente	79,6	26,53	
Total	300	100	

Elaborado por: Karina Freire

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla anterior y con base a la clasificación SUCS, podemos concluir que el suelo en esta perforación es Arena, debido a que más del 50% en masa de la muestra pasa el tamiz número 4.

Tabla N° 17: Clasificación del Suelo P4

PERFORACION # 4			
TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	%RETENIDO	% PASA
PRIMER METRO (h= -1.00 a -2.00)			
# 4	49,5	17,10	82,90
# 10	29,4	10,16	89,84
# 40	58,8	20,32	79,68
# 100	64,5	22,29	77,71
# 200	40,8	14,10	85,90
Fuente	46,4	16,03	
Total	289,4	100	
SEGUNDO METRO (h= -2.00 a -3.00)			
# 4	22,90	3,82	98,84
# 10	35,20	5,87	
# 40	122,40	20,40	
# 100	244,60	40,77	
# 200	104,60	17,43	9,23
Fuente	70,30	11,72	
Total	600	100	
TERCER METRO (h= -3.00 a -4.00)			
# 4	21,20	5,91	99,12
# 10	23,40	6,52	
# 40	73,20	20,39	
# 100	114,30	31,84	
# 200	61,50	17,13	15,11
Fuente	65,40	18,22	
Total	359	100	

Elaborado por: Karina Freire

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla anterior y con base a la clasificación SUCS, podemos concluir que el suelo en esta perforación es Arena, debido a que más del 50% en masa de la muestra pasa el tamiz número 4.

Tabla N° 18: Clasificación del Suelo P5

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS**

ELABORADO POR: EGDA. KARINA FREIRE

TUTOR: JORGE CEVALLOS

PERFORACIÓN # 5			
TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	%RETENIDO	% PASA
PRIMER METRO (h= -1.00 a -2.00)			
# 4	0,6	0,15	99,85
# 10	4,2	1,05	98,80
# 40	46,5	11,63	87,18
# 100	116,7	29,18	58,00
# 200	124,9	31,23	26,78
Fuente	107,1	26,78	
Total	400	100	
SEGUNDO METRO (h= -2.00 a -3.00)			
# 4	47,10	7,85	92,15
# 10	20,20	3,37	88,78
# 40	80,70	13,45	75,33
# 100	152,60	25,43	49,90
# 200	164,50	27,42	22,48
Fuente	134,90	22,48	
Total	600	100	
TERCER METRO (h= -3.00 a -4.00)			
# 4	0,90	0,26	99,74
# 10	6,50	1,86	97,89
# 40	68,50	19,57	78,31
# 100	84,20	24,06	54,26
# 200	78,40	22,40	31,86
Fuente	111,50	31,86	
Total	350	100	
CUARTO METRO (h= -4.00 a -5.00)			
# 4	6,80	1,94	98,06
# 10	14,40	4,11	93,94
# 40	98,50	28,14	65,80
# 100	90,60	25,89	39,91

# 200	51,80	14,80	25,11
Fuente	87,90	25,11	
Total	350	100	
QUINTO METRO (h= -5.00 a -6.00)			
# 4	2,30	0,62	99,38
# 10	10,70	2,89	96,49
# 40	88,20	23,84	72,65
# 100	76,70	20,73	51,92
# 200	71,80	19,41	32,51
Fuente	120,30	32,51	
Total	370	100	

Elaborado por: Karina Freire

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla anterior y con base a la clasificación SUCS, podemos concluir que el suelo en esta perforación es Arena, debido a que más del 50% en masa de la muestra pasa el tamiz número 4.

4.1.6 Determinación De La Velocidad De La Onda De Cortante (Vs)

La velocidad media de onda cortante de las capas de suelo ubicadas desde la superficie hasta 30 metros debajo de ella, es un parámetro importante para el análisis de peligro sísmico a nivel mundial. Generalmente la determinación de este parámetro se realiza mediante un ensayo de refracción sísmica, pero en el presente estudio se utilizara correlaciones en función al número de golpes del ensayo SPT para determinar la velocidad de onda cortante, lo cual está permitido dentro de la clasificación de suelos de la NEC-2015.

La correlación utilizada será la de Kirar et al.2016 debido al buen ajuste que tiene con respecto al número de golpes del ensayo SPT y la velocidad de onda cortante sugerida por la NEC.

Para todo tipo de suelo

$$V_s = 99.5 N^{0.345}$$

Ec. 2

Para suelo arenoso

$$V_s = 100.3 N^{0.338} \quad \text{Ec. 3}$$

Para suelo arcilloso

$$V_s = 94.4 N^{0.379} \quad \text{Ec. 4}$$

Tabla N° 19: Calculo de la Velocidad Cortante V_s

PERFORACIÓN	NSPT	TIPO DE PERFIL	V_s 30 (m/s)	V_s 30 (m/s) promedio
1	41	D	358,29	357,57
2	42	D	361,28	
3	39	D	352,16	
4	44	D	367,13	
5	38	D	349,02	

Elaborado por: Karina Freire

Según lo dispuesto en la NEC-2015 el resultado del número de golpes del ensayo SPT y la Velocidad de Onda Cortante calculada a partir de la correlación de Kirar et al 2016, clasifican al suelo en el área de investigación como tipo D, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 20. Clasificación de los Perfiles del Suelo NEC-2015

TIPO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s

C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
	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	
	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 [17]

La Velocidad de Onda Cortante (V_s) es coincidente con el número de golpes, por lo que se ratifica la clasificación del tipo de suelo según la NEC-2015.

4.1.7 Ecuaciones De Predicción De Movimiento Se Suelo GMPE'S.

4.1.7.1 Ecuaciones de Atenuación para Régimen Cortical

Sismos Corticales Superficiales con una profundidad $\leq 30\text{Km}$.

A) Modelo David M. Boore y Gail M. Atkinson (2008)

Las ecuaciones fueron obtenidas de acuerdo al modelo de Boore - Atkinson realizado por un análisis de regresión en donde se tomó un conjunto de datos PEER-NGA, los mismos que determinan los análisis de sismos fuertes generados a nivel mundial compilados en sitios tectónicos activos. Las ecuaciones representan un estudio basado en las actualizaciones por GMPE las mismas que se publicaron por el autor Boore. Los datos utilizados sobre los análisis de regresión se encuentran designados mediante rangos de magnitud y distancia para el análisis de peligro sísmico.

Para este modelo se utilizó alrededor de 1574 grabaciones para períodos de hasta 1 segundo, con una ligera disminución en 2 segundos y una disminución rápida en el número de datos para períodos mayores a 2 segundos. La mayor parte de los datos provienen de lugares con roca blanda hasta suelo firme, muy pocos son los datos para roca dura.

La aplicación de estas ecuaciones cumple con las siguientes restricciones: velocidad de onda cortante (V_{s30}) de 180 m/s a 1300 m/s; magnitud de momento (M_w) entre 5 y 8; distancia de la fuente al sitio de estudio (R_{JB}) menor a 200km. [21]

La ecuación utilizada es la siguiente:

$$\ln y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{s30}, R_{JB}, M) + \varepsilon \quad \text{Ec. 5}$$

Dónde:

F_M = Función de la escala de magnitud.

F_D = Función de distancia.

F_S = Función de la amplificación de sitio.

M = Magnitud de momento.

R_{JB} = Es la distancia de Joyner-Boore definida como la distancia más cercana a la proyección en la superficie de falla.

ε = Desviación estándar

Función escala de magnitud está dada por:

$$a) \quad M \leq M_h$$

$$F_M(M) = e_1 U + e_2 SS + e_3 NS + e_4 RS + e_5 (M - M_h) + e_6 (M - M_h)^2 \quad \text{Ec. 6}$$

$$b) \quad M > M_h$$

$$F_M(M) = e_1 U + e_2 SS + e_3 NS + e_4 RS + e_7 (M - Mh) \quad \text{Ec. 7}$$

U, SS, NS, RS son variables ficticias que se usan para indicar el tipo de falla, no especificada, falla transcurrente, falla normal, falla inversa respectivamente. Mh es un coeficiente que se estableció durante el análisis de regresión. [21]

- Coeficientes en función del Tipo de Falla

Falla no especificada (U)

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

Falla Transcurrente (SS)

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

Falla Normal (NS)

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

Falla Inversa (RS)

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

Función de distancia está dada por:

$$F_D(R_{JB}, M) = [c_1 + c_2 (M - M_{ref})] \ln \left(\frac{R}{R_{ref}} \right) + c_3 (R - R_{ref}) \quad \text{Ec. 8}$$

Dónde:

$$R = \sqrt{R_{JB} + h^2} \quad \text{Ec. 9}$$

$c_1, c_2, c_3, M_{ref}, R_{ref}$ y h son los coeficientes de escala de distancia determinados en el análisis de regresión. (Ver Anexo B-2)

Los valores de referencia $M_{ref} = 4.5$ ya que se trata de la magnitud aproximada de gran parte de los datos utilizados para determinar los coeficientes fijos y $R_{ref} = 1\text{km}$, puesto que las curvas que describen la dependencia de la distancia giran alrededor de este valor.

Función de amplificación de sitio

$$F_S = F_{LIN} + F_{NL} \quad \text{Ec. 10}$$

F_{LIN} y F_{NL} son los términos lineal y no lineal respectivamente.

Término Lineal

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln\left(\frac{V_{S30}}{V_{ref}}\right) \quad \text{Ec. 11}$$

b_{lin} = coeficiente dependiente del periodo.

V_{ref} = velocidad de referencia especificada en 760m/s.

Término No Lineal

a) $pga4nl \leq a_1$

$$F_{LIN} = b_{nl} \ln \left(\frac{pga_low}{0.1} \right) \quad \text{Ec. 12}$$

b) $a_1 < pga4nl \leq a_2$

$$F_{LIN} = b_{nl} \ln \left(\frac{pga_low}{0.1} \right) + c \left[\ln \left(\frac{pga4nl}{a_1} \right) \right]^2 + d \left[\ln \left(\frac{pga4nl}{a_1} \right) \right]^3 \quad \text{Ec. 13}$$

c) $a_2 < pga4nl$

$$F_{LIN} = b_{nl} \ln \left(\frac{pga4nl}{0.1} \right) \quad \text{Ec. 14}$$

Los coeficientes:

$a_1 = 0.03g$, $a_2 = 0.09g$ asignan niveles de amplificación lineal y no lineal respectivamente.

$pga_low = 0.06g$ es una variable de transición entre el comportamiento lineal y no lineal.

$pga4nl$ es el PGA previsto en g para $V_{ref} = 760$ m/s dado por la ecuación principal con $FS = 0$ y $\varepsilon = 0$. [21]

Los coeficientes c y d están dados por:

$$c = \frac{(3\Delta_y - b_{nl}\Delta_x)}{\Delta_x^2} \quad \text{Ec. 15}$$

$$d = \frac{-(2\Delta_y - b_{nl}\Delta_x)}{\Delta_x^3} \quad \text{Ec. 16}$$

$$\Delta_x = \ln\left(\frac{a_2}{a_1}\right) \quad \text{Ec. 17}$$

$$\Delta_y = b_{nl} \ln\left(\frac{a_2}{\text{pga_low}}\right) \quad \text{Ec. 18}$$

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

a) $V_{s30} \leq V_1$

$$b_{nl} = b_1 \quad \text{Ec. 19}$$

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

$$b_{nl} = \frac{(b_1 - b_2) \ln\left(\frac{V_{s30}}{V_2}\right)}{\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)} + b_2 \quad \text{Ec. 20}$$

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

$$b_{nl} = \frac{b_2 \ln\left(\frac{V_{s30}}{V_{ref}}\right)}{\ln\left(\frac{V_2}{V_{ref}}\right)} \quad \text{Ec. 21}$$

d) $V_{ref} \leq V_{s30}$

$$b_{nl} = 0 \quad \text{Ec. 22}$$

Dónde:

$V_1=180$ m/s, $V_2=300$ m/s. b_1 y b_2 son coeficientes dependientes del período, consecuentemente b_{nl} es función del período, así como lo es de V_{s30} . [21]

Limitaciones de modelo

Estas ecuaciones no deben ser aplicadas para sitios de roca muy dura. Las ecuaciones son aplicables para:

$M_w = 5 - 8$ (Magnitud de Momento)

$V_{s30} = 180-1300$ m/s (Velocidad de onda cortante)

$R_{JB} < 200$ km (Distancia más cercana a la proyección en la superficie de falla)

B) Modelo Sinan Akkar Y Julian Bommer (2010)

Este documento se basa en Akkar y Bommer (2007a), siguieron con trazar curvas de atenuación para los valores medianos de PGA y ordenadas espectrales medianas para un número de escenarios de magnitud-distancia, compararon los valores obtenidos con otras ecuaciones como los modelos de Nueva generación de Atenuación (NGA), Stafford, Strasser y Bommer 2008-2010. [22]

En este modelo de atenuación se utilizaron aproximadamente 532 datos de acelerogramas obtenidos de un total de 131 movimientos sísmicos con magnitudes entre 5Mw a 7.6Mw en distancias de hasta 100 km, por lo cual estos parámetros de magnitud y distancia son las limitantes que restringen el uso de esta ecuación de atenuación. El modelo no incluye la profundidad de ruptura debido a que para eventos de pequeña magnitud con dimensiones de ruptura que son grandes en comparación con el espesor de la corteza sismogénica, la profundidad de ruptura no tiene una fuerte influencia. [22]

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

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

Ec. 23

Psa = Pseudo aceleración espectral amortiguada al 5% en cm/s².

b1, b2, b3, b4, b5, b6, b7, b8, b9, b10= Coeficientes de la regresión.

σ = Desviación estándar.

R_{JB} = Distancia más cercana a la proyección de la falla.

M = Magnitud de momento.

σ_1 = Variabilidad Intra-evento

σ_2 = Variabilidad Inter-evento

Categorías:

Suelo blando: SS= 1; SA= 1; Vs30 < 360m/s.

Suelo rígido: SS= 1; SA= 1;

Roca: SS= 0; SA= 0; Vs30 > 750m/s.

Categorías de mecanismo de falla:

Falla normal: FN= 1; FR= 1

Falla inversa: FN= 1; FR= 1

Falla transcurrente: FN= 0; FR= 0

C) Modelo Kanno Et Al (2006)

Tras el terremoto de Kobe de 1995, el gobierno japonés por prevenir futuros desastres, instaló estaciones de observación de movimiento fuerte, incluyendo K-NET (Kinoshita 1998). En 2005 la sede de Earthquake Research Promotion publicó mapas nacionales de peligros sísmicos en un sitio web. Estos mapas indican solo la intensidad sísmica para Japón.

Relaciones empíricas de atenuación para los espectros de respuesta como Kobayashi y Midorikawa 1982, Annaka 1997, existen para Japón. En este estudio registra movimientos de tierras fuertes japoneses entre 1963 y 2003 para identificar una nueva relación de atenuación estándar, para la aceleración de respuesta y la aceleración máxima de terreno (PGA) y la velocidad (PGV).

Por lo tanto este modelo tiene solo tres variables: magnitud de terremoto, distancia más corta al plano de falla sísmica y profundidad focal. [23]

Eventos Superficiales

Si $D \leq 30$ Km

$$\log \text{pre} = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d1 * 10^{0.5M_w}) + c1 + \epsilon_1 \quad \text{Ec. 24}$$

Eventos Profundos

Si $D > 30$ Km

$$\log \text{pre} = a_2 M_w + b_2 X - \log(X) + c2 + \epsilon_2 \quad \text{Ec. 25}$$

En el presente estudio se toma como una falla cortical por lo cual se utilizará la primera ecuación, por no tener una profundidad focal menor a 30 km.

Dónde:

Pre es el PGA o la aceleración espectral de respuesta amortiguada del 5% (cm/seg²).

D = profundidad focal (km).

M= Magnitud de Momento

X= Distancia Joyner y Boore.

$a_1, b_1, c_1, d_1, \varepsilon_1$, = Coeficientes de regresión para el modelo de eventos superficiales de PGA, PGV y espectros de respuesta de aceleración amortiguada del 5%. (Ver Anexo D-1)

En el caso de terremotos poco profundos, se utiliza un esquema de ponderación adoptado por Midorikawa y Ohtake (2003), donde considera:

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

Zhao et al. (2004) utilizaron factores de amplificación individuales para cuatro clases de sitios discretos. Para obtener un término de corrección de sitio continuo, asumimos la siguiente ecuación simple:

$$G = p \log V_{s30} + q$$

Ec. 26

Dónde:

G es un término de corrección adicional correspondiente a los efectos del sitio.

$\log(\text{obs} / \text{pre})$ es el residuo entre la amplitud observada de PGA, PGV y la aceleración espectral (obs) y los valores predichos (pre) por el modelo base.

Los coeficientes p y q se obtuvieron mediante análisis de regresión de los residuos promediados a intervalos de cada 100 m/seg en V_{s30} . El valor predicho después de aplicar los términos de correcciones adicionales (*pre G*) se puede interpretar de la siguiente manera:

$$\log pre_G = \log pre + G$$

Ec. 27

Limitaciones de modelo

Las ecuaciones del modelo de Kanno et al (2006) deben ser usadas para:

- Eventos poco profundos
Donde la profundidad focal debe estar entre 0 y 30 km
- Eventos profundos
Donde la profundidad focal debe estar entre 30 y 180 km

4.1.7.2 Ecuaciones de Atenuación para Subducción

La profundidad focal para estos modelos de subducción será de 125 km, ya que en eventos registrados las profundidades han sido mayores a los 100 km, y en este tipo de modelos utilizan profundidades focales igual a 125 km. [24]

A) Modelo Youngs (1997)

Este documento presenta relaciones de atenuación para terremotos de zonas de subducción. Se consideran dos tipos de terremotos de zonas de subducción, terremotos de interplaca e intraplaca. Los terremotos de interplaca de zona de subducción son eventos de empuje de ángulo superficial que se producen en la interfaz entre las placas de subducción y de superposición. Los terremotos de intraplaca de la zona de la subducción ocurren dentro de la placa oceánica. [24]

El desarrollo de las relaciones de atenuación en este modelo es considerado apropiado para los sismos de magnitudes 5Mw o mayores, y para distancias de proyección de la falla de 10 a 500 km, profundidades focales entre 10 y 229 km.

Los datos usados para la creación de las ecuaciones de movimiento de suelo denotaron que los sismos provocados en zonas de subducción producen movimientos telúricos que se

atenúan en menor proporción que los sismos provocados por fallas dentro de las zonas de placas tectónicas, siendo esta diferencia más relevante para sismos de gran duración.

$$\ln y = -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2 + (10 - M)^3 + C_3 \ln (R1.097^{0.617M}) + 0.00648H + 0.3643Z_T$$

$$\text{Desviación Estándar} = C_4 + C_5M \quad \text{Ec. 28}$$

La desviación estándar para magnitudes $M \geq 8$ se establece igual al valor de la magnitud $M=8$

Dónde:

Y=Aceleración espectral en g

M=Magnitud de momento.

R=Distancia más cercana a la falla (Km)

H=Profundidad Focal (Km)

Zt=Indica el tipo de fuente (0 para sismos interplaca y 1 para sismos intraplaca)

c1, c2, c3= Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral horizontal (5% de amortiguación) para terremotos de subducción. (Ver Anexo E-1)

Categorías:

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

Limitaciones del Modelo

El desarrollo de las relaciones de atenuación en este modelo es considerado apropiado para los sismos de magnitudes 5 o mayores, Estas ecuaciones deben ser usadas para:

- Magnitudes desde $M_w = 5$
- Profundidades focales entre 10 y 229 km

B) Modelo Zhao (2006)

Japón se encuentra en una zona sísmica activa, debido a que las ondas sísmicas, esperan que los movimientos de tierra generados por terremotos sean diferentes, incluso si los eventos tienen idénticas magnitud y distancias de fuente. Los modelos de atenuación de movimiento para subducción toman en cuenta la profundidad focal ya que tiene un gran efecto en las aceleraciones producidas.

Para el presente modelo se usaron alrededor de 1481 eventos corticales, 1520 eventos interplaca y 1725 eventos intraplaca. [25]

$$\log y = aM_w + bx - \log(r) + e(h - hc)\delta + FR + SI + Ss + SSL \log(x) + Ck \quad \text{Ec. 29}$$

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

Dónde:

Y=Aceleración espectral amortiguada al 5% en cm/s²

a, b, c, d, e=Términos obtenidos del análisis de regresión

M_w= Magnitud de momento

X= Distancia a la fuente en Km

h=Profundidad focal en Km.

h_C=Constante de profundidad para eventos superficiales

FR=Aplicable sólo a eventos de falla inversa y cero para todo los demás.

SI=Parámetro del tipo de fuente tectónico, aplicable sólo a eventos interplaca, para el resto de eventos es cero.

SS=Parámetro aplicable sólo a eventos de subducción, para el resto de eventos es cero.

SSL=Parámetro modificador de trayectoria para eventos intraplaca.

C_k=Parámetro de la clase de suelo.

δ_h=Toma el valor de 1 cuando $h \geq h_c$ caso contrario es 0.

Límites de Profundidades focales

Evento cortical: $0 \leq h \leq 25$

Evento Interplaca: $10 \leq h \leq 50$

Eventos Intraplaca: $15 \leq h \leq 162$

Cuando $h > 125$ Km, entonces $h = 125$ Km

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

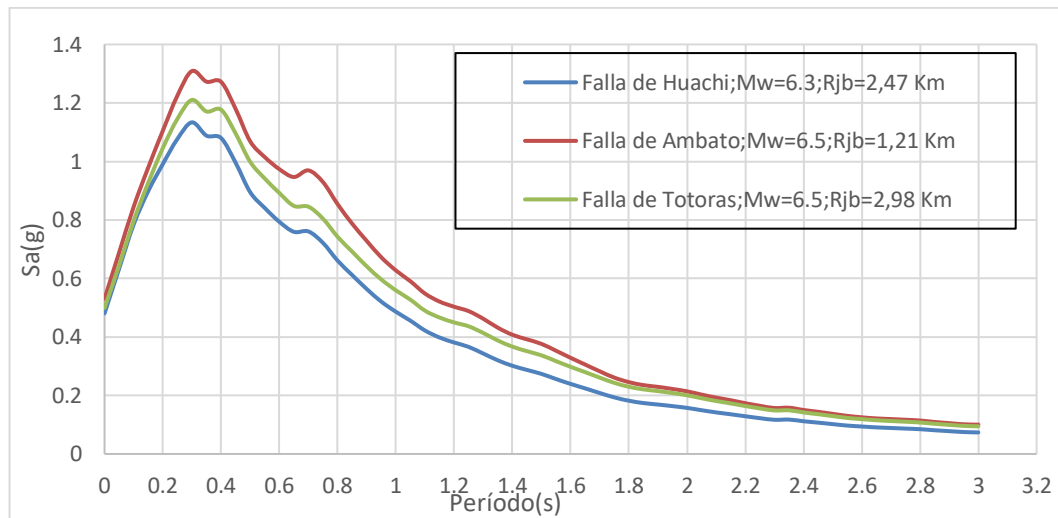
4.2.1 Espectros Para Fallas Corticales

Para la utilización de las ecuaciones de predicción de movimiento en el régimen cortical se ha considerado profundidades focales $\leq 30\text{km}$.

Para la utilización de las ecuaciones de predicción de movimiento en el régimen cortical se ha considerado profundidades focales $\leq 30\text{km}$.

A) Espectros Calculados con el Modelo de AKKAR-BOMMER

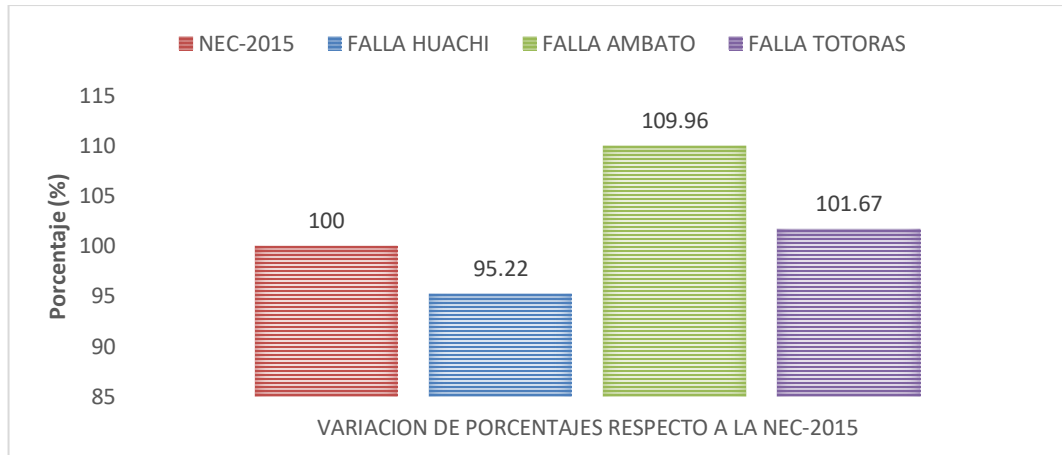
Gráfico N° 27. Espectro de Aceleración para el Modelo Akkar-Bommer



Elaborado por: Karina Freire

El modelo de Akkar y Bommer sitúa a las aceleraciones producidas por la liberación de energía de la falla de Ambato por encima de las restantes, cabe notar que esta superioridad no es muy marcada como lo era en el modelo de Boore y Atkinson.

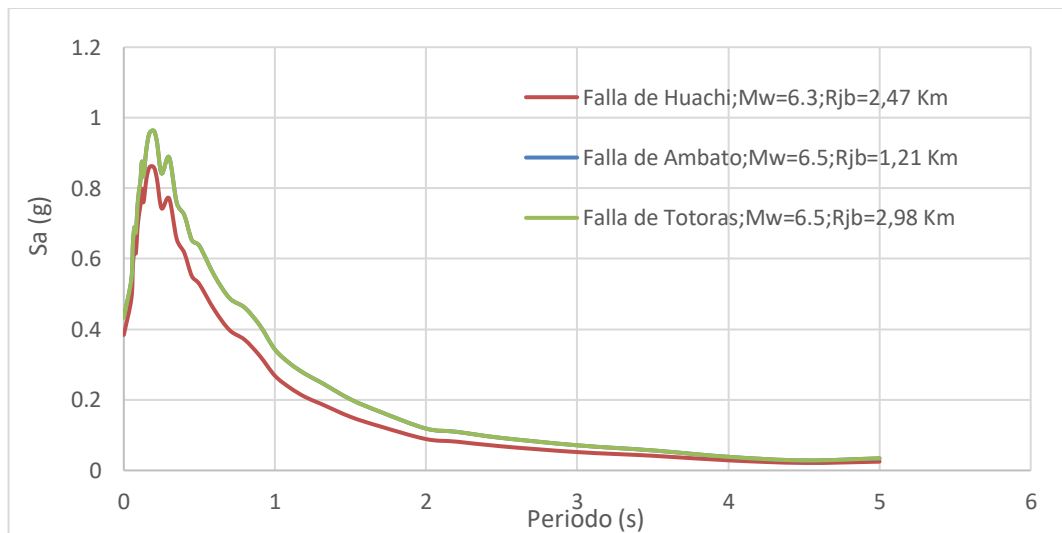
Gráfico N° 28. Variación de Porcentajes del Modelo Akkar-Bommer con relación al Espectro NEC- 2015.



Elaborado por: Karina Freire

B) Espectros Calculados con el Modelo de KANNO

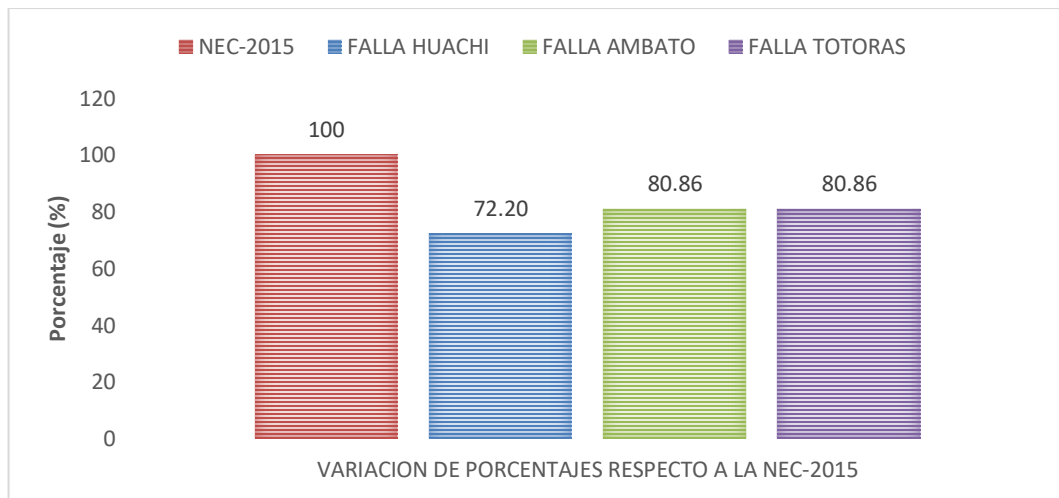
Gráfico N° 29. Espectro de Aceleración para el Modelo de Kanno



Elaborado por: Karina Freire

La particularidad encontrada en el modelo de Kanno es el ajuste casi perfecto que tienen las aceleraciones producidas por la falla de Ambato y Totoras, puesto que sus magnitudes son iguales.

Gráfico N° 30. Variación de Porcentajes del Modelo Kanno con relación al Espectro NEC- 2015

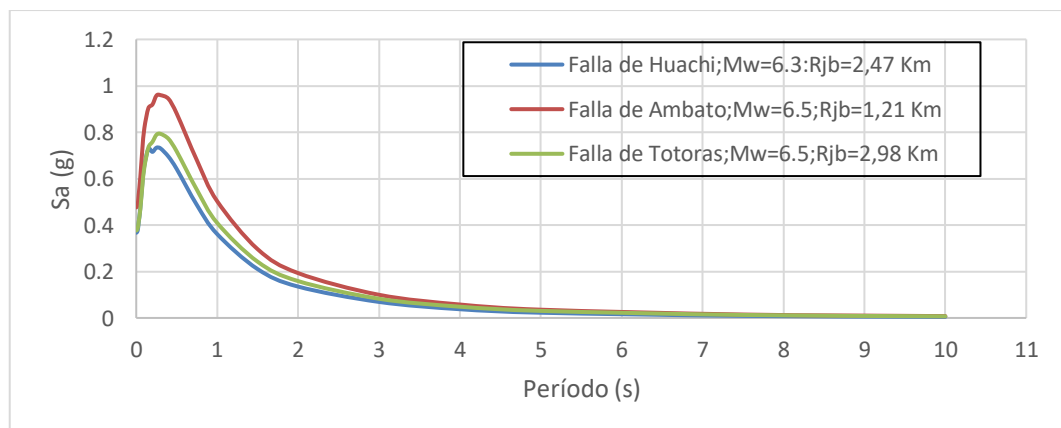


Elaborado por: Karina Freire

C) Espectros Calculados con el Modelo de Boore y Atkinson

El siguiente gráfico representa el espectro obtenido con Boore y Atkinson para las fallas intraplaca (cortical). Se usó para todas las ecuaciones $V_s = 357,57$ m/s.

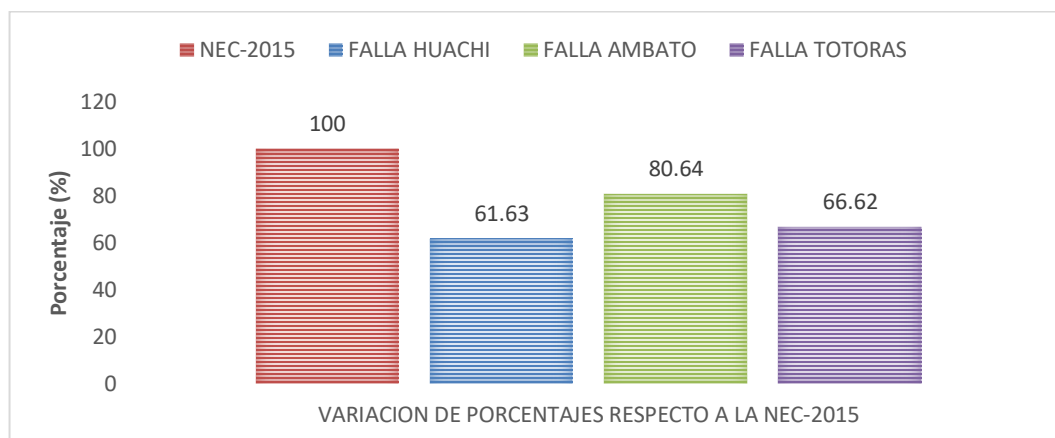
Gráfico 31. Espectro de Aceleración para el Modelo Boore – Atkinson 2008



Elaborado por: Karina Freire

A partir del gráfico obtenido por el modelo de Boore y Atkinson, podemos concluir que se la falla de Ambato produce las mayores aceleraciones, dado que esta falla genera una magnitud de 6.5 al igual que la de Totoras, pero esta se encuentra más cercana a la zona de estudio.

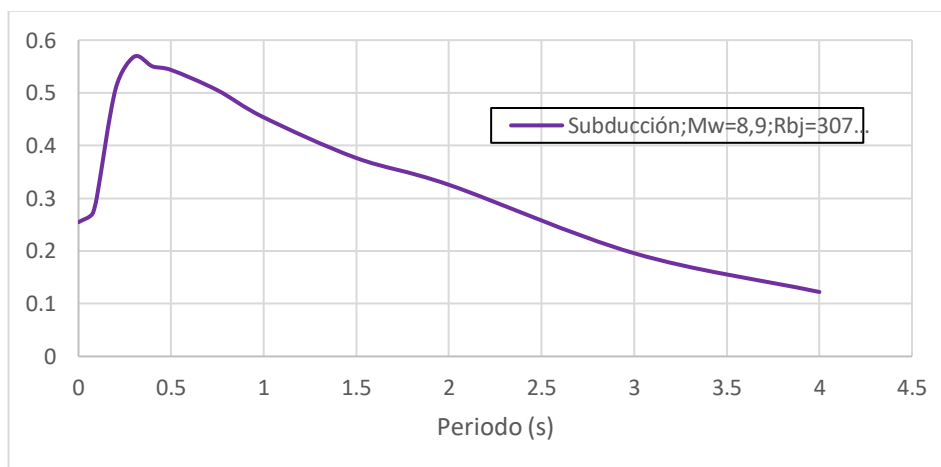
Gráfico N° 32. Variación de Porcentajes del Modelo Boore - Atkinson con relación al Espectro NEC- 2015.



Elaborado por: Karina Freire

D) Espectros Calculados con el Modelo de YOUNGS

Gráfico N° 33. Espectro de Aceleración para el Modelo YOUNGS

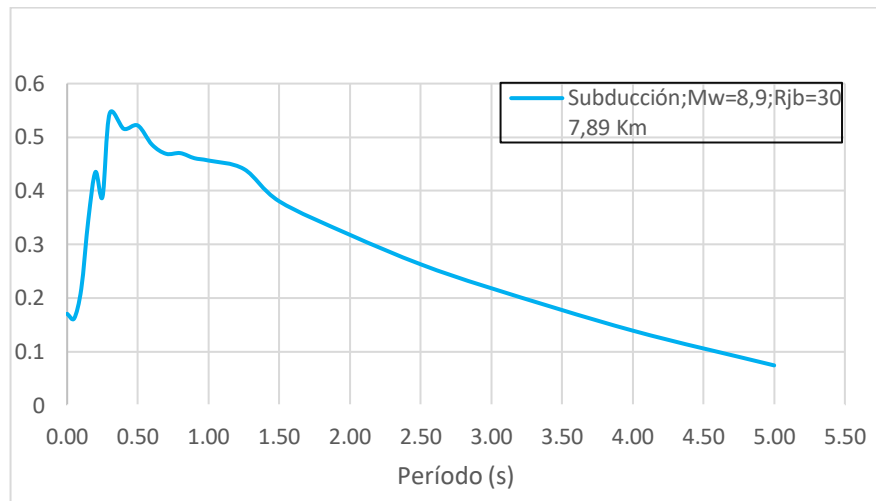


Elaborado por: Karina Freire

En el modelo de Youngs utilizado para calcular las aceleraciones producidas por el fenómeno de subducción podemos notar que las aceleraciones para períodos cortos son bajas en comparación a las aceleraciones producidas por el régimen cortical, por otro lado las aceleraciones para períodos largos son superiores.

E) Espectros Calculados con el Modelo de ZHAO

Gráfico N° 34. Espectro de Aceleración para el Modelo Zhao



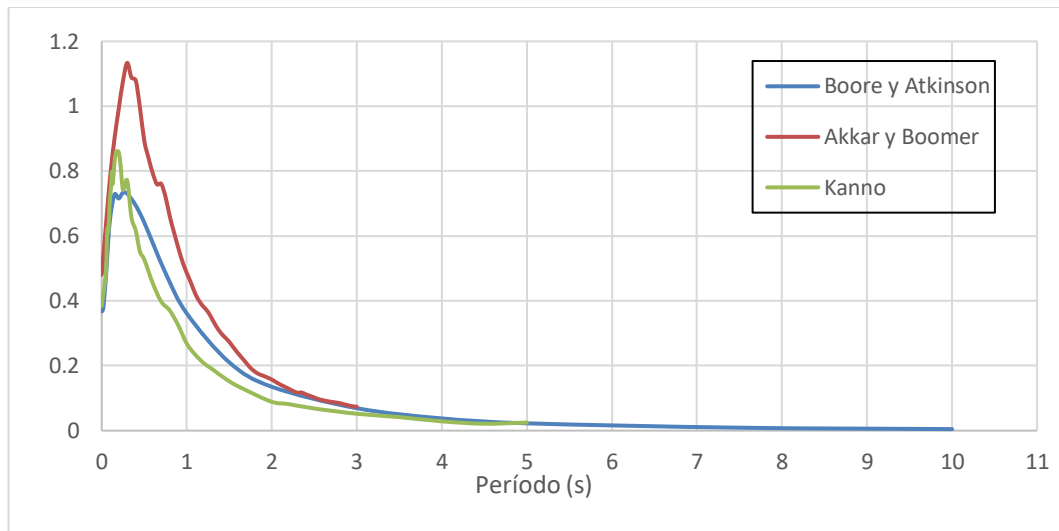
Elaborado por: Karina Freire

En el modelo de Zhao las aceleraciones para períodos largos son superiores a las del fallamiento cortical, por otro lado en períodos cortos se ven sumamente superadas.

4.2.2 Espectros Con Modelos Para Una Falla

Para realizar una comparación entre la aceleración producida por cada uno de los modelos para las fallas en estudio se presentan a continuación los espectros para las fallas de Ambato, Huachi, Totoras y Subducción.

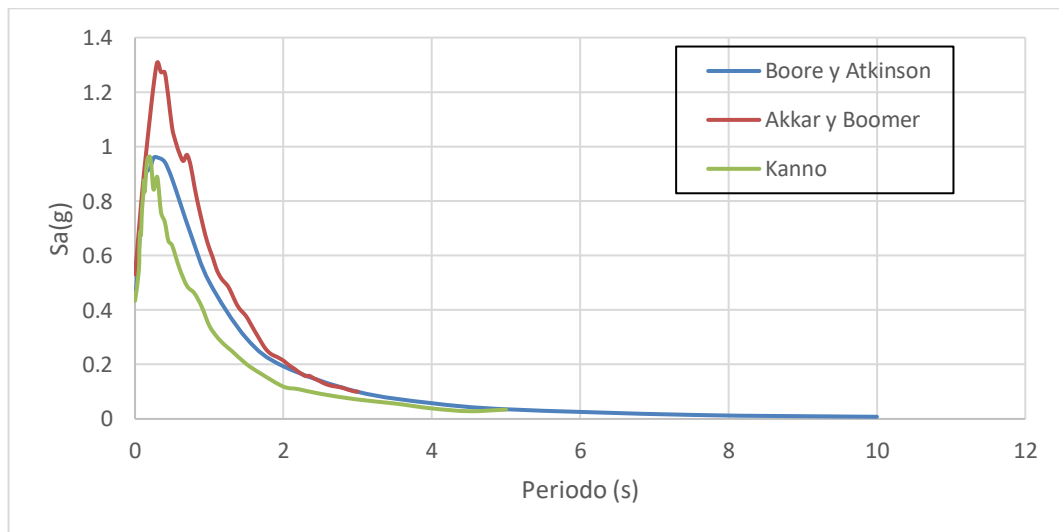
Gráfico N° 35. Espectros en Aceleración para la Falla de HUACHI con los Modelos de BOORE-ATKINSON, AKKAR-BOOMER, KANNO.



Elaborado por: Karina Freire

Las aceleraciones para la falla de Huachi son mayores para el modelo de Akkar y Boomer, con valores que superan aproximadamente 1.5 veces las aceleraciones producidas por el modelo de Boore y Atkinson y Kanno.

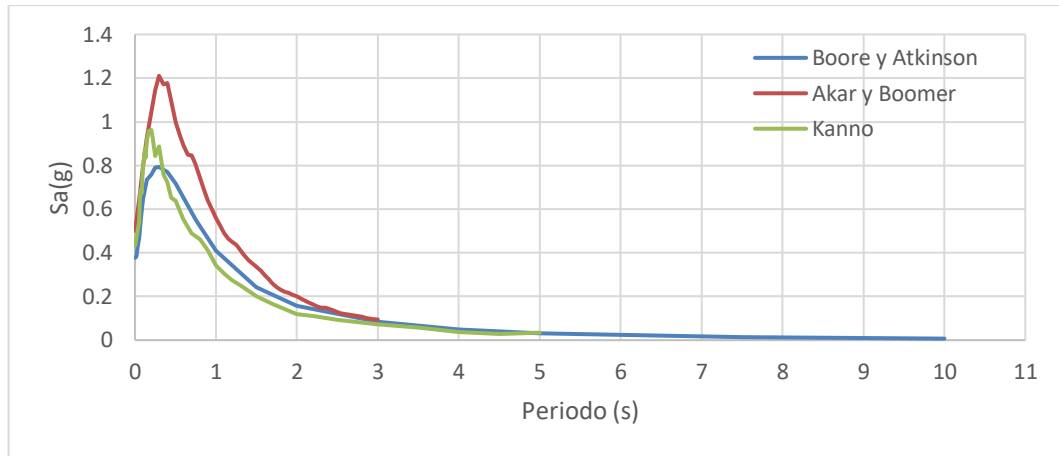
Gráfico N° 36. Espectros en aceleración para la falla de Ambato con los modelos de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno.



Elaborado por: Karina Freire

Para la falla de Ambato el modelo que produce las mayores aceleraciones es el modelo de Akkar y Boomer.

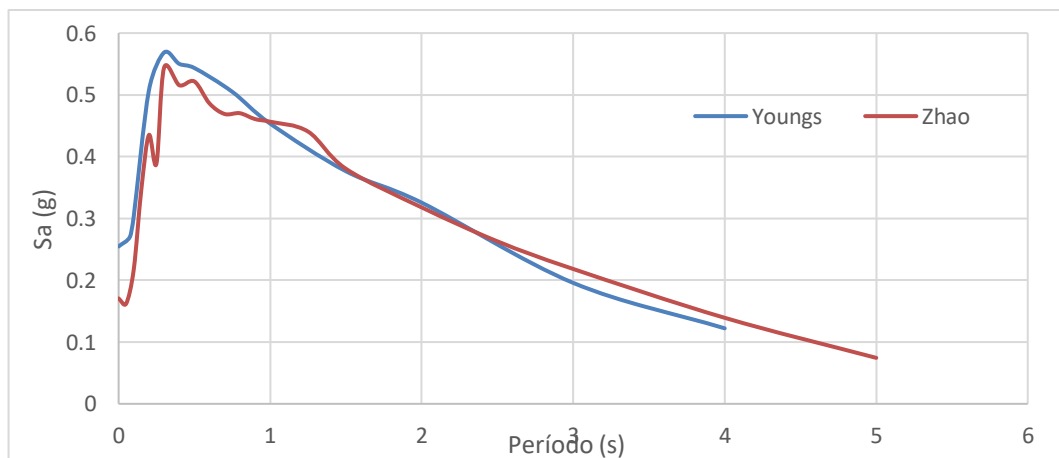
Gráfico N° 37. Espectros en Aceleración para la Falla de Totoras con los modelos de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno.



Elaborado por: Karina Freire

De la imagen anterior podemos concluir que el modelo de Akkar y Boomer produce las mayores aceleraciones para la falla de Totoras, tal y como sucedió para el resto de fallas del régimen cortical.

Gráfico N° 38: Espectros en aceleración para la falla de Subducción con los modelos de Youngs y Zhao.

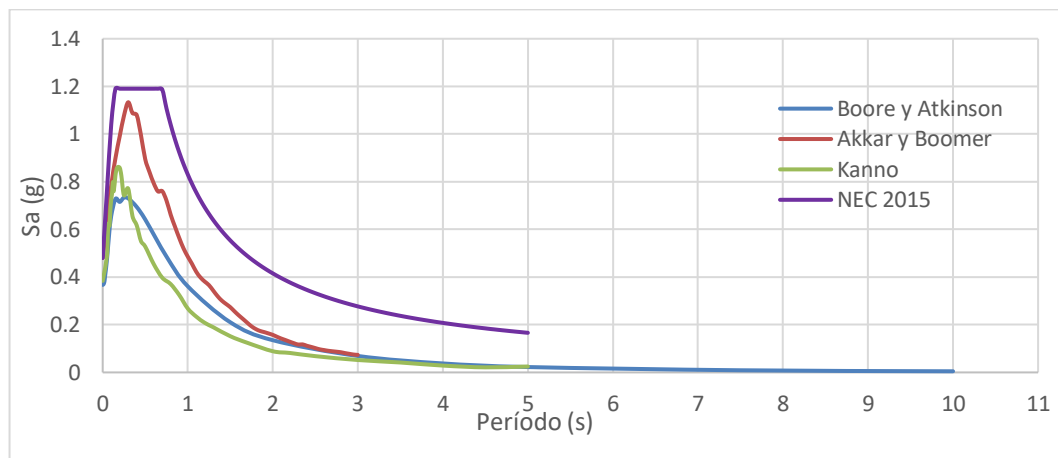


Elaborado por: Karina Freire

Para la falla de subducción en periodos cortos el modelo Atkinson y Boore produce las mayores aceleraciones, pero conforme aumentan el periodo las aceleraciones disminuyen de manera precipitada, lo que da lugar de Zhao produzca las mayores aceleraciones en períodos largos.

4.2.3 Contraste De Los Espectros Calculados Con El Espectro NEC-2015

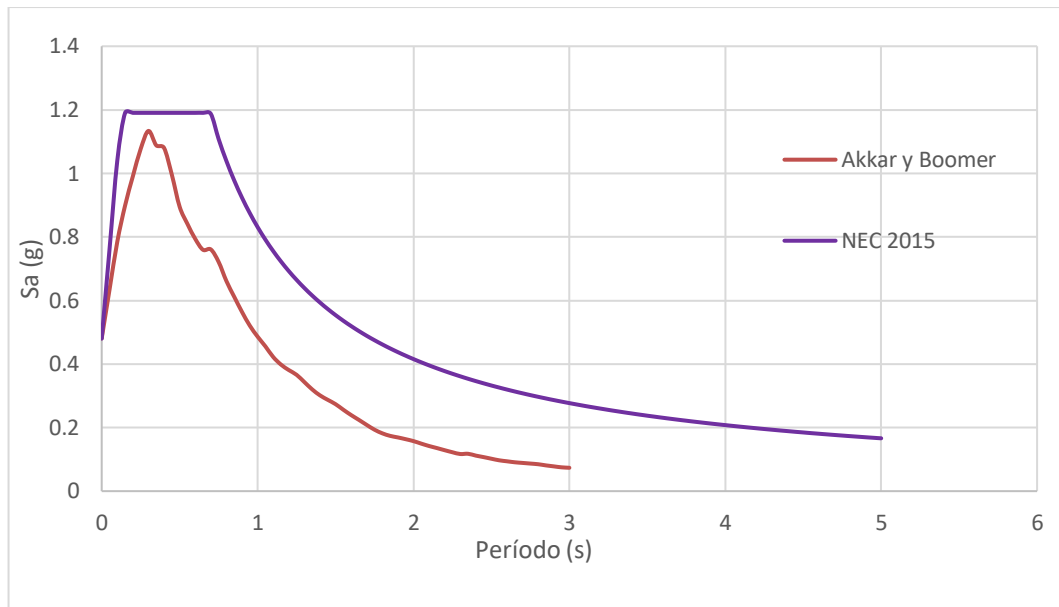
Gráfico N° 39. Espectros en aceleración para la falla de Huachi con los modelos de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno, NEC-2015



Elaborado por: Karina Freire

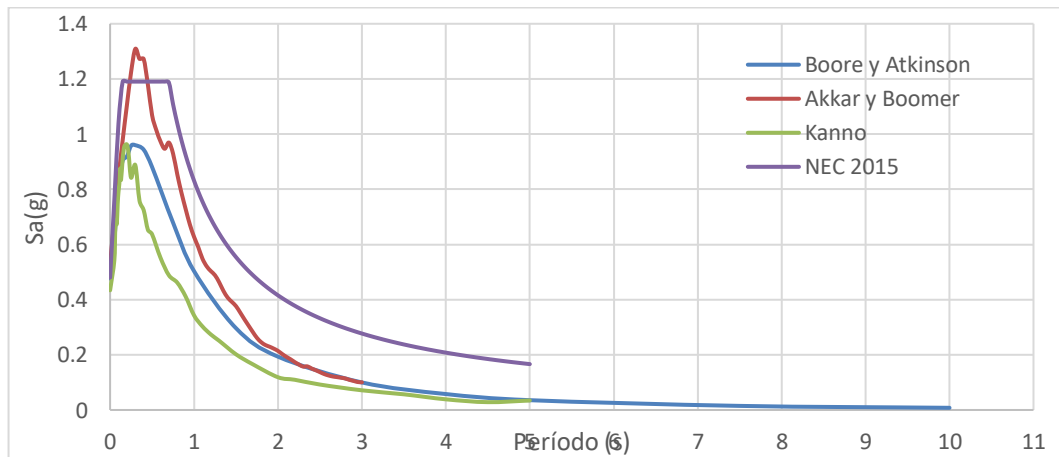
Las aceleraciones producidas por la liberación de energía de la falla de Huachi no superan a las propuestas por el espectro normativo, razón por la cual las estructuras diseñadas con el espectro NEC-2015 tienen un rango de seguridad ante un posible sismo producto de la falla.

Gráfico N° 40. Visualización del espectro más crítico en relación a la NEC-2015 para la falla de Huachi con el modelo Akkar y Boomer.



Elaborado por: Karina Freire

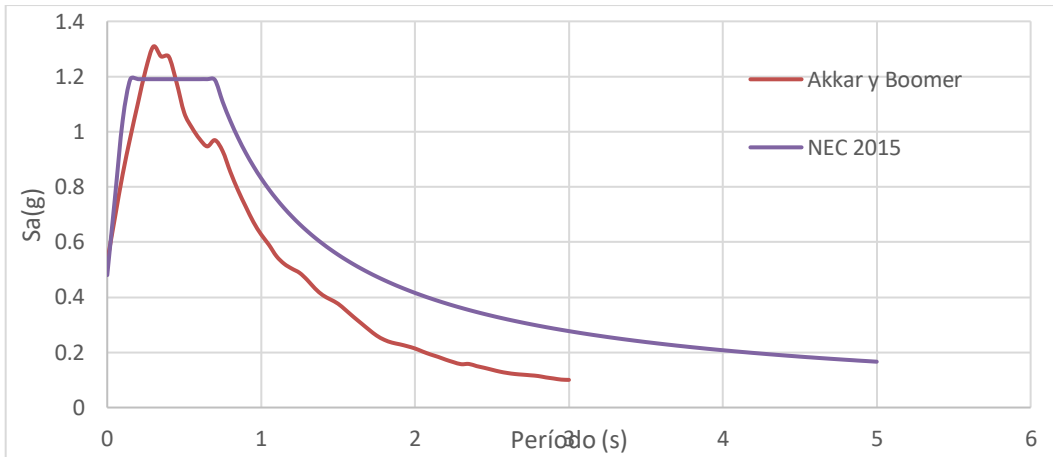
Gráfico N° 41. Espectros en aceleración para la falla de Ambato con los modelos de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno, NEC-2015



Elaborado por: Karina Freire

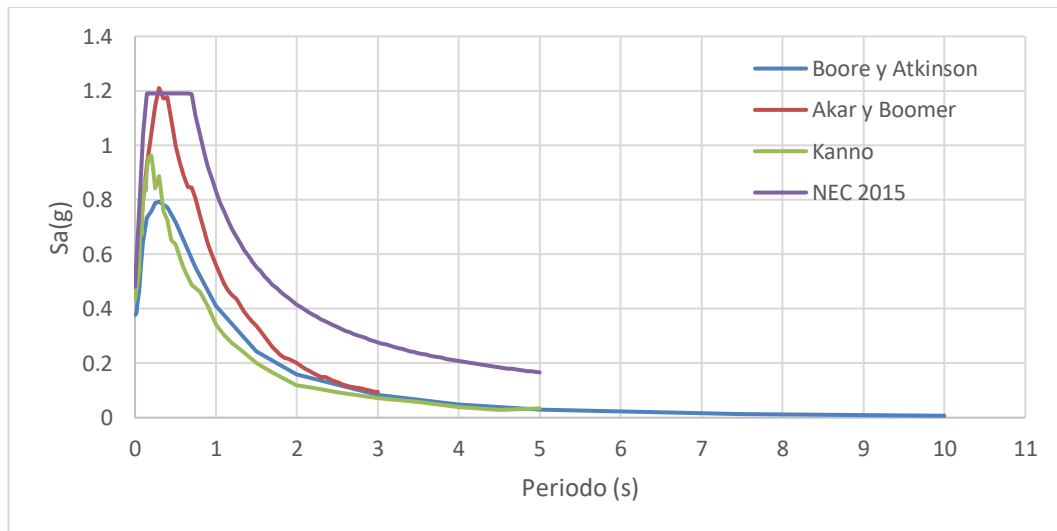
Las aceleraciones producidas por la falla de Ambato en el modelo de Akkar y Boomer superan al espectro normativo en gran parte de su meseta, por lo cual será importante evaluar estructuras que tengan períodos de vibración en este intervalo.

Gráfico N° 42. Visualización del espectro más crítico en relación a la NEC-2015 para la falla de Ambato con el modelo de Akkar y Boomer.



Elaborado por: Karina Freire

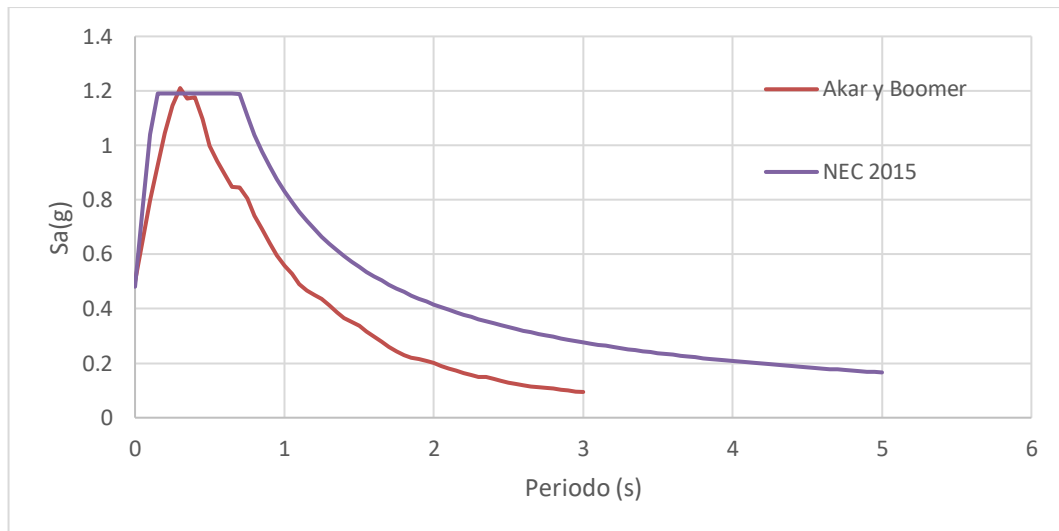
Gráfico N° 43. Espectros en aceleración para la falla de Totoras con los modelos de Boore y Atkinson, Akkar y Boomer, Kanno, NEC-2015



Elaborado por: Karina Freire

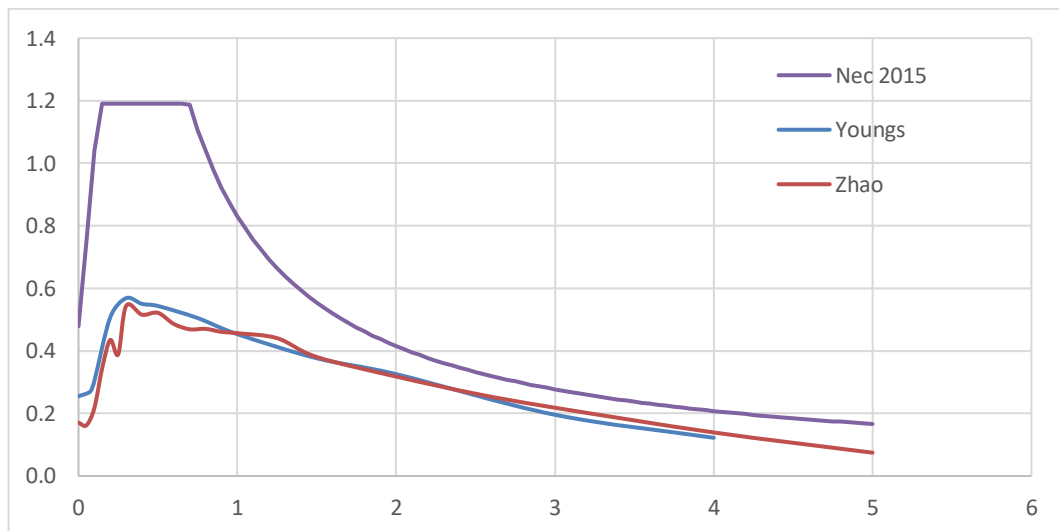
Las aceleraciones producidas por el modelo de Akkar y Boomer para la falla de Totoras superan ligeramente y de manera puntual al espectro NEC-2015.

Gráfico N° 44. Visualización del espectro más crítico en relación a la NEC-2015 para la falla de Totoras con el modelo de Akkar y Boomer.



Elaborado por: Karina Freire

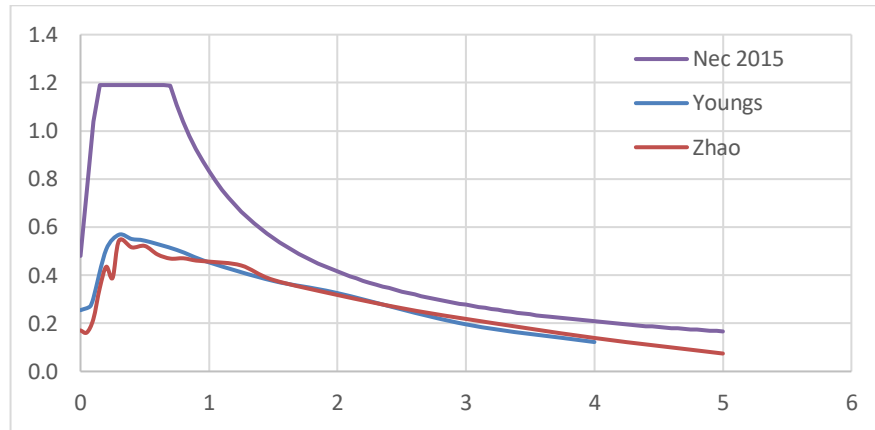
Gráfico N° 45. Espectros en Aceleración para la falla de Subducción con los Modelos de Youngs, Zhao. NEC-2015



Elaborado por: Karina Freire

El fenómeno de subducción no genera aceleraciones que superen al espectro normativo por lo cual la liberación de energía de la falla no represente un peligro inminente para las estructuras de la zona de estudio que hayan sido diseñadas bajo la norma NEC-2015.

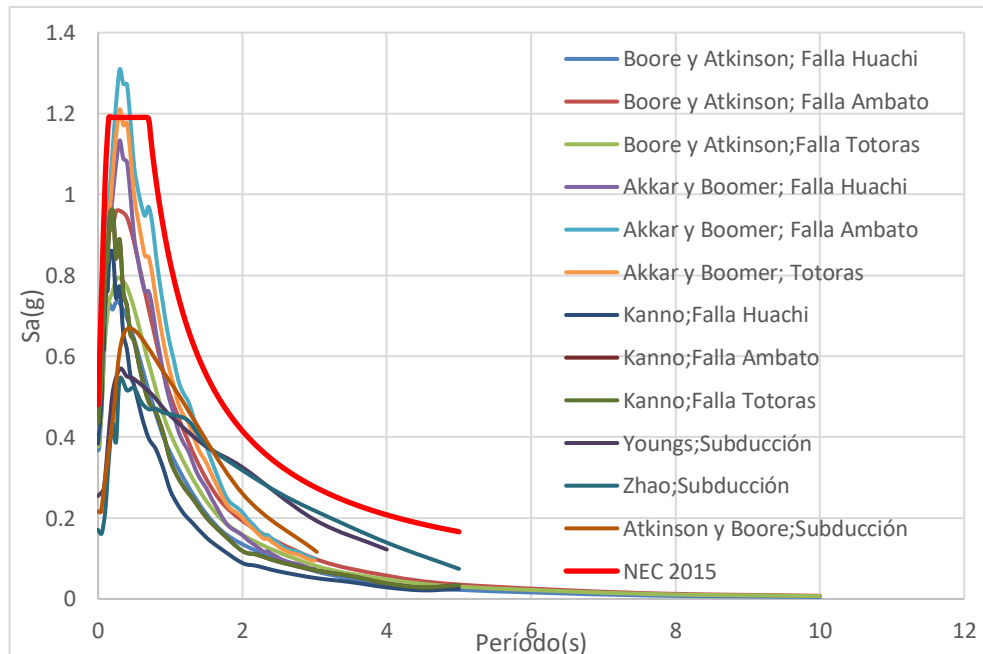
Gráfico N° 46. Visualización del espectro más crítico en relación a la NEC-2015 para la falla de Subducción con el Modelo de Young.



Elaborado por: Karina Freire

4.2.4 Espectros Con Todos Los Modelos y NEC-2015

Gráfico N° 47. Espectro con todos los Modelos y NEC-2015



Elaborado por: Karina Freire

4.2.5 Espectro Determinista A Partir De Una Envolvente De Aceleraciones Críticas.

La envolvente espectral de los valores máximos en aceleración para todos los espectros calculados dio como resultado un espectro crítico que reúne las características de aceleraciones altas para periodos cortos del régimen cortical y aceleraciones altas para periodos largos producto de la Subducción.

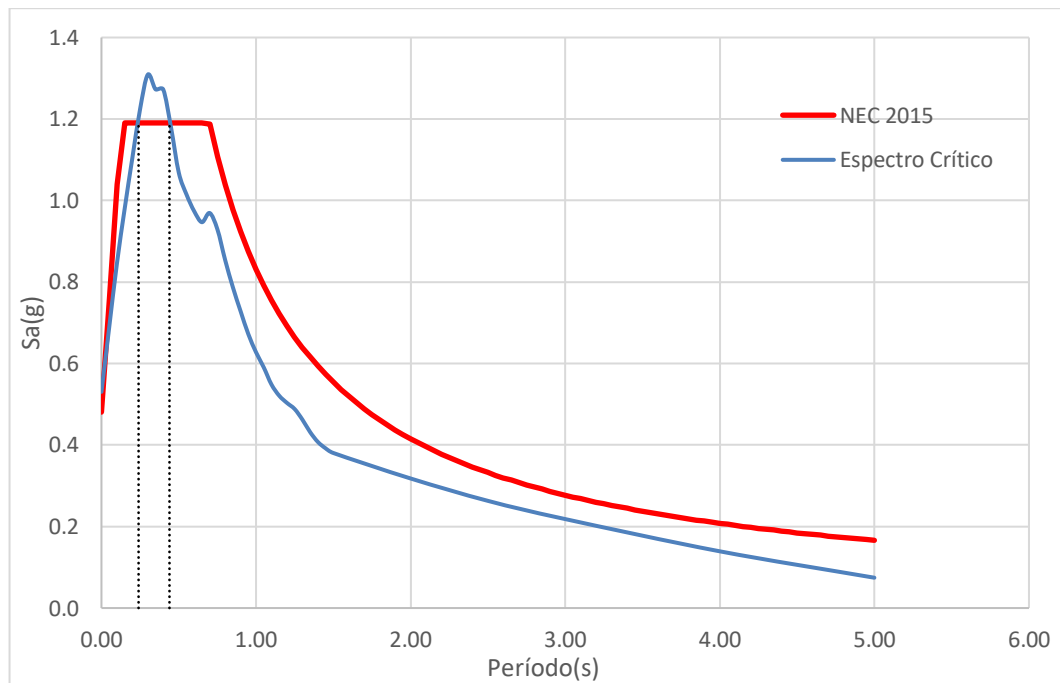
Tabla N° 21 Espectro Critico

T(s)	Sa (g)
0,00	0,5304
0,05	0,6885
0,10	0,8452
0,15	0,9793
0,20	1,1047
0,25	1,2248
0,30	1,3089
0,35	1,2728
0,40	1,2721
0,45	1,1794
0,50	1,0687
0,55	1,0148
0,60	0,9737
0,65	0,9468
0,70	0,9694
0,75	0,9293
0,80	0,8542
0,85	0,7872
0,90	0,7283
0,95	0,6723
1,00	0,6275
1,05	0,5904
1,10	0,5484
1,15	0,5209
1,20	0,5034
1,25	0,4882
1,30	0,4623
1,35	0,4317

1,40	0,4075
1,45	0,3919
1,50	0,3804
2,00	0,3179
2,50	0,2630
3,00	0,2183
4,00	0,1392
5,00	0,0744

Elaborado por: Karina Freire

Gráfico N° 48. Espectro Crítico y NEC-2015.



Elaborado por: Karina Freire

En base a la figura anterior podemos concluir que en el intervalo de 0.24s a 0.44s las aceleraciones del espectro NEC-2015 se ven superadas por el espectro crítico, razón por la cual se deberá evaluar estructuras con periodos de vibración que se encuentren dentro de este intervalo.

4.2.6 EVALUACION ESTRUCTURAL

4.2.6.1 Evaluación de una Edificación de Un Nivel

Debido a la recurrente construcción de edificaciones de un nivel implantadas en la zona de estudio es importante verificar el comportamiento de estas estructuras ante las diferentes demandas.

Tabla N° 22 Características de la Estructura de Un Nivel

INDICADOR	CARACTERÍSTICA
Sistema Estructural Principal Resistente a Carga Lateral	Pórticos de Hormigón Armado
Configuración Geométrica en Planta	Regular
Configuración Geométrica en Elevación	Regular
Altura de Piso	2.60m
Resistencia del Hormigón	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
Límite de Fluencia del Acero de Refuerzo	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
Dimensión de Columnas	30x30cm
Dimensión de vigas	30x20cm
Losa	20cm

Elaborado por: Karina Freire

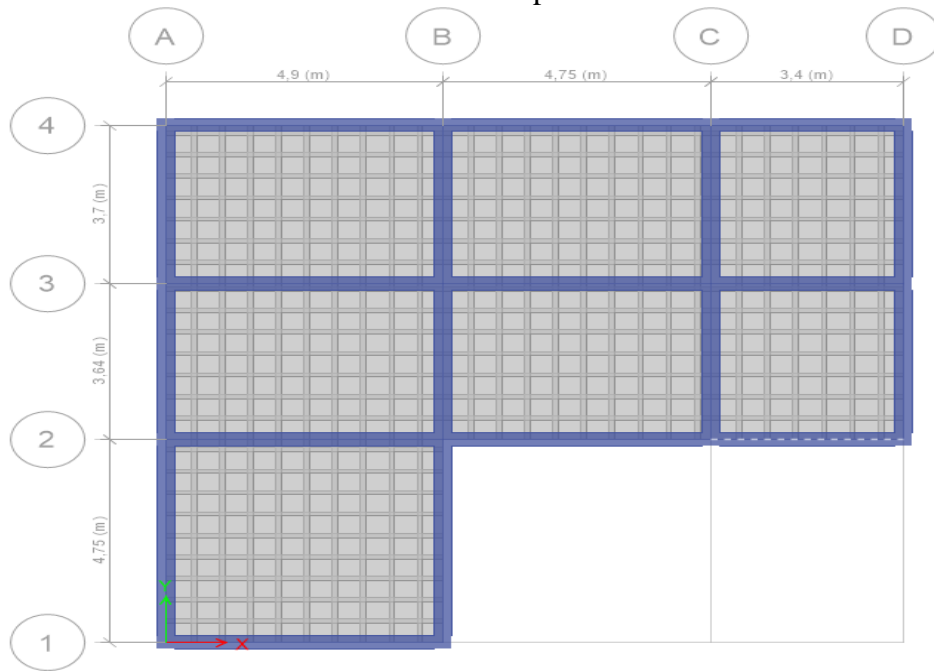
- **Renderización Del Modelo**

Gráfico N° 49 Vista isométrica modelo 3d



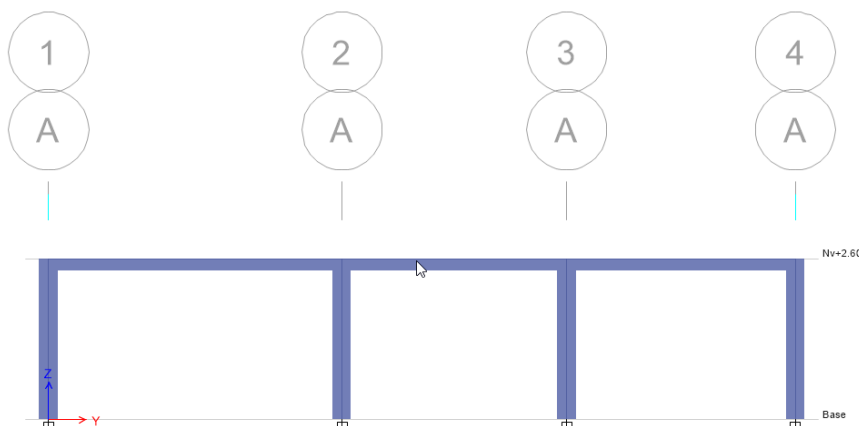
Elaborado por: Karina Freire

Gráfico N° 50. Vista en planta Nv+ 2.60



Elaborado por: Karina Freire

Gráfico N° 51 Vista en Elevación Pórtico A



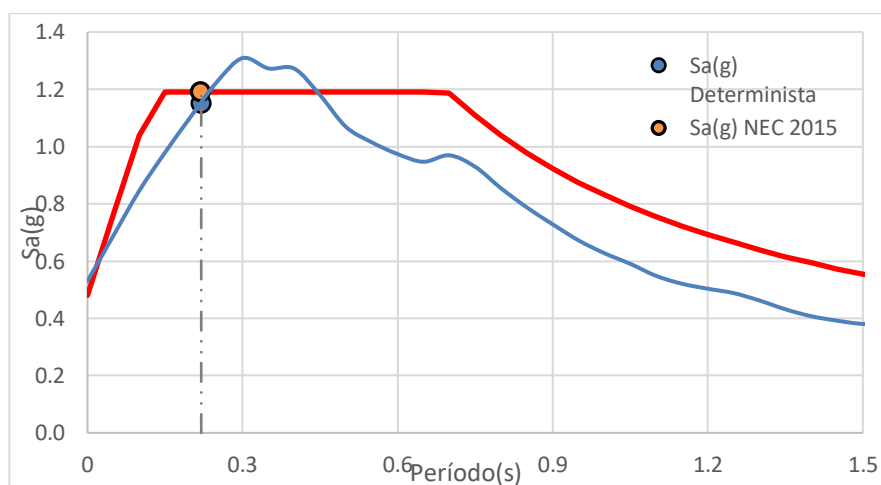
Elaborado por: Karina Freire

Verificación Del Comportamiento Estructural

Habiendo ya modelado las estructuras con sus respectivos espectros tanto NEC-2015 como Determinístico, realizamos una comparación de los resultados obtenidos, con la finalidad de relacionar la actuación del Espectro Determinístico frente al Espectro de la NEC 15.

A) Cálculo de la Aceleración Espectral

Gráfico N° 52 Aceleración Espectral para el análisis de la Estructura Un Piso



Elaborado por: Karina Freire

El período fundamental de 0.22 segundos, calculado previamente define una aceleración de 1.1904g y 1.15g para el espectro NEC-2015 y determinista respectivamente, estos valores son la base para el cálculo del coeficiente de corte basal.

B) Cortante Basal Estática

$$\text{Coeficiente Basal } C = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_E} \quad \text{Ec. 30}$$

Donde:

C= Coeficiente de reducción.

I= Factor de importancia.

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

R= Factor de reducción de resistencia sísmica.

ϕ_P = Coeficiente de configuración en planta.

ϕ_E = Coeficiente de configuración en elevación.

- Coeficiente Basal NEC-2015

$$C = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_E}$$

$$C = \frac{1 * 1.1904}{5 * 0,9 * 1}$$

$$C = 0.2645$$

- **Coefficiente Basal Espectro Determinista**

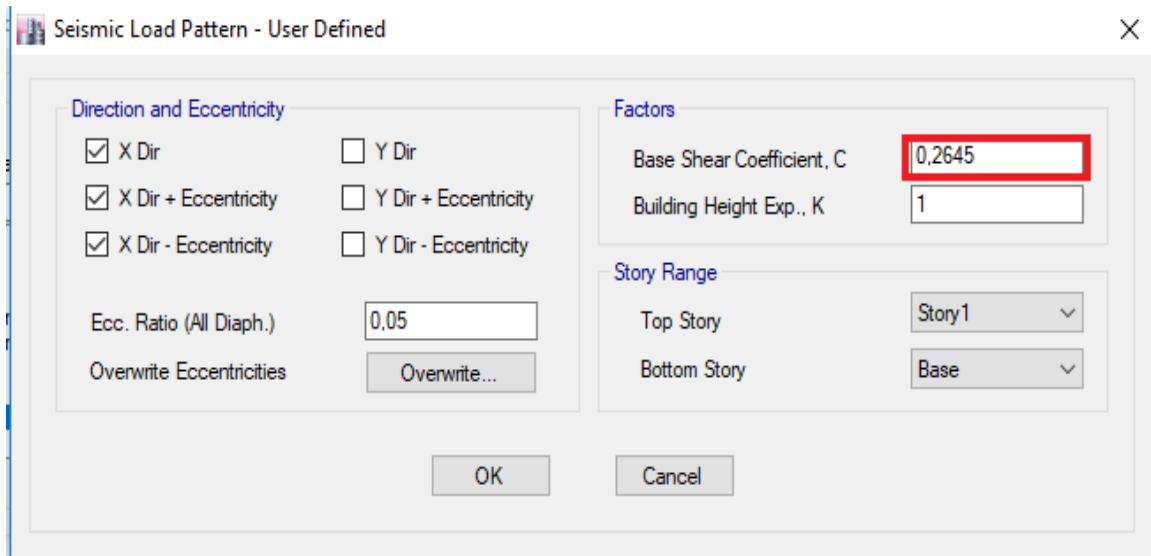
$$C = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_E}$$

$$C = \frac{1 * 1.15}{5 * 0.9 * 1}$$

$$C = 0.2556$$

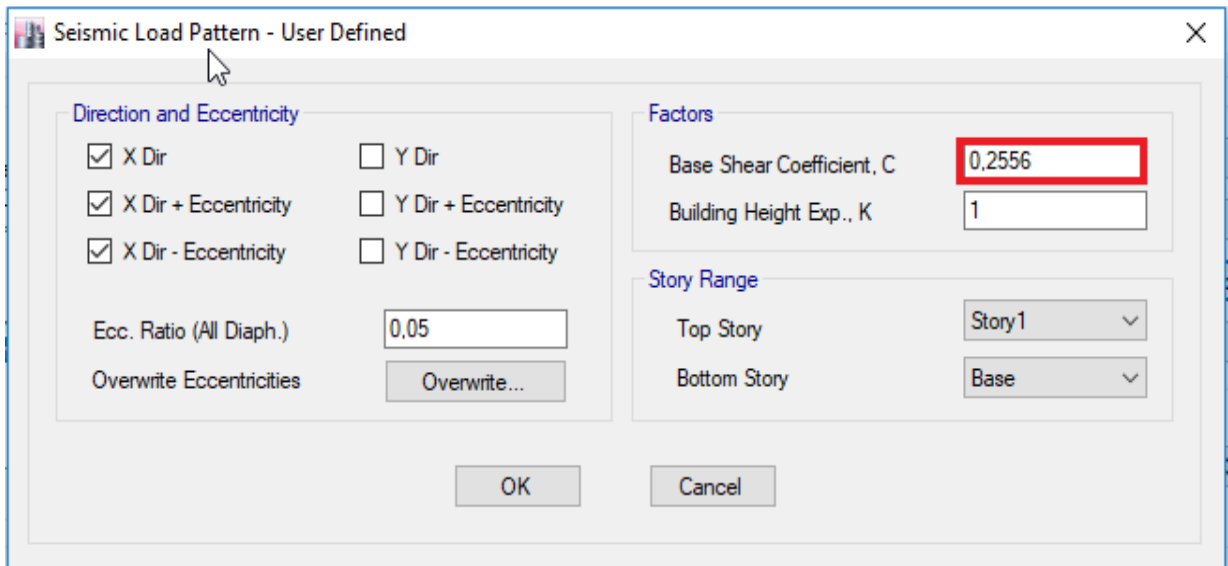
Los valores del coeficiente basal nos permiten definir la carga sísmica estática para cada uno de los espectros.

Gráfico N° 53 Coeficiente de Corte Basal Espectro NEC-2015



Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Gráfico N° 54 Coeficiente de Corte Basal Espectro Determinista.

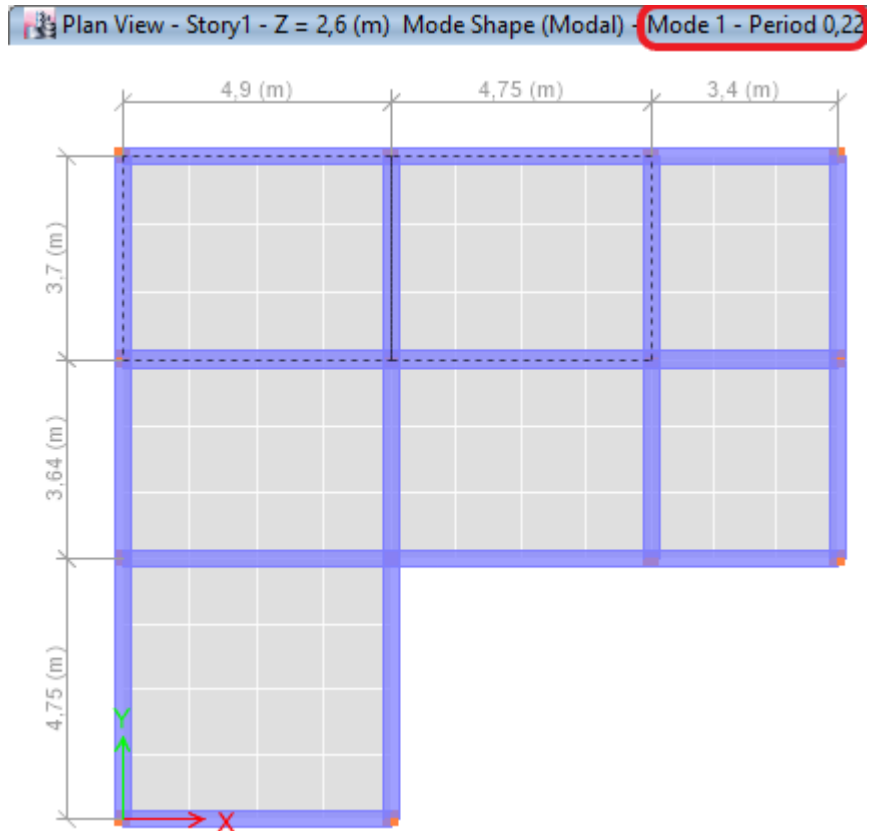


Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

C) Cálculo del Período Fundamental de la Estructura

La utilización del software especializado en diseño sismo resistente de edificaciones ETABS 2016 nos permite el cálculo del periodo fundamental de la estructura, tal y como se muestra a continuación.

Gráfico N° 55 Período Fundamental de la Estructura



Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

D) Comprobación Del Período De Vibración de la Estructura

La Norma Ecuatoriana de la Construcción establece que el período de vibración de la estructura deberá permanecer dentro del siguiente intervalo.

$$T_1 < T_a < 1.3 T_1$$

Ec. 31

Dónde:

T_1 = Período de vibración de la estructura calculado por el método 1

T_a = Período de vibración de la estructura calculado por medio del análisis modal.

- **Cálculo Del Período De Vibración Mediante El Método 1**

Para el cálculo del período de vibración aproximando mediante el método 1, se establecen coeficientes para categorizar cual es el material constitutivo de la estructura y su sistema resistente a carga lateral.

Tabla N° 23 Parámetros para el cálculo del período de vibración por el Método 1

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostamientos	0.072	0.8
Con arriostamientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Fuente: Peligro Sísmico NEC-SE-DS

$$T_1 = C_t * h_n^\alpha \quad \text{Ec. 32}$$

$$T_1 = 0.055 * 2.60^{0.9}$$

$$T_1 = 0.13 \text{ s.}$$

$$0.13 \text{ s} < 0.22 < 1.3 * 0.13$$

$$0.13 \text{ s} < 0.22\text{s} < 0.17\text{s}$$

El período de vibración de la estructura calculado por medio del análisis modal (T_a), cumple con el intervalo dispuesto por la normativa que nos dice que no debe ser mayor en un 30% del período de vibración de la estructura (T_1), calculado por el método 1.

E) Períodos Límite De Vibración

De acuerdo a la NEC-2015 los periodos límite de vibración se calcula con las siguientes expresiones:

$$T_o = 0.1 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad \text{Ec. 33}$$

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad \text{Ec. 34}$$

Donde:

Fa, Fd y Fs = Coeficientes de amplificación del suelo.

To= Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

Tc= Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

Tabla N° 24 Valores del factor Z y Coeficientes de Amplificación de suelo (Perfil D)

DATOS	
Z (g)	0,4
Fa	1,2
Fd	1,19
Fs	1,28

Fuente: Peligro Sísmico. NEC_SE_DS 2015.

- Cálculo de T_o

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

$$T_o = 0.1 * 1.28 \frac{1.19}{1.2}$$

$$T_o = 0.1269 \text{ Seg}$$

- Cálculo de T_c

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

$$T_c = 0.55 * 1.18 \frac{1.19}{1.2}$$

$$T_c = 0.6981 \text{ Seg}$$

Tabla N° 25 Síntesis de datos obtenidos T_o , T_c , T_1 y T_a calculado por medio del análisis modal para la estructura uno

ESTRUCTURA	T_o	T_c	T_1	T_a (ETABS)
PISOS 1	0.13	0.7	0.13	0.22

Elaborado por: Karina Freire

En la tabla anterior podemos observar que los valores del período calculado de la estructura uno se encuentra dentro del rango de los períodos límites de vibración. Es importante mencionar que el Período de vibración de la estructura calculado por medio del análisis modal (T_a), es el mismo para los dos espectros tanto NEC-2015 como Determinista ya que este depende de la rigidez y la masa de la estructura, por lo tanto no será afectado. De igual

forma los períodos límite serán los mismos para las tres estructuras modeladas en el presente proyecto.

F) Modos De Vibración De La Estructura

A continuación se muestran las tablas con los resultados obtenidos en Etabs 2016 V16.2.1

Tabla N° 26. Valores Obtenidos en Etabs 2016 de la Estructura de un Piso - Participación Modal de la Masa

Modal Participating Mass Ratios						
Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ	
Modal	1	0,22	0,2229	0,654	0,1257	
Modal	2	0,217	0,7621	0,2344	0,0037	
Modal	3	0,192	0,015	0,1116	0,8707	

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 27. Verificación de los Modos de Vibración – Estructura de un Piso

ESPECTROS	MODOS	Ux, Uy	Rz	%	TIPO
NEC 2015 DETERMINÍSTICO	1	0,654	0,1257	19,22	Traslacional
	2	0,7621	0,0037	0,48	Traslacional
	3	0,1116	0,8707	780,20	Rotacional

Elaborado por: Karina Freire

Los modos de vibración de la estructura se cumplen cuando el modo uno y dos son traslacionales y el modo 3 es rotacional, de tal manera que tras los resultados obtenidos en la tabla anterior cumple con la condición los modos de vibración de la estructura analizada.

G) Modos Necesarios Para La Acumulación Del 90% De La Masa En Las Direcciones Principales

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015 se deben considerar todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas. [17]

Tabla N° 28. Modos obligatorios para la acumulación del 90% de la masa

Estructura de un Piso

Modal Participating Mass Ratios

Case	Mode	Period sec	Sum RX	Sum RY
Modal	1	0,22	0,654	0,2229
Modal	2	0,217	0,8884	0,985
Modal	3	0,192	1	1

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

En la tabla anterior podemos observar que existe una acumulación del 100% de la masa en el modo tres de la estructura analizada.

Tabla N° 29. Modos utilizados para la acumulación del 90% de la masa

Estructura de un Piso

ESPECTROS	MODO	Sum Uy	Sum Ux
NEC 2015 DETERMINÍSTICO	3	1	1

Elaborado por: Karina Freire

Realizando el análisis respectivo de frecuencia tenemos que:

Tabla N° 30. Valores obtenidos en Etabs-2016, periodos, modales y frecuencias
Estructura de un Piso

Modal Periods and Frequencies

de 3 | 1 | Reload Apply

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec
Modal	1	0,22	4,541
Modal	2	0,217	4,604
Modal	3	0,192	5,205

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 31. Periodos obtenidos para de la Estructura de un Piso

Modos	Periodos	T
1	0,22	0,18
5	0,192	0,2304

Elaborado por: Karina Freire

H) Cálculo de Derivas

A partir de los valores de cortante basal asignado en la base y en el entrepiso de la estructura se determinará las derivas que estas fuerzas causan en la estructura.

Estas derivas serán transformadas a derivas inelásticas mediante la fórmula establecida por la NEC-SE-DS y serán verificadas en relación al límite máximo permitido.

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

Ec. 35

Dónde:

Δ_M = Deriva máxima inelástica.

Δ_E = Deriva obtenida en aplicación de fuerzas laterales de diseño reducidas.

R = Factor de reducción de resistencia.

Tabla N° 32. Factor de reducción de resistencia

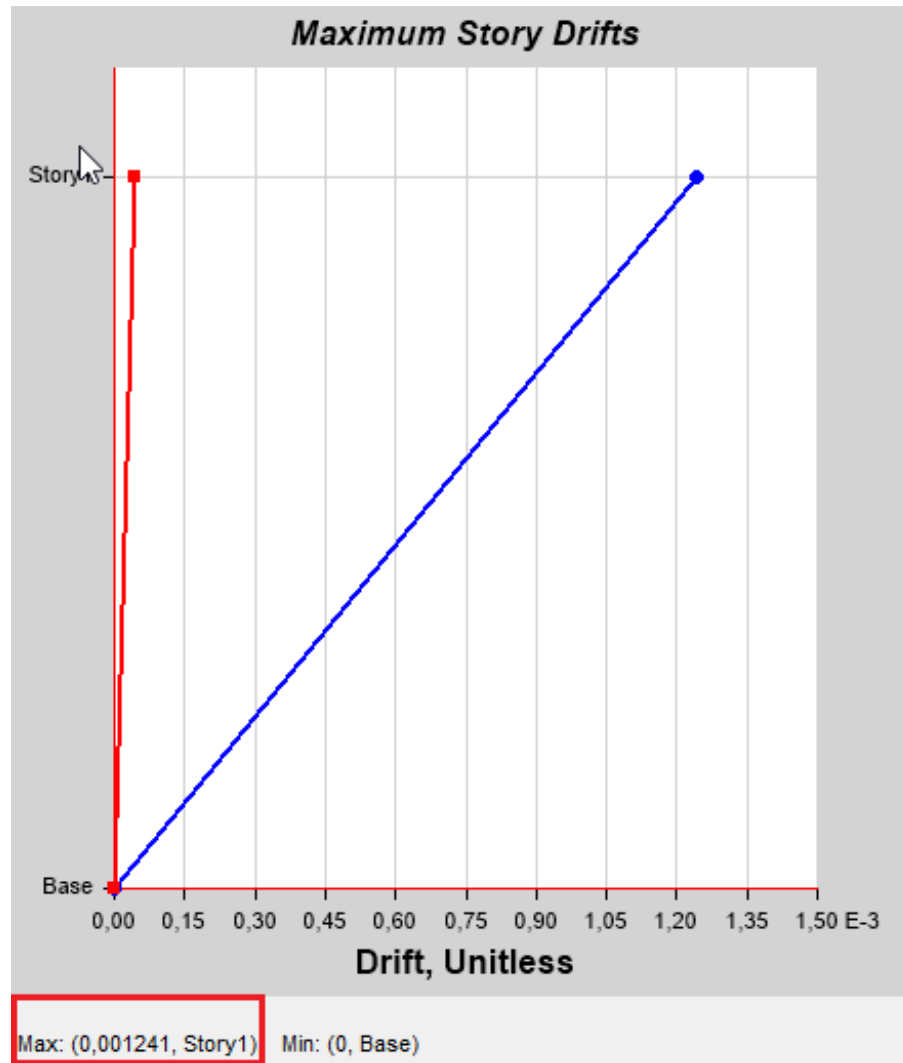
Sistemas estructurales Dúctiles	R
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente	8
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Elaborado por: Karina Freire

El factor seleccionado para esta estructura en especial es 5, debido a que cuenta con pórticos especiales sismo resistente, de hormigón armado con vigas banda.

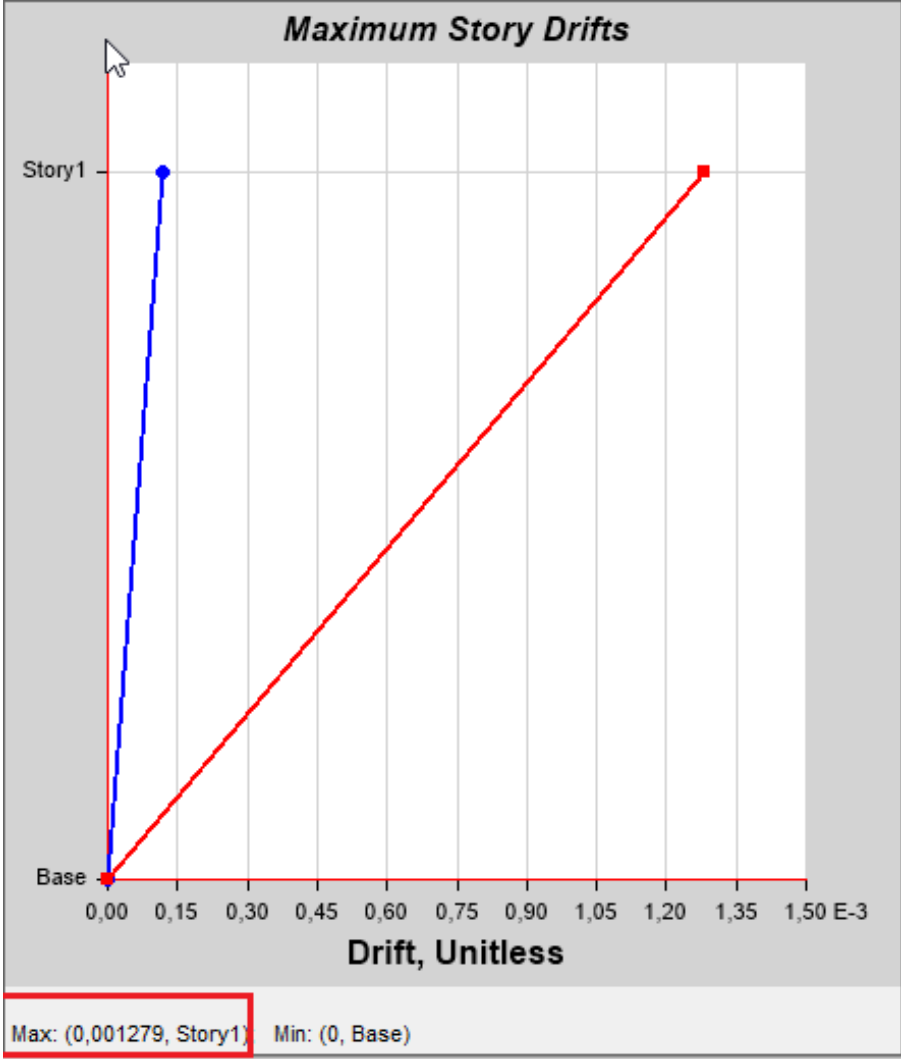
Las gráficas y tablas de las derivas elásticas estáticas (Sismo X y Sismo Y) obtenidas en Etabs se muestran a continuación.

Gráfico N° 56 Deriva elástica estática en el sentido X para la estructura de Un Piso
Espectro NEC-2015.



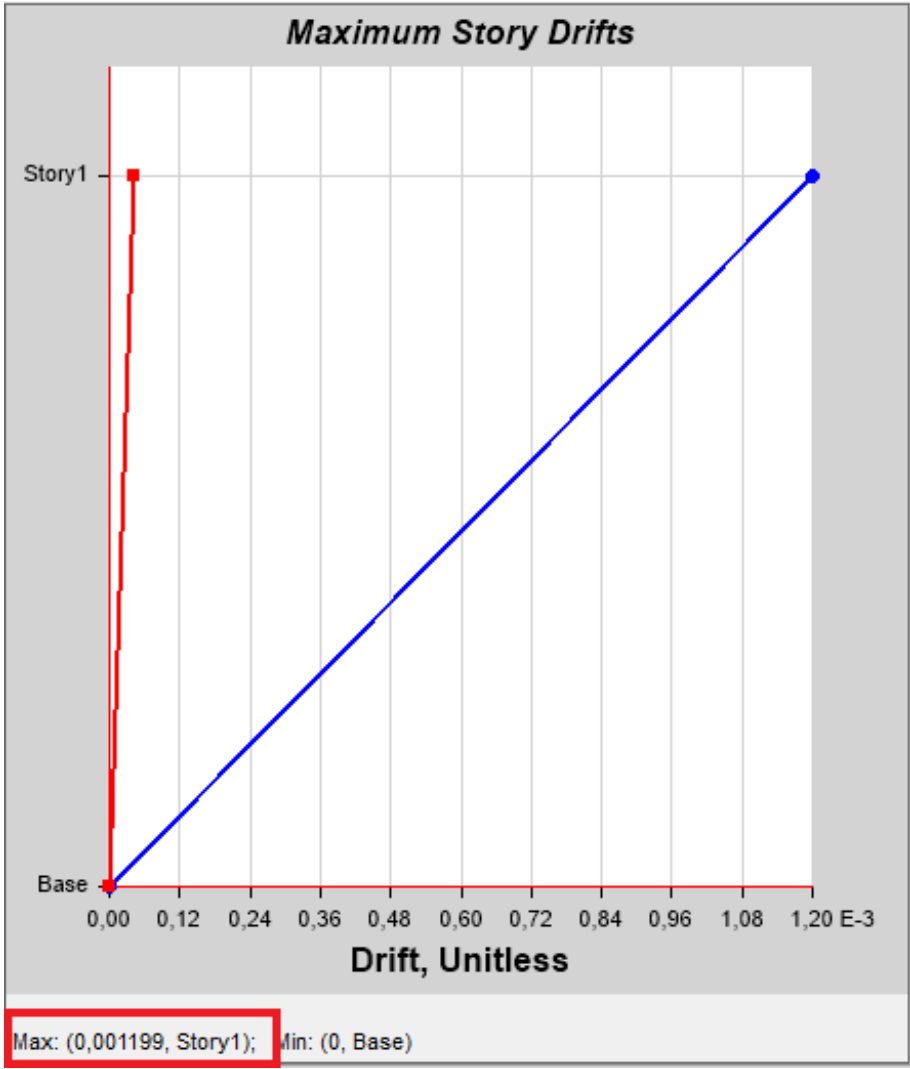
Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Gráfico N° 57 Deriva elástica estática en el sentido Y para la estructura de Un piso
Espectro NEC-2015.



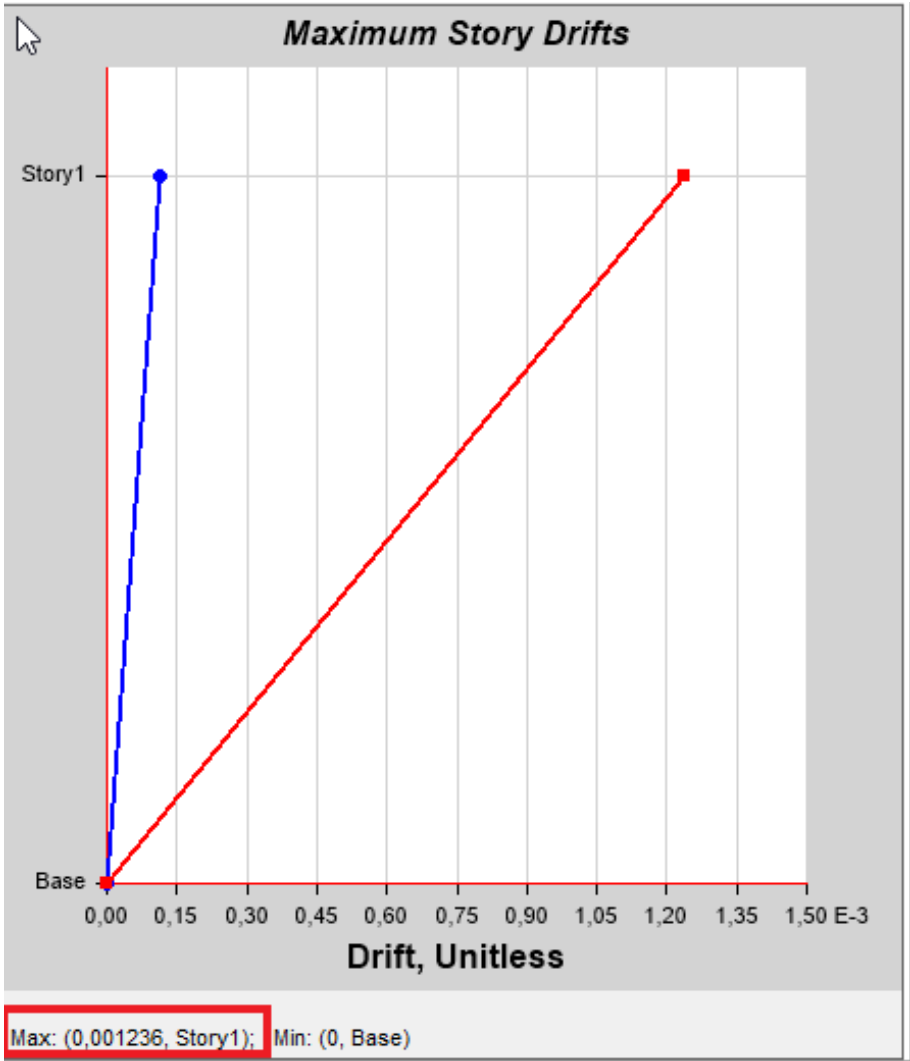
Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Gráfico N° 58 Deriva elástica estática en el sentido X para la estructura de Un piso
Espectro Determinista



Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Gráfico N° 59 Deriva elástica estática en el sentido Y para la estructura de Un piso
Espectro Determinista



Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 33. Valores obtenidos de las Derivas elásticas estáticas en X y Y

Espectros NEC-2015 y Determinista - Estructura de un piso.

Story Drifts

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story1	Sx Nec 1	X	0,001241
Story1	Sx Deter 1	X	0,001199
Story1	Sy Nec 1	Y	0,001279
Story1	Sy Deter 1	Y	0,001236

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 34. Tabla Resumen de las Derivas elásticas estáticas

Espectro NEC-2015 Determinista

ESPECTRO NEC-2015		
Nivel	Caso de Carga	
	Sx 1	Sy1
Nv. 2,60	0,001241	0,001279
ESPECTRO DETERMINISTA		
Nivel	Caso de Carga	
	Sx 1	Sy1
Nv. 2,60	0,001199	0,001236

Elaborado por: Karina Freire

Tabla N° 35. Tabla de Derivas Máximas elásticas e inelásticas estáticas para la estructura

de Un piso con los dos espectros.

ESTRUCTURA DE TRES PISOS						
ESPECTROS	Sismo X			Sismo Y		
	ΔE	ΔM	%	ΔE	ΔM	%
NEC - 2015	0,001241	0,0046	0,46	0,001279	0,0048	0,48
DETERMINÍSTICO	0,001199	0,0045	0,45	0,001236	0,0046	0,46

Elaborado por: Karina Freire

La NEC-2015 nos indica que:

La deriva inelástica debe ser menor al dos por ciento.

$$\Delta_{\text{INELASTICA}} < 2 \%$$

En la tabla anterior podemos ver que la deriva máxima con el Espectro NEC- 2015 del Nv. 2,60 nos da una deriva inelástica de 0,0046, proporcional al 0,46 por ciento en el sentido X y en el sentido Y una deriva inelástica de 0,0048 proporcional al 0,48 por ciento, cumpliendo así con la condición que nos indica la norma.

Mientras que la deriva máxima con el Espectro Determinista del mismo nivel nos da una deriva inelástica de 0,0045 proporcional al 0,45 por ciento en el sentido X y en el sentido Y una deriva inelástica de 0,0046 proporcional al 0,46 por ciento, cumpliendo también con la norma.

Las derivas en los dos sentidos principales demuestran una aparente estabilidad de la estructura ya que se encuentran muy por debajo del límite máximo establecido por la norma.

I) Análisis Dinámico para la Estructura Tipo (Un Piso)

- Validación del Análisis Dinámico

La Norma Ecuatoriana de la Construcción recomienda realizar una validación del análisis dinámico en la estructura, el cual consiste en que los valores de cortantes basal dinámico sean mayores al 80% del cortante basal estático para estructuras regulares y el 85% en estructuras irregulares. Debido a la irregularidad en planta que tiene la estructura se verificará que los valores de cortante dinámico sean superiores al 85% de los valores de cortantes basal estático.

Tabla N° 36. Valores Cortante Estático y Cortante Dinámico del Espectro NEC-2015 para el sentido X y Y.

Story Forces

1 de 8 | Reload Apply

	Story	Load Case/Combo	Location	VX tonf	VY tonf
	Story1	Din_Nec_X Max	Top	19,81	18,67
	Story1	Din_Nec_X Max	Bottom	19,81	18,67
	Story1	Din_Nec_Y Max	Top	6,15	18,66
	Story1	Din_Nec_Y Max	Bottom	6,15	18,66
	Story1	Sx Nec 1	Top	-20,04	0
	Story1	Sx Nec 1	Bottom	-20,04	0
	Story1	Sy Nec 1	Top	0	-20,04
	Story1	Sy Nec 1	Bottom	0	-20,04

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 37. Valores Cortante Estático y Cortante Dinámico del Espectro Determinista para el sentido X y Y.

Story Forces

1 de 8 | Reload Apply

	Story	Load Case/Combo	Location	VX tonf	VY tonf
	Story1	Din_Deter_X Max	Top	19,06	5,61
	Story1	Din_Deter_X Max	Bottom	19,06	5,61
	Story1	Din_Deter_Y Max	Top	5,92	17,98
	Story1	Din_Deter_Y Max	Bottom	5,92	17,98
	Story1	Sx Deter 1	Top	-19,37	0
	Story1	Sx Deter 1	Bottom	-19,37	0
	Story1	Sy Deter 1	Top	0	-19,37
	Story1	Sy Deter 1	Bottom	0	-19,37

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 38. Relación del cortante Dinámico y Estático del espectro NEC-2015 y el Determinista para la validación de Análisis Dinámico

ESTRUCTURA TIPO UN PISO						
ESPECTROS	Sentido X			Sismo Y		
	V estático Tn	V dinámico Tn	V din/V est Tn	V estático Tn	V dinámico Tn	V din/V est Tn
NEC 15	20,04	19,81	98,85	20,04	18,86	94,11
DETERMINÍSTICO	19,37	19,06	98,40	19,37	17,98	92,82

Elaborado por: Karina Freire

Como se puede observar en la anterior tabla todos los valores de cortante basal dinámico en los dos sentidos principales de la estructura son mayores al 85% del cortante basal dinámico, por lo que se da como validado las fuerzas dinámicas actuantes en el entrepiso.

4.2.6.2 Evaluación de una Edificación de Tres niveles

La siguiente estructura se encuentra implantada en el área de estudio.

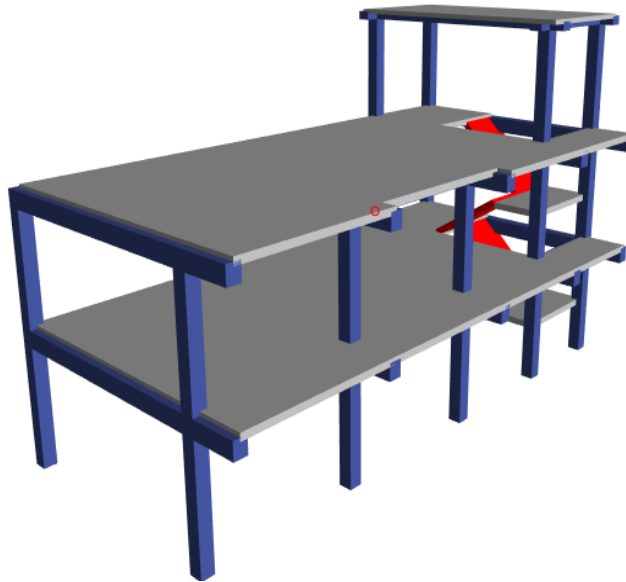
Tabla N° 39 Características de la Estructura de Tres Niveles

INDICADOR	CARACTERÍSTICA
Sistema Estructural Principal Resistente a Carga Lateral	Pórticos de Hormigón Armado
Configuración Geométrica en Planta	Regular
Configuración Geométrica en Elevación	Regular
Altura de Piso	2.88m , 2.70m
Resistencia del Hormigón	$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
Límite de Fluencia del Acero de Refuerzo	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
Dimensión de Columnas	30x30cm
Dimensión de vigas	30x35cm (Nv+ 2.88 y Nv + 5.58) 30x20cm Nv+ 8.28
Losa	20cm

Elaborado por: Karina Freire

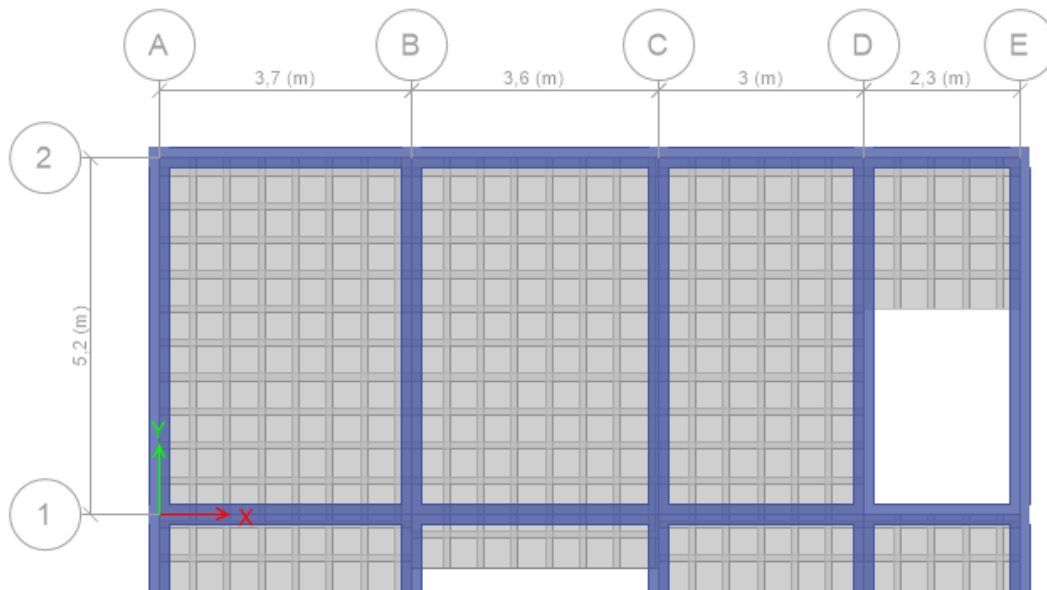
- **Renderización del Modelo**

Gráfico 60 Vista isométrica modelo 3d



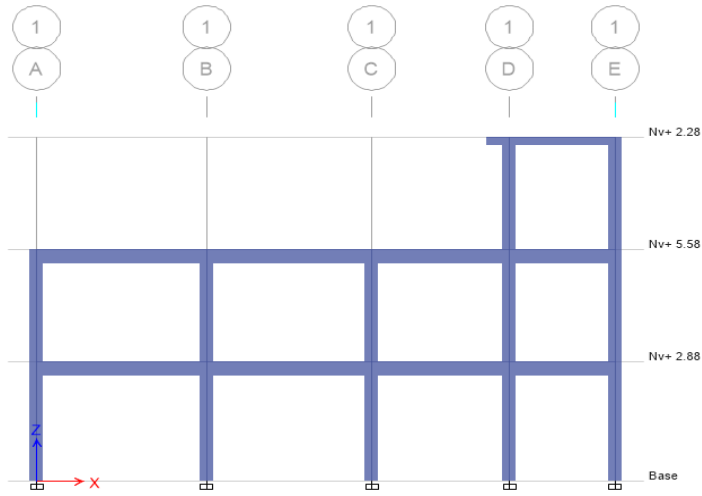
Elaborado por: Karina Freire

Gráfico N° 61 Vista en Planta Nv+5,58m



Elaborado por: Karina Freire

Gráfico N° 62 Vista en Elevación

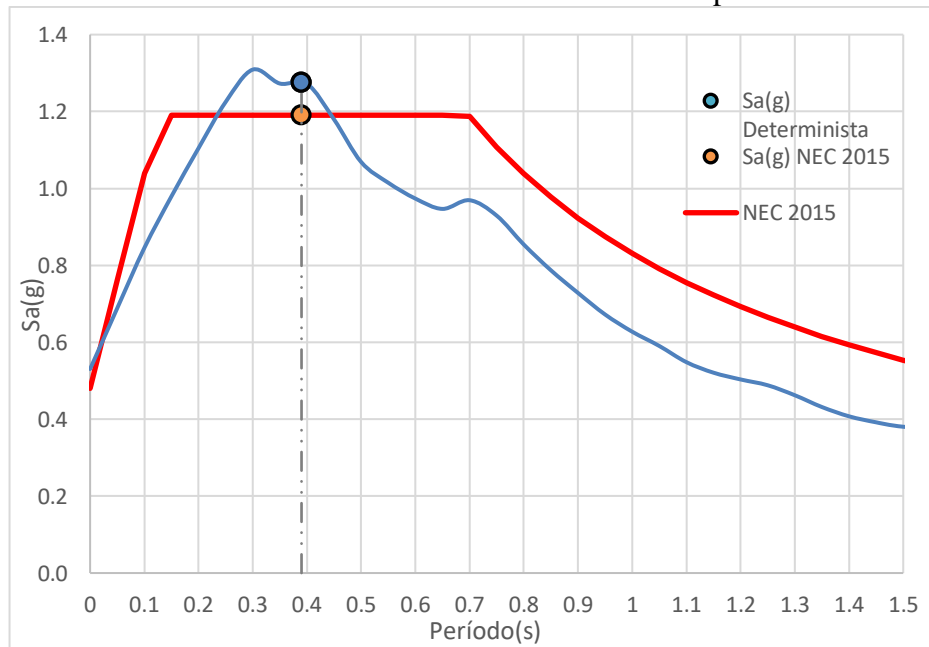


Elaborado por: Karina Freire

Verificación Del Comportamiento Estructural

A) Cálculo de la Aceleración Espectral

Gráfico N° 63 Cálculo de la Aceleración Espectral



Elaborado por: Karina Freire

El período fundamental de 0.37 segundos, calculado previamente define una aceleración de 1.1904g y 1.274g para el espectro NEC-2015 y determinista respectivamente, estos valores son la base para el cálculo del coeficiente de corte basal.

B) Cortante Basal Estática

Coefficiente Basal NEC-2015

$$C = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_E}$$

$$C = \frac{1 * 1.1904}{8 * 1 * 1}$$

$$C = 0.1488$$

Coefficiente Basal Espectro Determinista NEC-2015

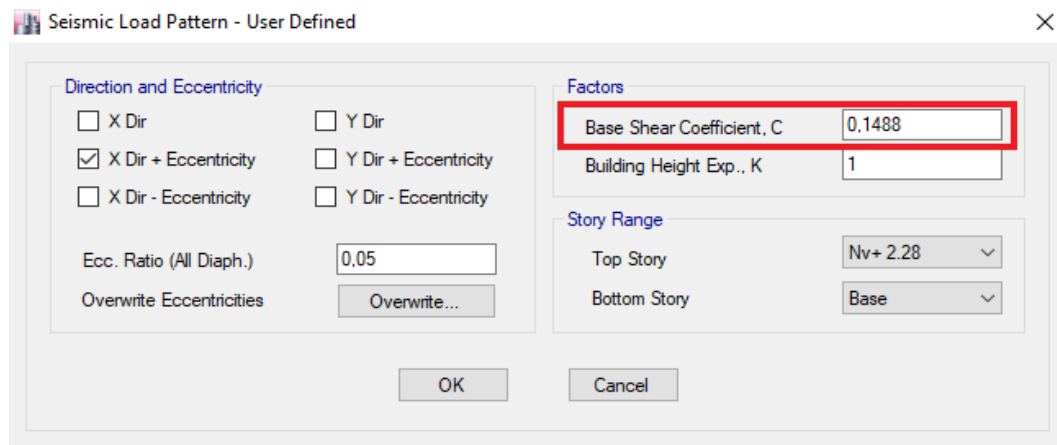
$$C = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_E}$$

$$C = \frac{1 * 1.274}{8 * 1 * 1}$$

$$C = 0.15925$$

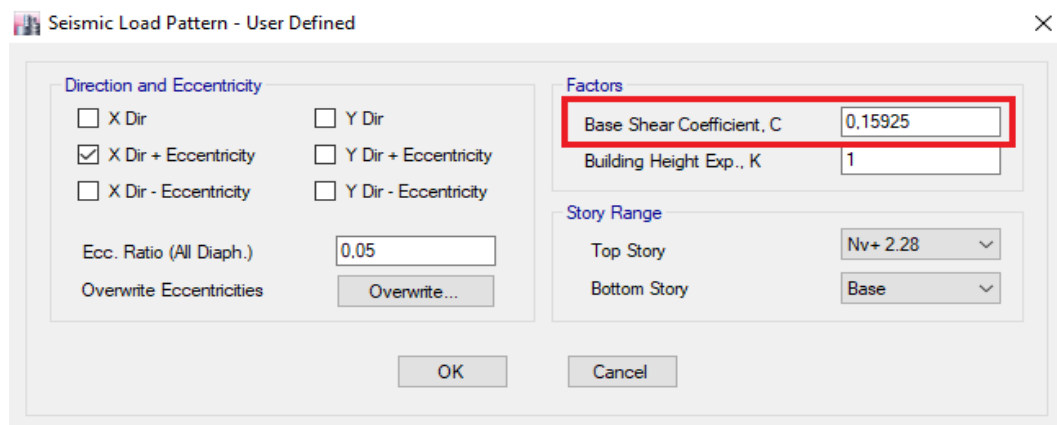
Los valores del coeficiente basal nos permiten definir la carga sísmica estática para cada uno de los espectros.

Gráfico N° 64 Coeficiente de Corte Basal Espectro NEC-2015



Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Gráfico N° 65 Coeficiente de Corte Basal Espectro Determinista.

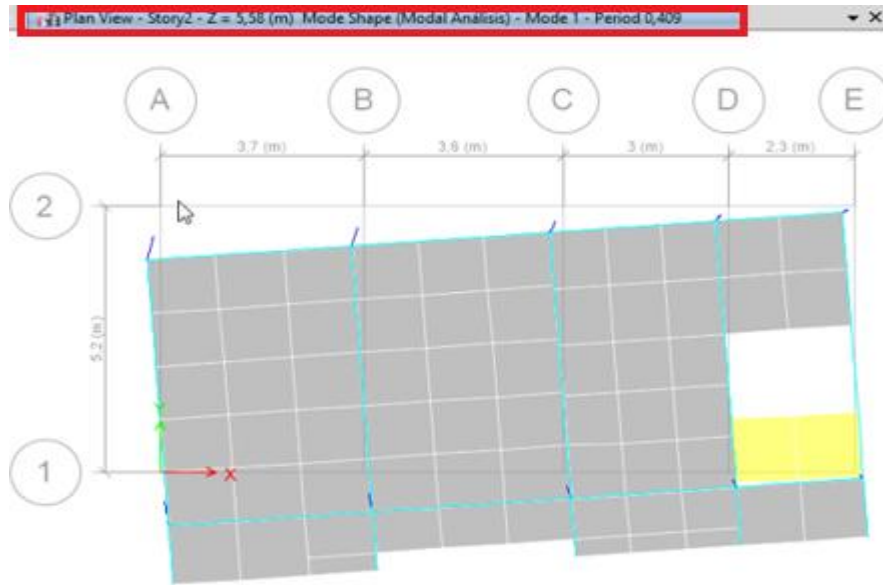


Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

C) Cálculo del Período Fundamental de la Estructura

Periodo fundamental de la estructura obtenido en ETABS 2016.

Gráfico N° 66 Cálculo del Período Fundamental de la Estructura



Elaborado por: Karina Freire

D) Comprobación Del Período De Vibración de la Estructura

- Cálculo del período de vibración mediante el Método 1

Tabla N° 40 Parámetros para el cálculo del período de vibración por el Método 1

Tipo de estructura	C_1	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Fuente: Peligro Sísmico NEC-SE-DS

$$T_1 = Ct * h_n^\alpha$$

$$T_1 = 0.055 * 8.28^{0.9}$$

$$T_1 = 0.368 \text{ s.}$$

$$0.368 \text{ s} < 0.409 < 1.3 * 0.368 \text{ s}$$

$$0.368 \text{ s} < 0.409 < 0.478 \text{ s}$$

El período de vibración de la estructura calculada por medio del análisis modal (T_a), cumple con el intervalo dispuesto por la normativa que nos dice que no debe ser mayor en un 30% del período de vibración de la estructura (T_1), calculado por el método 1.

E) Períodos Límite De Vibración

Los periodos límite de vibración son los mismos calculados anteriormente para la estructura tipo de un piso. Mostrados en la siguiente tabla de Resumen de datos obtenidos.

Tabla N° 41 Resumen de datos obtenidos T_o , T_c , T_1 y T_a calculado por medio del análisis modal

ESTRUCTURA	T_o	T_c	T_1	T_a (ETABS)
PISOS 1	0.13	0.7	0.368	0.409

Elaborado por: Karina Freire

En la tabla anterior podemos observar que los valores del período calculado se encuentran dentro del rango de los períodos límites de vibración.

F) Modos De Vibración De La Estructura Tipo de Tres Pisos

A continuación la tabla de datos obtenidos en Etabs 2016

Tabla N° 42. Valores Obtenidos en Etabs 2016 - Estructura de Tres Piso Participación Modal de la Masa

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal Análisis	1	0,409	0,0004	0,6748	0,2398
Modal Análisis	2	0,329	0,7897	0,0158	0,0671
Modal Análisis	3	0,317	0,084	0,1782	0,5545

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 43. Verificación de los Modos de Vibración – Estructura de Tres Pisos

ESPECTROS	MODOS	Ux, Uy	Rz	%	TIPO
NEC 2015 DETERMINÍSTICO	1	0.6748	0.2398	35.54	Traslacional
	2	0.7897	0.0671	8.5	Traslacional
	3	0.1782	0.5545	311.16	Rotacional

Elaborado por: Karina Freire

G) Modos Necesarios Para La Acumulación Del 90% De La Masa En Las Direcciones Principales

Tabla N° 44. Modos obligatorios para la acumulación del 90% de la masa Estructura de Tres Pisos

Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal Análisis	1	0,0004	0,6748
Modal Análisis	2	0,7901	0,6906
Modal Análisis	3	0,8741	0,8687
Modal Análisis	4	0,8743	0,9474
Modal Análisis	5	0,9431	0,9486

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

En la tabla anterior podemos observar que existe una acumulación del 90% de la masa en el modo 5 para esta estructura tipo. (Tres Pisos)

Tabla N° 45. Modos utilizados para la acumulación del 90% de la masa
Estructura de Tres Pisos

ESPECTROS	MODO	Sum Uy	Sum Ux
NEC 2015 DETERMINÍSTICO	5	0,9431	0,9486

Elaborado por: Karina Freire

Realizando el análisis respectivo de frecuencia tenemos que:

Tabla N° 46. Valores obtenidos en Etabs-2016, periodos, modales y frecuencias
Estructura de Tres Pisos

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec
Modal Análisis	1	0,409	2,442
Modal Análisis	2	0,329	3,038
Modal Análisis	3	0,317	3,159
Modal Análisis	4	0,16	6,258
Modal Análisis	5	0,152	6,576

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 47. Periodos obtenidos para de la Estructura Tres Pisos

Modos	Periodos	T
1	0,409	0,327
5	0,152	0,18

Elaborado por: Karina Freire

H) Cálculo de Derivas

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

Dónde:

Δ_M = Deriva máxima inelástica.

Δ_E = Deriva obtenida en aplicación de fuerzas laterales de diseño reducidas.

R = Factor de reducción de resistencia.

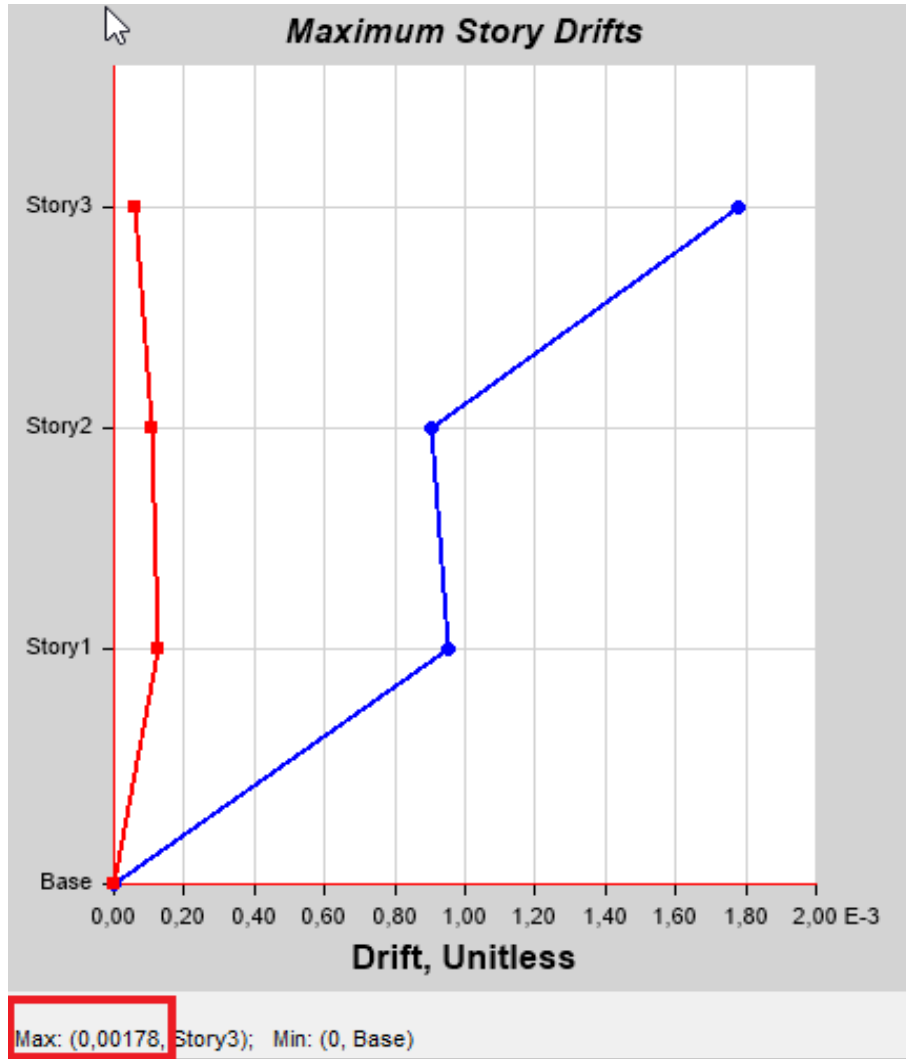
Tabla N° 48. Factor de reducción de resistencia

Sistemas estructurales Dúctiles	R
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente	8
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Elaborado por: Karina Freire

El factor seleccionado para esta estructura en especial es 8, debido a que cuenta con pórticos especiales sismo resistente, de hormigón armado con vigas descolgadas.

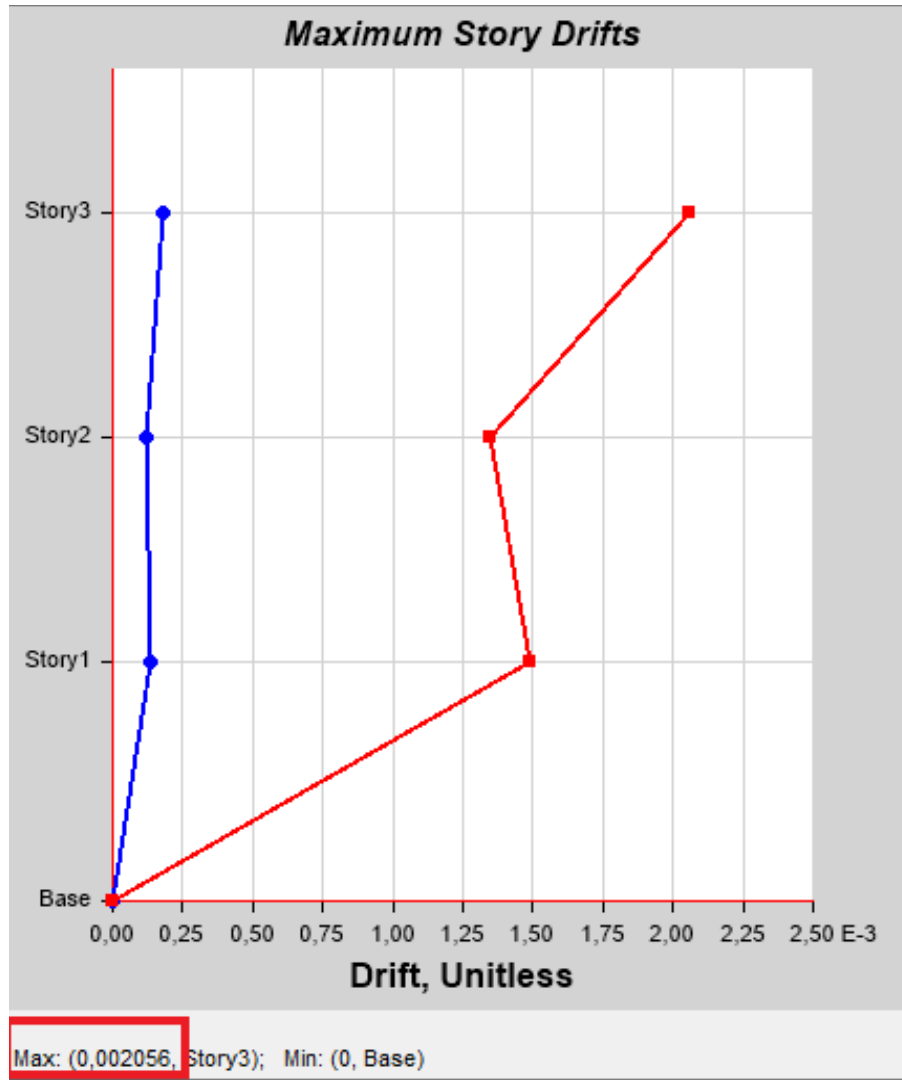
Gráfico N° 67 Deriva elástica estática en el sentido X
Estructura de Tres Pisos - Espectro NEC-2015



Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Gráfico N° 68 Deriva elástica estática en el sentido Y

Estructura de Tres Pisos - Espectro NEC-2015



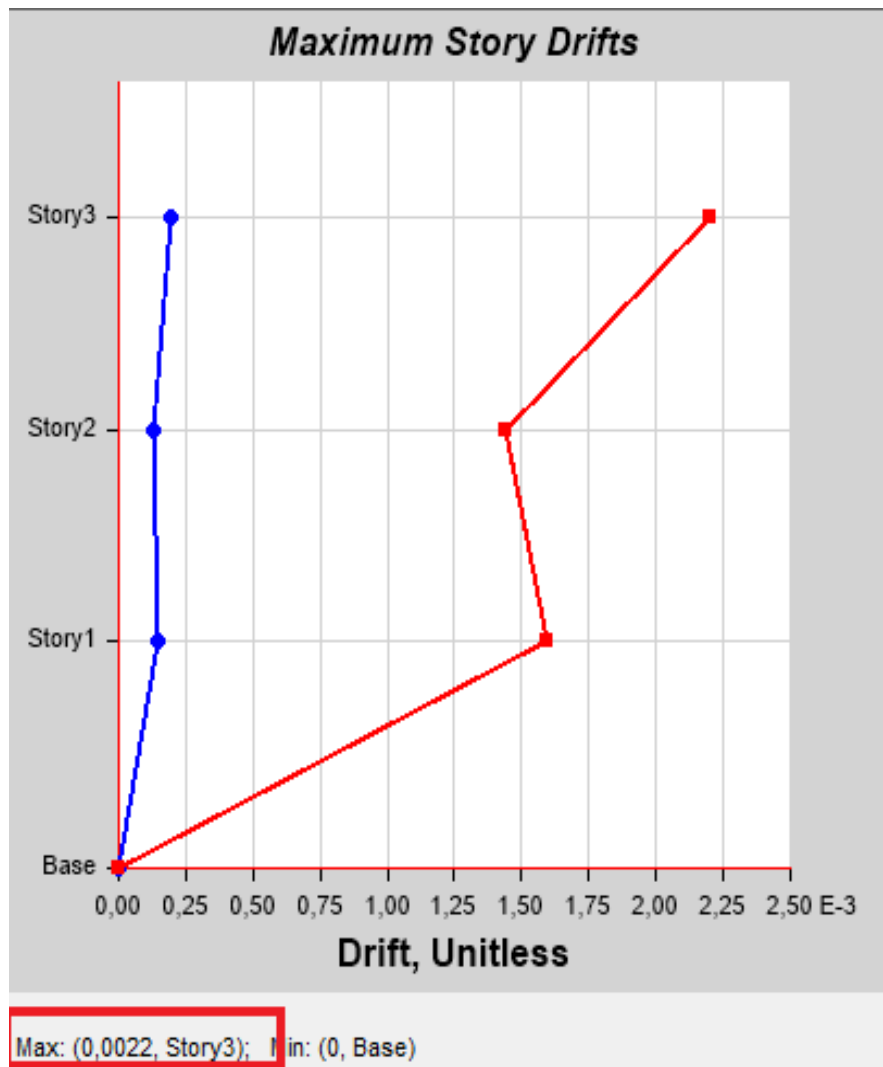
Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Gráfico N° 69 Deriva elástica estática en el sentido X
Estructura de Tres Pisos - Espectro Determinista



Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Gráfico N° 70 Deriva elástica estática en el sentido Y
Estructura de Tres Pisos - Espectro Determinista



Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 49. Valores obtenidos de las Derivas Elásticas Estáticas en X y Y
Estructura de Tres Pisos – Espectro NEC-2015 y Determinista

Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story3	Sx	X	0,00178
Story3	Sy	Y	0,002056
Story3	Sx_Deter	X	0,001905
Story3	Sy_Deter	Y	0,0022
Story2	Sx	X	0,000906
Story2	Sy	Y	0,001346
Story2	Sx_Deter	X	0,00097
Story2	Sy_Deter	Y	0,00144
Story1	Sx	X	0,00095
Story1	Sy	Y	0,001491
Story1	Sx_Deter	X	0,001017
Story1	Sy_Deter	Y	0,001596

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 50. Tabla Resumen de las Derivas Elásticas Estáticas
Estructura de Tres Pisos – Espectro NEC-2015 y Determinista

ESPECTRO NEC-2015		
Nivel	Caso de Carga	
	Sx 1	Sy1
Nv. 8,28	0,00178	0,002056
Nv. 5,28	0,000906	0,001346
Nv. 2,88	0,00095	0,001491
ESPECTRO DETERMINISTA		
Nivel	Caso de Carga	
	Sx 1	Sy1
Nv. 8,28	0,001905	0,0022
Nv. 5,28	0,00097	0,00144
Nv. 2,88	0,001017	0,001596

Elaborado por: Karina Freire

Tabla N° 51. Derivas de piso elásticas e inelásticas estáticas
Estructura de Tres Pisos – Espectro NEC-2015 y Determinista

ESTRUCTURA DE TRES PISOS						
ESPECTROS	Sismo X			Sismo Y		
	ΔE	ΔM	%	ΔE	ΔM	%
NEC - 2015	0,00178	0,0106	1,068	0,002056	0,0123	1,233
DETERMINÍSTICO	0,001905	0,0114	1,143	0,0022	0,0132	1,32

Elaborado por: Karina Freire

La NEC-2015 nos indica que:

La deriva inelástica debe ser menor al dos por ciento.

$$\Delta_{INELASTICA} < 2 \%$$

De la tabla anterior podemos concluir que la deriva máxima con el Espectro NEC- 2015 se encuentra ubicada en el Nv.8,28, dando como resultado una deriva inelástica de 0,0106, siendo esta proporcional al 1,068 por ciento en el sentido X y en el sentido Y una deriva inelástica de 0,0123 proporcional al 1,23 por ciento

Mientras que la deriva máxima con el Espectro Determinista se encuentra también en el Nv.8,28 con una deriva inelástica de 0,0114 proporcional al 1,14 por ciento en el sentido X y en el sentido Y una deriva inelástica de 0,0132 proporcional al 1,32 por ciento, cumpliendo así con la condición que nos indica la norma.

I) Análisis Dinámico

- Validación del Análisis Dinámico

La Norma Ecuatoriana de la Construcción recomienda realizar una validación del análisis dinámico en la estructura, el cual consiste en que los valores de cortantes basal dinámico sean mayores al 80% del cortante basal estático para estructuras regulares y el 85% en estructuras irregulares.

Tabla N° 52. Valores Cortante Estático y Cortante Dinámico del Espectro NEC-2015 para el sentido X y Y. Estructura de Tres Pisos

Story Forces

Story	Load Case/Combo	Location	VX tonf	VY tonf
Story1	Sx	Top	-19,8334	0
Story1	Sx	Bottom	-19,9996	0
Story1	Sy	Top	0	-19,8334
Story1	Sy	Bottom	0	-19,9996
Story1	SNec_Dinámico_X Max	Top	17,3399	4,5726
Story1	SNec_Dinámico_X Max	Bottom	17,3784	4,5836
Story1	SNec_Dinámico_Y Max	Top	5,8976	16,1836
Story1	SNec_Dinámico_Y Max	Bottom	5,9099	16,215

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 53. Valores Cortante Estático y Cortante Dinámico del Espectro Determinista para el sentido X y Y. Estructura de Tres Pisos

Story Forces

Story	Load Case/Combo	Location	VX tonf	VY tonf
Story1	SDeter_Dinámico_X Max	Top	18,7763	15,4827
Story1	SDeter_Dinámico_X Max	Bottom	18,8169	15,5125
Story1	SDeter_Dinámico_Y Max	Top	18,7763	15,4827
Story1	SDeter_Dinámico_Y Max	Bottom	18,8169	15,5125
Story1	Sx_Deter	Top	-21,2263	0
Story1	Sx_Deter	Bottom	-21,4042	0
Story1	Sy_Deter	Top	0	-21,2263
Story1	Sy_Deter	Bottom	0	-21,4042

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 54. Relación del cortante Dinámico y Estático del espectro NEC-2015 y Determinista para la validación de análisis dinámico. Estructura de Tres Pisos

ESTRUCTURA DE TRES PISOS						
ESPECTROS	Sentido X			Sismo Y		
	V estático Tn	V dinámico Tn	V din/V est Tn	V estático Tn	V dinámico Tn	V din/V est Tn
NEC 15	19,9996	17,3784	86,89	19,9996	16,215	81,08
DETERMINÍSTICO	21,4042	18,8169	87,91	15,5125	21,4042	137,98

Elaborado por: Karina Freire

4.2.6.3 Evaluación de la Edificación de Tres Niveles (Sótano)

La siguiente edificación caracteriza por ser una de las estructuras más altas construidas en el sitio de investigación, la selección de esta estructura se la realizó para analizar la influencia del espectro determinista en estructuras con periodos de vibración medianamente altos.

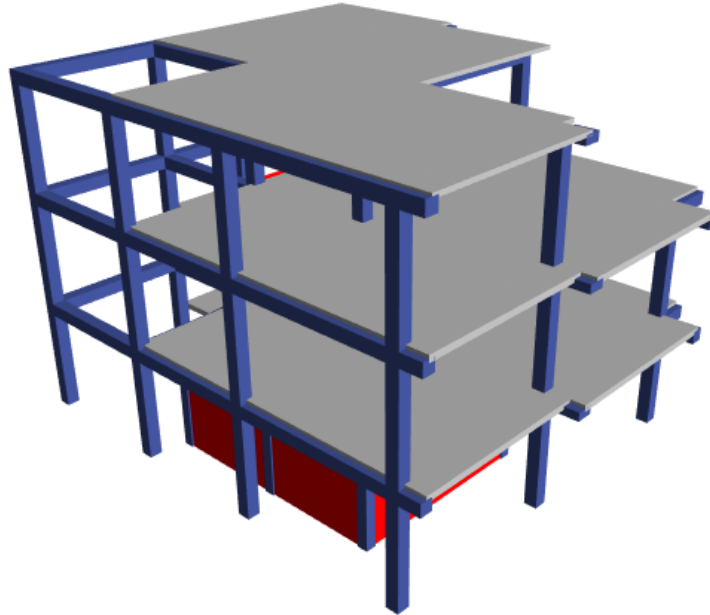
Tabla N° 55. Características de la Estructura de Tres Niveles

INDICADOR	CARACTERÍSTICA
Sistema Estructural Principal Resistente a Carga Lateral	Pórticos de Hormigón Armado
Configuración Geométrica en Planta	Irregular
Configuración Geométrica en Elevación	Regular
Altura de Piso	2.70m (Nv+0.20 a Nv+8.30) 2.90m(Nv+0.20 a Nv-2.70)
Resistencia del Hormigón	$f_c = 240 \text{ kg/cm}^2$
Límite de Fluencia del Acero de Refuerzo	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
Dimensión de Columnas	30x30cm
Dimensión de vigas	30x20;40x20; 30x30
Losa	20cm

Elaborado por: Karina Freire

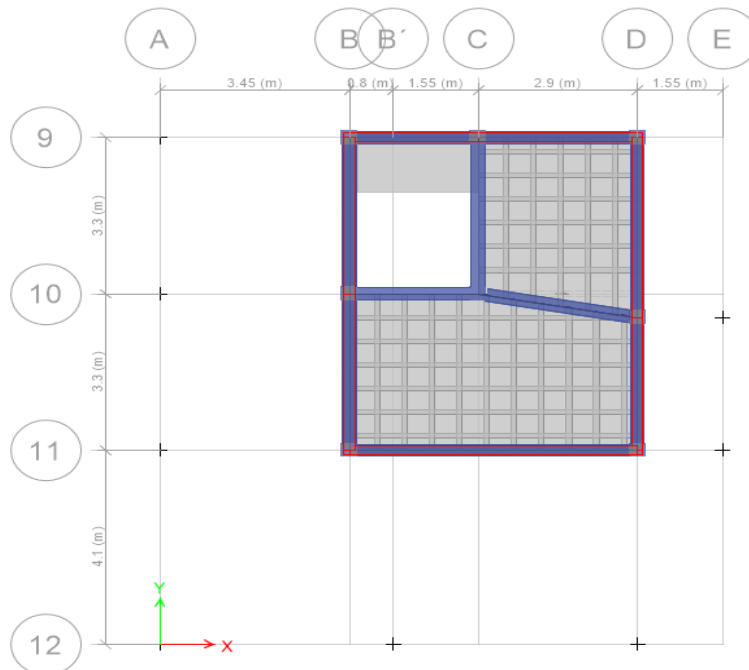
- **Renderización del Modelo**

Gráfico N° 71 Vista isométrica modelo 3d



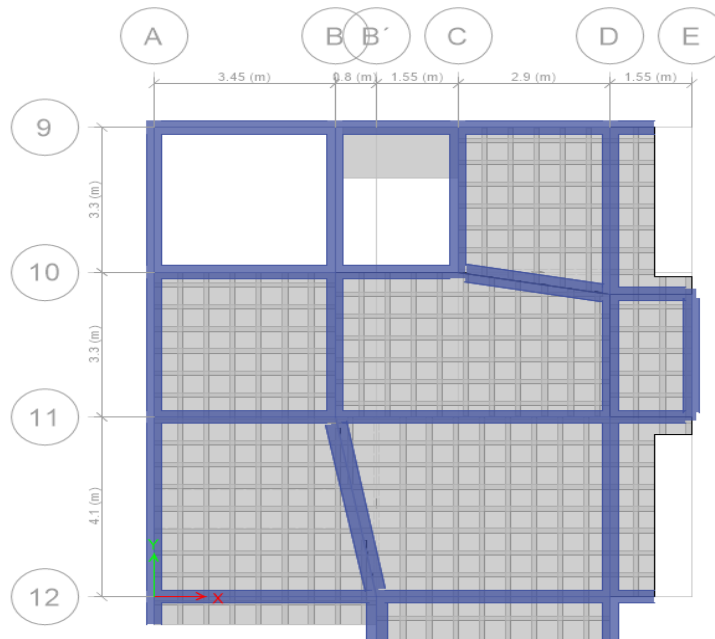
Elaborado por: Karina Freire

Gráfico N° 72 Vista planta Nv+ 0.20



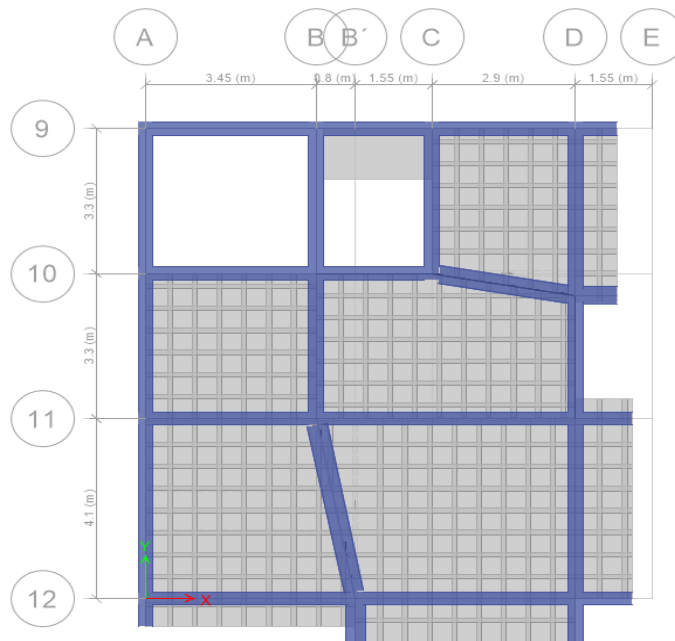
Elaborado por: Karina Freire

Gráfico N° 73 Vista planta Nv+ 2.90



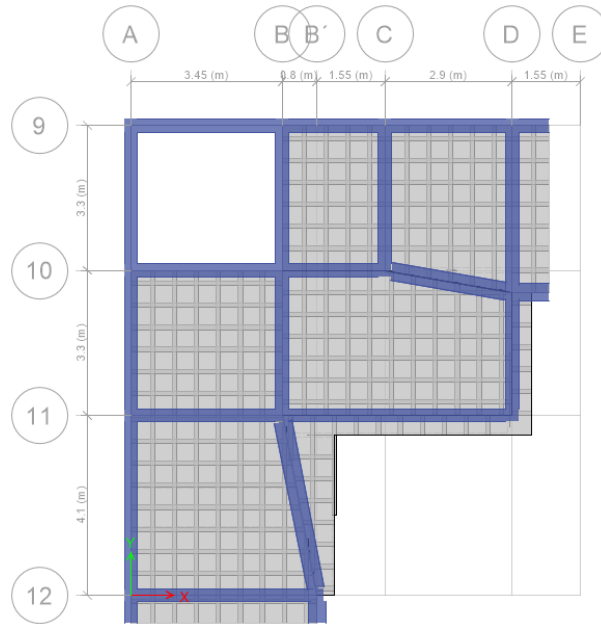
Elaborado por: Karina Freire

Gráfico N° 74 Vista planta Nv+ 5.60



Elaborado por: Karina Freire

Gráfico N° 75 Vista planta Nv+ 8.30

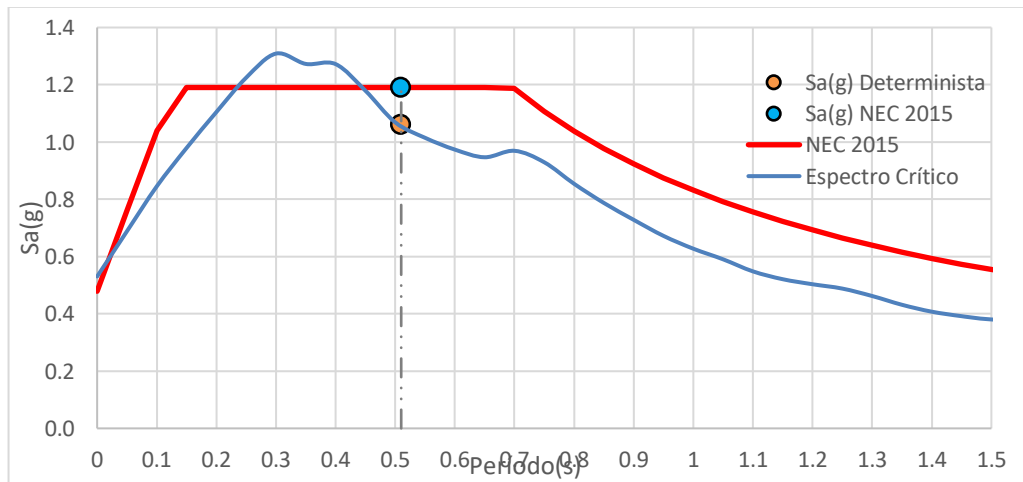


Elaborado por: Karina Freire

Verificación Del Comportamiento Estructural

A) Cálculo de la Aceleración Espectral

Gráfico N° 76 Aceleración Espectral



Elaborado por: Karina Freire

Las aceleraciones espectrales determinadas en función del periodo de vibración tal y como exige la normativa son de 1.1904g y 1.06g para el espectro NEC y Determinista respectivamente.

B) Cortante Basal Estática

Coefficiente Basal NEC-2015

$$\text{Coeficiente Basal} = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_E}$$

$$\text{Coeficiente Basal} = \frac{1 * 1.1904}{8 * 0.9 * 1}$$

$$\text{Coeficiente Basal} = 0.1653$$

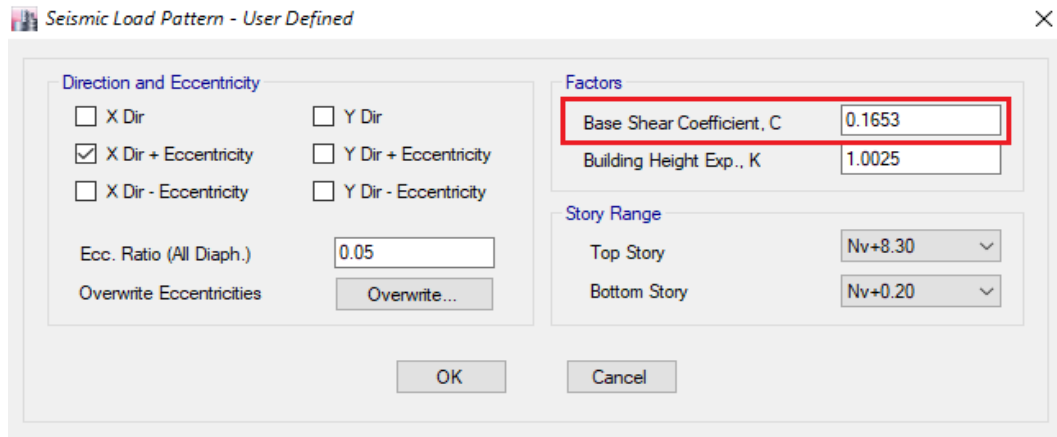
Coefficiente Basal Espectro Determinista

$$\text{Coeficiente Basal} = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_E}$$

$$\text{Coeficiente Basal} = \frac{1 * 1.06}{8 * 0.9 * 1}$$

$$\text{Coeficiente Basal} = 0.1472$$

Gráfico N° 77 Coeficiente de Corte basal Espectro NEC-2015



Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity

X Dir Y Dir

X Dir + Eccentricity Y Dir + Eccentricity

X Dir - Eccentricity Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Overwrite Eccentricities

Factors

Base Shear Coefficient, C

Building Height Exp., K

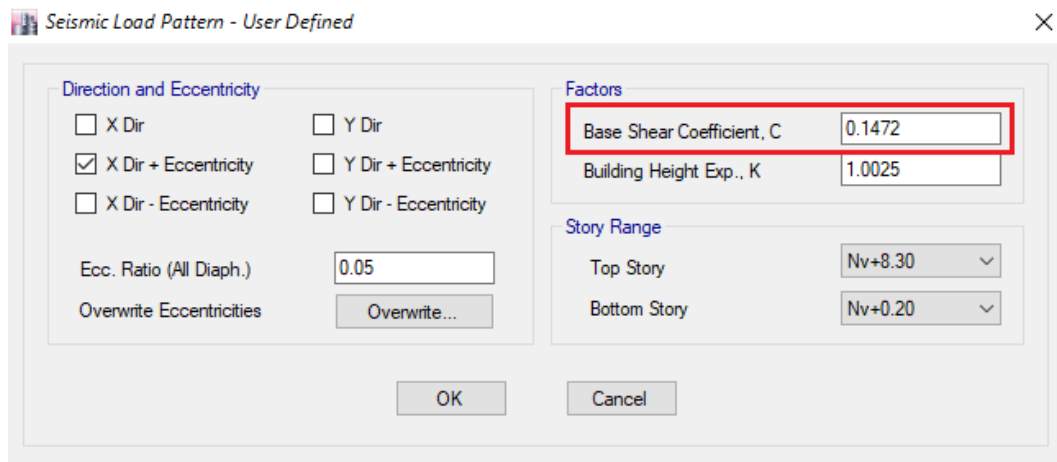
Story Range

Top Story

Bottom Story

Elaborado por: Karina Freire

Gráfico N° 78 Coeficiente de corte basal Espectro Determinista



Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity

X Dir Y Dir

X Dir + Eccentricity Y Dir + Eccentricity

X Dir - Eccentricity Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Overwrite Eccentricities

Factors

Base Shear Coefficient, C

Building Height Exp., K

Story Range

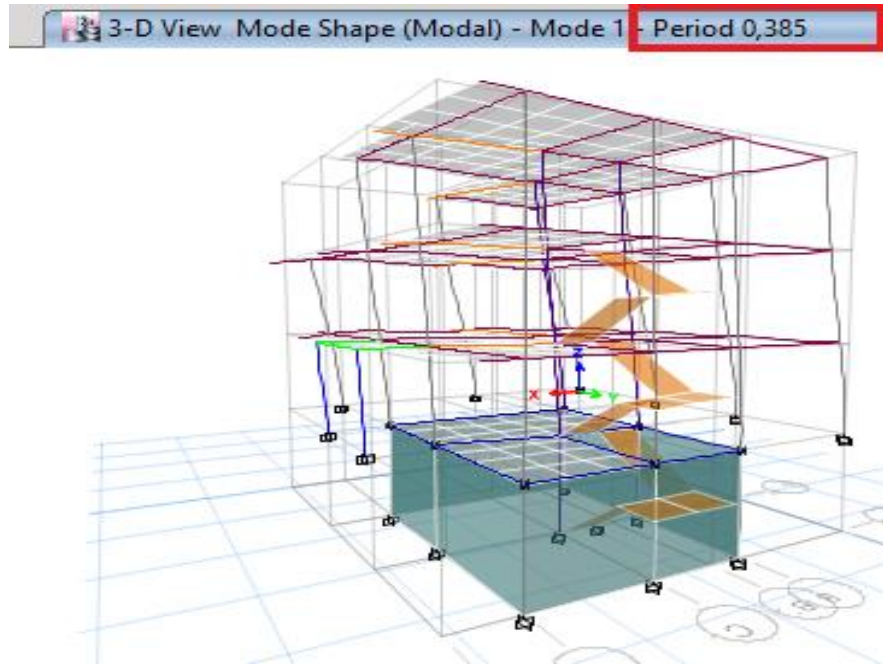
Top Story

Bottom Story

Elaborado por: Karina Freire

C) Cálculo del Período Fundamental de la Estructura

Gráfico N° 79 Período Fundamental de la Estructura



Elaborado por: Karina Freire

D) Comprobación Del Período De Vibración de la Estructura

- Cálculo Del Período De Vibración Mediante El Método 1

Tabla N° 56. Parámetros para el cálculo del período de vibración por el Método 1

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Fuente: Peligro Sísmico NEC-SE-DS

$$T_1 = Ct * h_n^\alpha$$

$$T_1 = 0.055 * 8,30^{0.9}$$

$$T_1 = 0.369 s.$$

$$0.369 s < 0.385 < 1.3 * 0.369 s$$

$$0.369 s < 0.385s < 0.479s$$

El período de vibración de la estructura calculada por medio del análisis modal (T_a), cumple con el intervalo dispuesto por la normativa que nos dice que no debe ser mayor en un 30% del período de vibración de la estructura (T_1), calculado por el método 1.

E) Períodos Límite De Vibración

Los periodos límite de vibración son los mismos calculados anteriormente para la estructura tipo de un piso. Mostrados en la siguiente tabla de Resumen de datos obtenidos.

Tabla N° 57. Resumen de datos obtenidos T_o , T_c , T_1 y T_a calculado por medio del análisis modal. Estructura de Tres Pisos (Sótano)

ESTRUCTURA	T_o	T_c	T_1	T_a (ETABS)
PISOS 1	0.13	0.7	0.369	0.385

Elaborado por: Karina Freire

En la tabla anterior podemos observar que los valores del período calculado se encuentran dentro del rango de los períodos límites de vibración.

F) Modos De Vibración De La Estructura

A continuación la tabla de datos obtenidos en Etabs 2016

Tabla N° 58. Valores Obtenidos en Etabs 2016 - Estructura de Tres Pisos (Sótano)
Participación Modal de la Masa

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0.505	0.0204	0.0125	0.3439
Modal	2	0.449	0.0009	0.6907	0.0114
Modal	3	0.325	0.232	0.0107	0.3952

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 59. Verificación de los Modos de Vibración
Estructura de Tres Pisos (Sótano)

ESPECTROS	MODOS	Ux, Uy	Rz	%	TIPO
NEC 2015 DETERMINÍSTICO	1	0,0204	0,3439	1,69	Traslacional
	2	0,6907	0,0114	1,65	Traslacional
	3	0,232	0,3952	170,34	Rotacional

Elaborado por: Karina Freire

Los modos de vibración de la estructura analizada (sótano) se cumplen ya que el modo uno y dos son traslacionales y el modo tres es rotacional.

G) Modos Necesarios Para La Acumulación Del 90% De La Masa En Las Direcciones Principales

Tabla N° 60. Modos obligatorios para la acumulación del 90% de la masa Estructura de Tres Pisos (Sótano)

Modal Participating Mass Ratios					
1 de 5 Reload Apply					
	Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY
▶	Modal	10	0,024	0,8359	0,8303
	Modal	11	0,021	0,8511	0,8303
	Modal	12	0,018	0,9956	0,8305
	Modal	13	0,016	0,9957	0,9927
	Modal	14	0,015	0,9957	0,9934

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

En la tabla anterior podemos observar que existe una acumulación del 90% de la masa en el modo doce para X y en el modo trece para Y.

Tabla N° 61. Modos utilizados para la acumulación del 90% de la masa Estructura de Tres Pisos (Sótano)

ESPECTROS	MODO	Sum Ux	Sum Uy
NEC 2015 DETERMINÍSTICO	12	0,9956	
	13		0,9927

Elaborado por: Karina Freire

Realizando el análisis respectivo de frecuencia tenemos que:

Tabla N° 62. Valores obtenidos en Etabs-2016, periodos, modales y frecuencias
Estructura de Tres Pisos (Sótano)

Modal Periods and Frequencies				
◀◀ 1 de 15 ▶▶ Reload Apply				
	Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec
▶	Modal	1	0,505	1,98
	Modal	2	0,449	2,228
	Modal	3	0,325	3,082
	Modal	4	0,177	5,643
	Modal	5	0,162	6,173
	Modal	6	0,124	8,07
	Modal	7	0,114	8,775
	Modal	8	0,098	10,218
	Modal	9	0,071	14,102
	Modal	10	0,024	42,227
	Modal	11	0,021	47,909
	Modal	12	0,018	55,271
	Modal	13	0,016	61,025
	Modal	14	0,015	66,418
	Modal	15	0,014	69,95

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 63. Periodos obtenidos - Estructura de Tres Pisos (Sótano)

Modos	Periodos	T
1	0,505	0,308
5	0,16	0,19

Elaborado por: Karina Freire

H) Cálculo de Derivas

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

Ec. 36

Dónde:

Δ_M = Deriva máxima inelástica.

Δ_E = Deriva obtenida en aplicación de fuerzas laterales de diseño reducidas.

R = Factor de reducción de resistencia.

Tabla N° 64. Factor de reducción de resistencia

Sistemas estructurales Dúctiles	R
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente	8
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Elaborado por: Karina Freire

El factor seleccionado para esta estructura en especial es 8, debido a que cuenta con pórticos especiales sismo resistente, de hormigón armado con vigas descolgadas.

Tabla N° 65. Valores obtenidos de Derivas Máximas elásticas estáticas en X y Y
Estructura de Tres Pisos (Sótano) - Espectro NEC-2015, Espectro Determinista

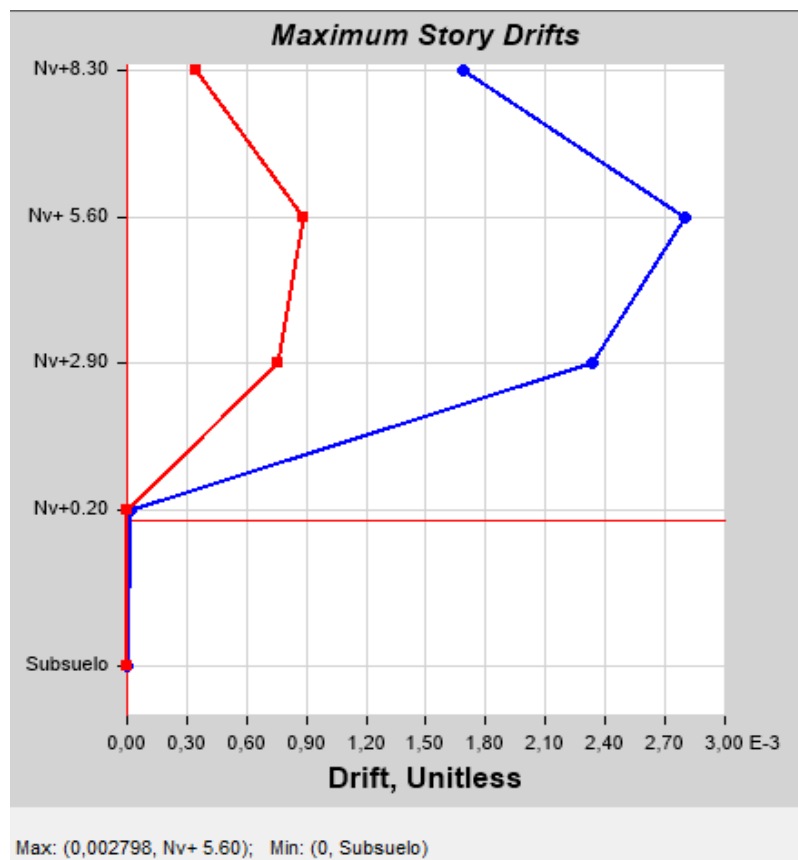
Story Drifts

de 4 | Reload Apply

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Nv+ 5.60	Sx 1	X	0,002798
Nv+ 5.60	Sy 1	Y	0,001887
Nv+ 5.60	Sx_DETER 1	X	0,002492
Nv+ 5.60	Sy_DETER 1	Y	0,00168

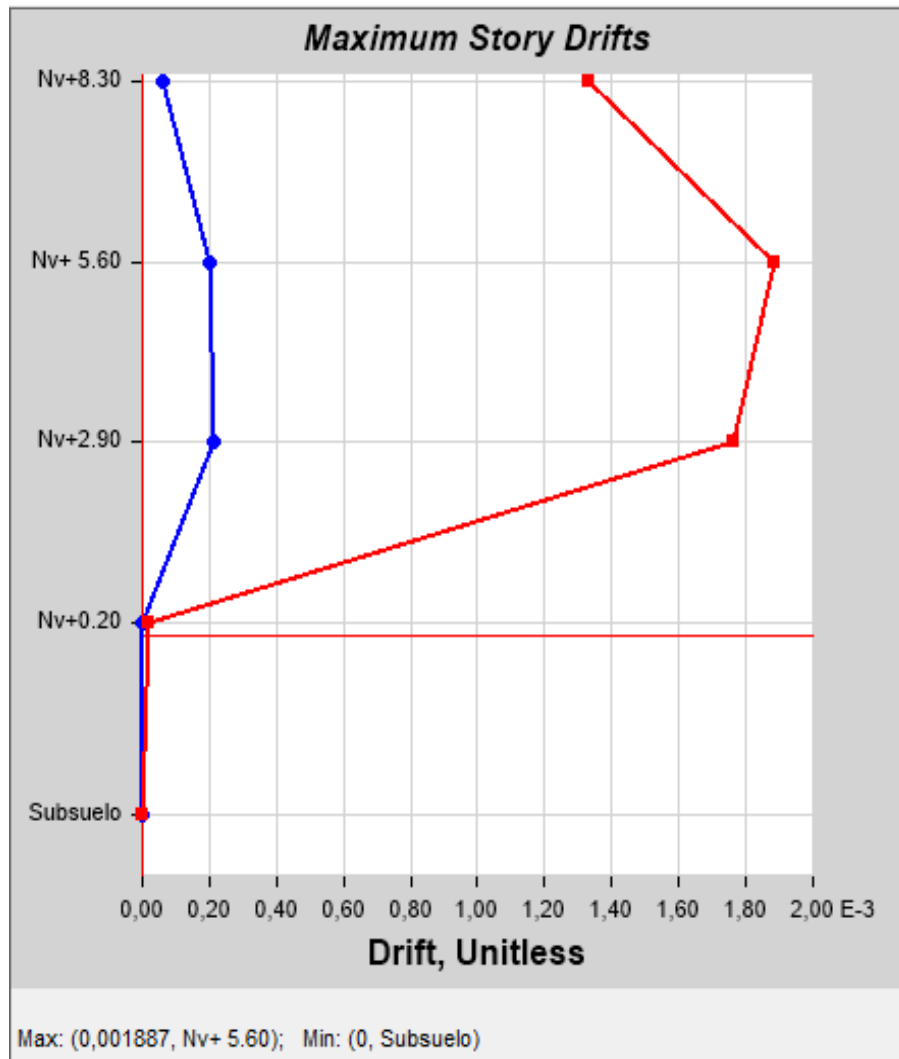
Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Gráfico N° 80 Deriva Máxima elástica estática en el sentido X
Estructura de Tres Pisos (Sótano) Espectro NEC-2015.



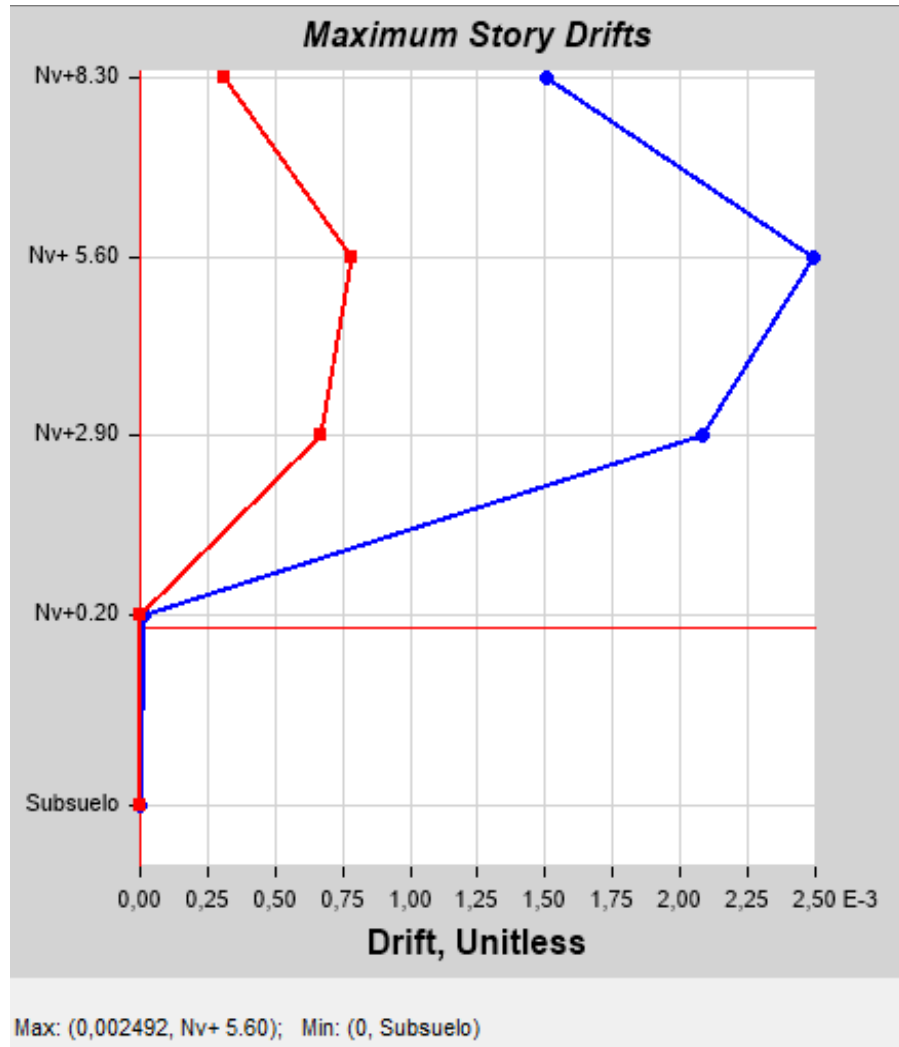
Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Gráfico N° 81 Deriva Máxima elástica estática en el sentido Y
Estructura de Tres Pisos (Sótano) - Espectro NEC-2015.



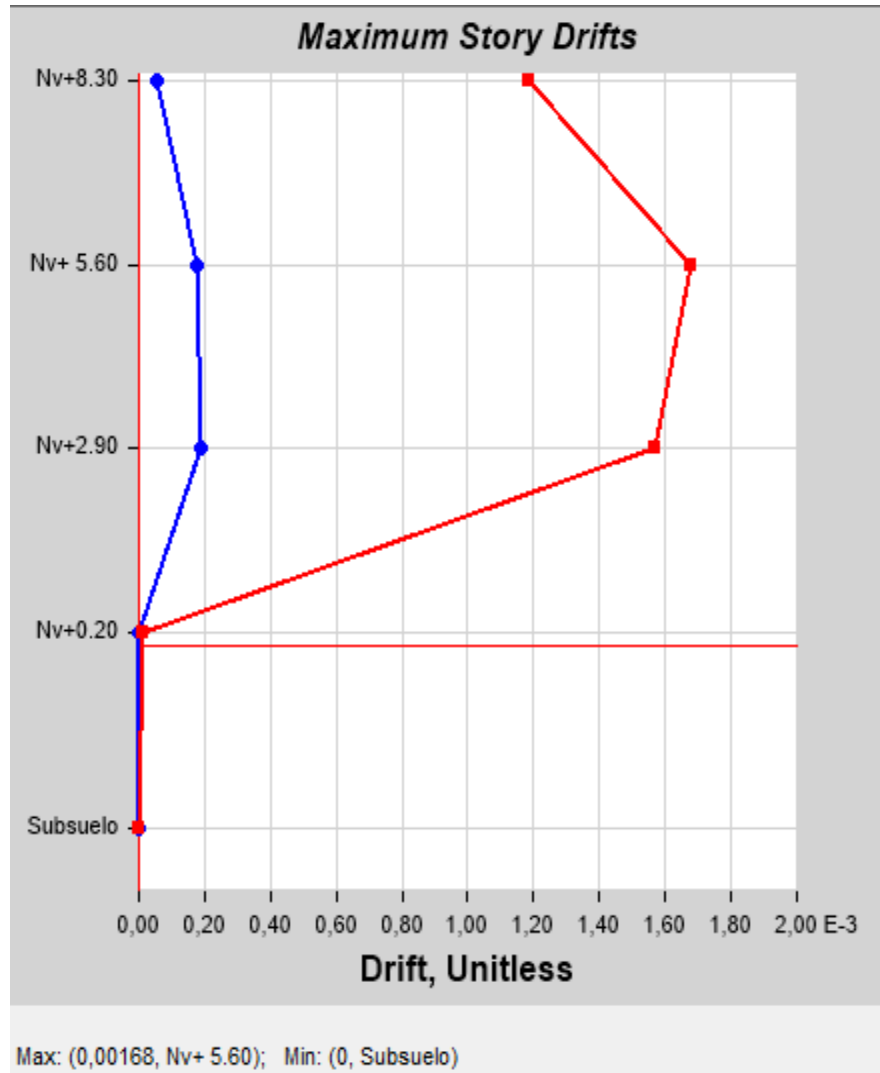
Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Gráfico N° 82 Deriva Máxima elástica estática en el sentido X
Estructura de Tres Pisos (Sótano) - Espectro Determinista



Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Gráfico N° 83 Deriva Máxima elástica estática en el sentido Y
Estructura de Tres Pisos (Sótano) - Espectro Determinista



Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 66. Resumen de Derivas Máximas elásticas estáticas en X y Y Estructura de Tres Pisos (Sótano) - Espectro NEC-2015, Espectro Determinista

ESPECTRO NEC-2015		
Nivel	Caso de Carga	
	Sx 1	Sy1
Nv. 5,60	0,002798	0,001887
ESPECTRO DETERMINISTA		
Nivel	Caso de Carga	
	Sx 1	Sy1
Nv. 5,60	0,002492	0,00168

Elaborado por: Karina Freire

Tabla N° 67. Comprobación de Derivas elásticas e inelásticas estáticas para la Estructura de Tres Pisos (Sótano) - Espectro NEC-2015, Espectro Determinista

ESTRUCTURA DE TRES PISOS						
ESPECTROS	Sismo X			Sismo Y		
	ΔE	ΔM	%	ΔE	ΔM	%
NEC - 2015	0,002798	0,0168	1,68	0,001887	0,01132	1,13
DETERMINÍSTICO	0,002492	0,0149	1,49	0,00168	0,108	1,008

Elaborado por: Karina Freire

La deriva inelástica debe ser menor al dos por ciento.

$$\Delta_{INELASTICA} < 2 \%$$

En la Tabla N° 67 podemos observar que la deriva máxima con el Espectro NEC- 2015 se encuentra ubicada en el Nv.5,60 dando como resultado una deriva inelástica de 0,0168 siendo esta proporcional al 1,68 por ciento en el sentido X y en el sentido Y una deriva inelástica de 0,001132 proporcional al 1,13 por ciento.

Y la deriva máxima con el Espectro Determinista ubicada también en el Nv.5,60 m con una deriva inelástica de 0,0149 proporcional al 1,49 por ciento en el sentido X y en el sentido Y una deriva inelástica de 0,108 proporcional al 1,08 por ciento, cumpliendo así con la condición que nos indica la norma.

I) Análisis Dinámico

- Validación del Análisis Dinámico

La Norma Ecuatoriana de la Construcción recomienda realizar una validación del análisis dinámico en la estructura, el cual consiste en que los valores de cortantes basal dinámico sean mayores al 80% del cortante basal estático para estructuras regulares y el 85% en estructuras irregulares.

Tabla N° 68. Valores Cortante Estático y Cortante Dinámico del Espectro NEC-2015 Sentido X y Y. Estructura de Tres Pisos (Sótano)

Story Forces					
⏪ ⏩ 1 de 8 ⏪ ⏩ Reload Apply					
	Story	Load Case/Combo	Location	VX tonf	VY tonf
▶	Nv+2.90	Sx 1	Top	-40,7291	0
	Nv+2.90	Sx 1	Bottom	-41,0015	0
	Nv+2.90	Sy 1	Top	0	-40,7291
	Nv+2.90	Sy 1	Bottom	0	-41,0015
	Nv+2.90	Din_Nec_X Max	Top	34,7918	14,6176
	Nv+2.90	Din_Nec_X Max	Bottom	34,8763	14,6739
	Nv+2.90	Din_Nec_Y Max	Top	9,0991	34,6666
	Nv+2.90	Din_Nec_Y Max	Bottom	9,1249	34,7783

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 69. Valores Cortante Estático y Cortante Dinámico del Espectro Determinista Sentido X y Y. Estructura de Tres Pisos (Sótano)

Story Forces

Story	Load Case/Combo	Location	VX tonf	VY tonf
Nv+2.90	Din_Deter_X Max	Top	24,9903	11,0724
Nv+2.90	Din_Deter_X Max	Bottom	25,0611	11,1152
Nv+2.90	Din_Deter_Y Max	Top	8,5399	34,3098
Nv+2.90	Din_Deter_Y Max	Bottom	8,5672	34,418
Nv+2.90	Sx_DETER 1	Top	-36,2694	0
Nv+2.90	Sx_DETER 1	Bottom	-36,5119	0
Nv+2.90	Sy_DETER 1	Top	0	-36,2694
Nv+2.90	Sy_DETER 1	Bottom	0	36,5119

Fuente: Etabs 2016. V16.2.1

Tabla N° 70. Relación del cortante Dinámico y Estático del espectro NEC-2015 y Determinista para la validación de análisis dinámico. Estructura de Tres Pisos (Sótano)

ESTRUCTURA DE TRES PISOS						
ESPECTROS	Sentido X			Sismo Y		
	V estático Tn	V dinámico Tn	V din/V est Tn	V estático Tn	V dinámico Tn	V din/V est Tn
NEC 15	41,0015	34,8763	85,06	41,0015	34,7783	84,82
DETERMINÍSTICO	36,2694	25,0611	69,10	36,5119	34,418	94,27

Elaborado por: Karina Freire

4.9 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En función de la hipótesis planteada: “ El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza para el sector de Celiano Monge del Cantón Ambato ”, se pudo verificar que las aceleraciones producidas por el espectro determinista en el intervalo de 0.24s a 0.44s superan a las de la NEC-2015 y producen un incremento en cortantes y derivas de aquellas estructuras con períodos de vibración fundamental que coinciden en el intervalo crítico.

CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES

- Podemos concluir que la falla cortical que causa mayores aceleraciones a nuestra zona de estudio es la falla de Ambato, la cual produce aceleraciones que superan a las impuestas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción en el intervalo de 0.24 a 0.44 segundos.
- La liberación de energía del fallamiento cortical producen aceleraciones grandes para periodos cortos, es decir, los sismos producidos por las fallas del régimen cortical afectan a estructuras con periodos de vibración bajo como el caso de edificios entre 2 y 4 pisos.
- El régimen de Subducción produce aceleraciones muy bajas para períodos cortos, mientras que para periodos altos las aceleraciones son superiores a las de régimen cortical, pero para la presente investigación estas no superan a las dictaminadas por normativa, por lo cual el diseño de estructuras con el espectro NEC cubre el cualquier evento crítico de la falla de subducción para la zona de estudio.
- En las estructuras analizadas se pudo determinar que los edificios afectados por las aceleraciones del espectro determinista fueron aquellas que tenían un periodo de vibración fundamental que se ubicaba dentro del intervalo crítico, esto pudo ser constatando tanto en el análisis estático como dinámico, en el cual se pudo establecer que las derivas eran superiores a las del espectro NEC 2015.
- De los resultados obtenidos a partir que los espectros calculados para el área de emplazamiento con diferentes modelos de atenuación y el análisis de las estructuras se puede concluir que las diferencias de aceleraciones entre el espectro NEC y Determinista en el intervalo critico no causa un incremento importante en cortantes

y derivas de aquellas edificaciones que tenían un periodo de vibración ubicado en este intervalo, por lo cual el Espectro de la norma se encuentra bien definido para el área de estudio.

5.2 RECOMENDACIONES

- Dado el incremento de registros sísmicos en las estaciones de control sismológicas a nivel mundial, las ecuaciones de atenuación están constantemente actualizándose, por lo cual se recomienda para futuras investigaciones trabajar con relaciones de atenuación actualizadas.
- Desde el año 2009 hasta el 2012 se dio la ampliación y modernización del servicio nacional de sismología, que le permitió al Instituto Geofísico Nacional adquirir sensores de banda ancha y digitalizadores de mejor resolución, por lo cual se recomienda hacer uso de los registros altamente confiables con los que se cuenta en la actualidad para desarrollar Relaciones de Atenuación propias para nuestro régimen tectónico, que sirvan como herramienta clave para el estudio de peligro sísmico en cualquier parte del país.
- Dado que las aceleraciones del espectro determinista superan al espectro NEC-2015, se recomienda para estructuras nuevas continuar ejecutando el diseño con el espectro de la normativa pero se deberá verificar el desempeño estructural mediante un análisis no lineal, sea este el pushover o en el mejor de los casos, el análisis tiempo-historia; por otro lado para estructuras existentes se recomienda verificar el desempeño estructural en base al espectro determinista, en especial de aquellas que cuentan con periodos de vibración que se ubiquen dentro del intervalo crítico.
- Se recomienda realizar estudios de las fallas geológicas que atraviesan la ciudad de Ambato para obtener una mejor caracterización de cada una de ellas, con lo cual se podrá utilizar relaciones de predicción que consideren una mayor cantidad considerable de variables, llegando así a obtener resultados más precisos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Bolaños y O. Monroy, Espectros de peligro sísmico uniforme, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2004.
- [2] J. Peña, «Estimación del peligro sísmico en la zona Andina de Chile Central,» 23 de noviembre 2008. [En línea]. Available: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/jorquera_e/sources/jorquera_e.pdf. [Último acceso: 20 Noviembre 2017].
- [3] C. Ortiz, «Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador,» 15 Marzo 2013. [En línea]. Available: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf>. [Último acceso: 20 Noviembre 2017].
- [4] B. Benito, GEOLOGÍA, TERREMOTOS Y RIESGO SÍSMICO: AVANCES Y PERSPECTIVAS, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2012.
- [5] J. Giner y S. Molina, Sismicidad y Riesgo Sísmico en la C.A.V, Alicante: Editorial Club Universitario, 2010.
- [6] C. Caballero, Tectónica de placas ¿Cómo funciona?, México: UNAM, 2016.
- [7] J. Kious y R. Tillin, «Earth: the story of plate tectonics,» 2014. [En línea]. Available: <http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/dynamic.html>.
- [8] E. Jorquera, Estimación del peligro sísmico en la zona andina de Chile central, Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2008.
- [9] E. Tarbuck y F. Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, Madrid: Prentice Hall, 2001.
- [10] M. Espíndola y Z. Jiménez, Terremotos y Ondas Sísmicas, Lima: ISBN, 2001.
- [11] B. Bolt, Earthquakes, Freeman and company, 1999.
- [12] C. Wells, Nuevas relaciones empíricas entre la magnitud, longitud de rotura, ancho de rotura, ruptura de la zona, y desplazamiento de la superficie., Agosto, 1994.

- [13] B. Gaité, *Análisis y aplicaciones del ruido sísmico en México, Golfo de México y Caribe: Tomografía de ondas superficiales Rayleigh y Love*, Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2013.
- [14] R. Sampieri, *Fundamentos de metodología de investigación*, México: McGraw-Hill., 2007.
- [15] F. Rivadeneria, M. Segovia y A. Alvarado, *Breves fundamento sobre los terremotos en Ecuador*, Quito: Corporación Editora Nacional, 2007.
- [16] G. Alarcón, «Diseño de contingencia en caso de sismos,» 15 Agosto 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/10575/Tesis%20Gabriela%20Alarc%C3%B3n.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 17 Junio 2017].
- [17] N. E. d. I. C. N. (Peligro Sísmico), *NEC-SE-DS CARGAS SISMICAS, DISEÑO SISMORESISTENTE*, 2015.
- [18] L. Nuñez, «Explorable,» 2016. [En línea]. Available: <https://explorable.com/es/investigacion-experimental>.
- [19] IGEPN, IGEPN "<http://www.igepn.edu.ec>," 2016. [Online]., 2016..
- [20] N. T. E. (. I. 0689)., *Mecánica de Suelos. Ensayo de Penetración Estándar*, (1982).
- [21] D. B. a. G. Atkinson, *Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01 s and 10.0 s.*, 2008..
- [22] S. A. a. J. Bommer, *Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the middle East*, 2010.
- [23] e. a. Kanno, *Una nueva relación de atenuación para el movimiento de tierra fuerte en Japón en base a los datos registrados*, (2006).
- [24] S. Youngs. R. Chiou, *Relaciones de atenuación de movimiento en el suelo para los terremotos de la zona de subducción*, (1997).

- [25] J. Zhao, Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period, 2006.
- [26] J. Egred, «El terremoto de Riobamba del 4 de Feberero de 1797,» 2004. [En línea]. Available: <https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/23-el-terremoto-de-riobamba-de-1797/file>.

ANEXOS

A. FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1. Equipo SPT



Fotografía 2. Verificación de limpieza



Fotografía 3. Profundidad de la perforación



Fotografía 4. Extracción de la muestra



Fotografía 5. Muestras de las perforaciones realizadas



Fotografía 6. Suelo Seco



Fotografía 7. Peso del suelo



Fotografía 8. Tamices utilizados



Fotografía 9. Tamización de la muestra

B. TABLAS

Coefficientes de amplificación del sitio dependiente del período

Período	b_{lin}	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

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

Período	c1	c2	c3	h
PGA	-0.6605	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

Coeficientes de escala de magnitud

Período	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

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

Período	b1	b2	b3	b4	b5	b6
0	1.04159	0.91333	-0.0814	-2.92728	0.2812	7.86638
0.05	2.11528	0.72571	-0.07351	-3.33201	0.33534	7.74734
0.1	2.11994	0.75179	-0.07448	-3.10538	0.30253	8.21405
0.15	1.64489	0.83683	-0.07544	-2.75848	0.2549	8.31786
0.2	0.92065	0.96815	-0.07903	-2.49264	0.2179	8.21914
0.25	0.13978	1.13068	-0.08761	-2.33824	0.20089	7.20688
0.3	-0.84006	1.37439	-0.10349	-2.19123	0.18139	6.54299
0.35	-1.32207	1.47055	-0.10873	-2.12993	0.17485	6.24751
0.4	-1.7032	1.5593	-0.11388	-2.12718	0.17137	6.57173
0.45	-1.97201	1.61645	-0.11742	-2.16619	0.177	6.78082
0.5	-2.76925	1.83268	-0.13202	-2.12969	0.16877	7.17423
0.55	-3.51672	2.02523	-0.14495	-2.04211	0.15617	6.7617
0.6	-3.92759	2.08471	-0.14648	-1.88144	0.13621	6.10103
0.65	-4.4949	2.21154	-0.15522	-1.79031	0.12916	5.19135
0.7	-4.62925	2.21764	-0.15491	-1.798	0.13495	4.46323
0.75	-4.95053	2.29142	-0.15983	-1.81321	0.1392	4.27945
0.8	-5.32863	2.38389	-0.16571	-1.77273	0.13273	4.37011
0.85	-5.75799	2.50635	-0.17479	-1.77068	0.13096	4.62192
0.9	-5.82689	2.50287	-0.17367	-1.76295	0.13059	4.65393
0.95	-5.90592	2.51405	-0.17417	-1.79854	0.13535	4.8454
1	-6.17066	2.58558	-0.17938	-1.80717	0.13599	4.97596
1.05	-6.60337	2.69584	-0.18646	-1.73843	0.12485	5.04489
1.1	-6.90379	2.77044	-0.19171	-1.71109	0.12227	5.00975
1.15	-6.9618	2.75857	-0.1889	-1.66588	0.11447	5.08902
1.2	-6.99236	2.73427	-0.18491	-1.5912	0.10265	5.03274
1.25	-6.74613	2.62375	-0.17392	-1.52886	0.09129	5.08347

1.3	-6.51719	2.51869	-0.1633	-1.46527	0.08005	5.14423
1.35	-6.55821	2.52238	-0.16307	-1.48223	0.08173	5.29006
1.4	-6.61945	2.52611	-0.16274	-1.48257	0.08213	5.3349
1.45	-6.62737	2.49858	-0.1591	-1.4331	0.07577	5.19412
1.5	-6.71787	2.49486	-0.15689	-1.35301	0.06379	5.1575
1.55	-6.80776	2.50291	-0.15629	-1.31227	0.05697	5.27441
1.6	-6.83632	2.51009	-0.15676	-1.3326	0.0587	5.54539
1.65	-6.88684	2.54048	-0.15995	-1.40931	0.0686	5.93828
1.7	-6.946	2.57151	-0.16294	-1.47676	0.07672	6.36599
1.75	-7.09166	2.62938	-0.16794	-1.54037	0.08428	6.82292
1.8	-7.22818	2.66824	-0.17057	-1.54273	0.08325	7.11603
1.85	-7.29772	2.67565	-0.17004	-1.50936	0.07663	7.31928
1.9	-7.35522	2.67749	-0.16934	-1.46988	0.07065	7.25988
1.95	-7.40716	2.68206	-0.16906	-1.43816	0.06525	7.25344
2	-7.50404	2.71004	-0.1713	-1.44395	0.06602	7.26059
2.05	-7.55598	2.72737	-0.17291	-1.45794	0.06774	7.4032
2.1	-7.53463	2.71709	-0.17221	-1.46662	0.0694	7.46168
2.15	-7.50811	2.71035	-0.17212	-1.49679	0.07429	7.51273
2.2	-8.09168	2.91159	-0.1892	-1.55644	0.08428	7.77062
2.25	-8.11057	2.92087	-0.19044	-1.59537	0.09052	7.87702
2.3	-8.16272	2.93325	-0.19155	-1.60461	0.09284	7.91753
2.35	-7.94704	2.85328	-0.18539	-1.57428	0.09077	7.61956
2.4	-7.96679	2.85363	-0.18561	-1.57833	0.09288	7.59643
2.45	-7.97878	2.849	-0.18527	-1.57728	0.09428	7.50338
2.5	-7.88403	2.81817	-0.1832	-1.60381	0.09887	7.53947
2.55	-7.68101	2.7572	-0.17905	-1.65212	0.1068	7.61893
2.6	-7.72574	2.82043	-0.18717	-1.88782	0.14049	8.12248
2.65	-7.53288	2.74824	-0.18142	-1.89525	0.14356	7.92236
2.7	-7.41587	2.69012	-0.17632	-1.87041	0.14283	7.49999

2.75	-7.34541	2.65352	-0.17313	-1.86079	0.1434	7.26668
2.8	-7.24561	2.61028	-0.16951	-1.85612	0.14444	7.11861
2.85	-7.07107	2.56123	-0.16616	-1.90422	0.15127	7.36277
2.9	-6.99332	2.52699	-0.16303	-1.89704	0.15039	7.45038
2.95	-6.95669	2.51006	-0.16142	-1.90132	0.15081	7.60234
3	-6.92924	2.45899	-0.15513	-1.76801	0.13314	7.2195

Fuente: Akkar y Bommer 2010

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

Período	b7	b8	b9	b10	σ_1	σ_2
0	0.08753	0.01527	-0.04189	0.08015	0.261	0.0994
0.05	0.04707	-0.02426	-0.0426	0.08649	0.272	0.1142
0.1	0.02667	-0.00062	-0.04906	0.0791	0.2728	0.1167
0.15	0.02578	0.01703	-0.04184	0.0784	0.2788	0.1192
0.2	0.06557	0.02105	-0.02098	0.08438	0.2821	0.1081
0.25	0.0981	0.03919	-0.04853	0.08577	0.2871	0.099
0.3	0.12847	0.0434	-0.05554	0.09221	0.2902	0.0976
0.35	0.16213	0.06695	-0.04722	0.09003	0.2983	0.1054
0.4	0.21222	0.09201	-0.05145	0.09903	0.2998	0.1101
0.45	0.24121	0.11675	-0.05202	0.09943	0.3037	0.1123
0.5	0.25944	0.13562	-0.04283	0.08579	0.3078	0.1163
0.55	0.26498	0.14446	-0.04259	0.06945	0.307	0.1274
0.6	0.27718	0.15156	-0.03853	0.05932	0.3007	0.143
0.65	0.28574	0.15239	-0.03423	0.05111	0.3004	0.1546
0.7	0.30348	0.15652	-0.04146	0.04661	0.2978	0.1626
0.75	0.31516	0.16333	-0.0405	0.04253	0.2973	0.1602
0.8	0.32153	0.17366	-0.03946	0.03373	0.2927	0.1584
0.85	0.3352	0.1848	-0.03786	0.02867	0.2917	0.1543

0.9	0.34849	0.19061	-0.02884	0.02475	0.2915	0.1521
0.95	0.35919	0.19411	-0.02209	0.02502	0.2912	0.1484
1	0.36619	0.19519	-0.02269	0.02121	0.2895	0.1483
1.05	0.37278	0.19461	-0.02613	0.01115	0.2888	0.1465
1.1	0.37756	0.19423	-0.02655	0.0014	0.2896	0.1427
1.15	0.38149	0.19402	-0.02088	0.00148	0.2871	0.1435
1.2	0.3812	0.19309	-0.01623	0.00413	0.2878	0.1439
1.25	0.38782	0.19392	-0.01826	0.00413	0.2863	0.1453
1.3	0.38862	0.19273	-0.01902	-0.00369	0.2869	0.1427
1.35	0.38677	0.19082	-0.01842	-0.00897	0.2885	0.1428
1.4	0.38625	0.19285	-0.01607	-0.00876	0.2875	0.1458
1.45	0.38285	0.19161	-0.01288	-0.00564	0.2857	0.1477
1.5	0.37867	0.18812	-0.01208	-0.00215	0.2839	0.1468
1.55	0.37267	0.18568	-0.00845	-0.00047	0.2845	0.145
1.6	0.36952	0.18149	-0.00533	-0.00006	0.2844	0.1457
1.65	0.36531	0.17617	-0.00852	-0.00301	0.2841	0.1503
1.7	0.35936	0.17301	-0.01204	-0.00744	0.284	0.1537
1.75	0.35284	0.16945	-0.01386	-0.01387	0.284	0.1558
1.8	0.34775	0.16743	-0.01402	-0.01492	0.2834	0.1582
1.85	0.34561	0.1673	-0.01526	-0.01192	0.2828	0.1592
1.9	0.34142	0.16325	-0.01563	-0.00703	0.2826	0.1611
1.95	0.3372	0.16171	-0.01848	-0.00351	0.2832	0.1642
2	0.33298	0.15839	-0.02258	-0.00486	0.2835	0.1657
2.05	0.3301	0.15496	-0.02626	-0.00731	0.2836	0.1665
2.1	0.32645	0.15337	-0.0292	-0.00871	0.2832	0.1663
2.15	0.32439	0.15264	-0.03484	-0.01225	0.283	0.1661
2.2	0.31354	0.1443	-0.03985	-0.01927	0.283	0.1627
2.25	0.30997	0.1443	-0.04155	-0.02322	0.283	0.1627
2.3	0.30826	0.14412	-0.04238	-0.02626	0.2829	0.1633

2.35	0.32071	0.14321	-0.04963	-0.02342	0.2815	0.1632
2.4	0.31801	0.14301	-0.0491	-0.0257	0.2826	0.1645
2.45	0.31401	0.14324	-0.04812	-0.02643	0.2825	0.1665
2.5	0.31104	0.14332	-0.0471	-0.02769	0.2818	0.1681
2.55	0.30875	0.14343	-0.04607	-0.02819	0.2818	0.1688
2.6	0.31122	0.14255	-0.05106	-0.02966	0.2838	0.1741
2.65	0.30935	0.14223	-0.05024	-0.0293	0.2845	0.1759
2.7	0.30688	0.14074	-0.04887	-0.02963	0.2854	0.1772
2.75	0.30635	0.14052	-0.04743	-0.02919	0.2862	0.1783
2.8	0.30534	0.13923	-0.04731	-0.02751	0.2867	0.1794
2.85	0.30508	0.13933	-0.04522	-0.02776	0.2869	0.1788
2.9	0.30362	0.13776	-0.04203	-0.02615	0.2874	0.1784
2.95	0.29987	0.13584	-0.03863	-0.02487	0.2872	0.1783
3	0.29772	0.13198	-0.03855	-0.02469	0.2876	0.1785

Fuente: Akkar y Bommer 2010

Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria

Período	a	b	c	d	e	SR	SI	Ss	SsL
0.00	1.101	-0.00564	0.0055	1.080	0.01412	0.251	0	2.607	-0.528
0.05	1.076	-0.00671	0.0075	1.06	0.01463	0.251	0	2.764	-0.551
0.10	1.118	-0.00787	0.009	1.083	0.01423	0.24	0	2.156	-0.42
0.15	1.134	-0.00722	0.01	1.053	0.01509	0.251	0	2.161	-0.431
0.20	1.147	-0.00659	0.012	1.014	0.01462	0.26	0	1.901	-0.372
0.25	1.149	-0.0059	0.014	0.966	0.01459	0.0269	0	1.814	-0.36
0.30	1.163	-0.0052	0.015	0.934	0.01458	0.259	0	2.181	-0.45
0.40	1.2	-0.00422	0.01	0.959	0.01257	0.248	-0.041	2.432	-0.506
0.50	1.25	-0.00338	0.006	1.008	0.01114	0.247	-0.053	2.629	-0.554
0.60	1.293	-0.00282	0.003	1.088	0.01019	0.233	-0.103	2.702	-0.575
0.70	1.336	-0.00258	0.0025	1.084	0.00979	0.22	-0.146	2.654	-0.572
0.80	1.386	-0.00242	0.0022	1.088	0.00944	0.232	-0.164	2.48	-0.54
0.90	1.433	-0.00232	0.002	1.109	0.00972	0.22	-0.206	2.332	-0.522
1.00	1.479	-0.0022	0.002	1.115	0.01005	0.211	-0.239	2.233	-0.509
1.25	1.551	-0.00207	0.002	1.083	0.01003	0.251	-0.256	2.029	-0.469
1.50	1.621	-0.00224	0.002	1.091	0.00928	0.248	-0.306	1.589	-0.379
2.00	1.694	-0.00201	0.0025	1.055	0.00833	0.263	-0.32	0.966	-0.248
2.50	1.748	-0.00187	0.0028	1.052	0.00776	0.262	-0.337	0.789	-0.221
3.00	1.759	-0.00147	0.0032	1.025	0.00644	0.307	-0.331	1.037	-0.263
4.00	1.826	-0.00195	0.004	1.044	0.0059	0.353	-0.39	0.561	-0.169
5.00	1.825	-0.00237	0.005	1.065	0.0051	0.248	-0.498	0.225	-0.12

Fuente: Zhao 2006

Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción

Periodo	CH	C1	C2	C3	C4	σ	τ	σT
0	0.293	1.111	1.344	1.355	1.42	0.604	0.398	0.7233395
0.05	0.939	1.684	1.793	1.747	1.814	0.64	0.444	0.7789326
0.1	1.499	2.061	2.135	2.031	2.082	0.694	0.49	0.8495505
0.15	1.462	1.916	2.168	2.052	2.113	0.702	0.46	0.8392878
0.2	1.28	1.669	2.085	2.001	2.03	0.692	0.423	0.8110444
0.25	1.121	1.468	1.942	1.941	1.937	0.682	0.391	0.7861329
0.3	0.852	1.172	1.683	1.808	1.77	0.67	0.379	0.7697668
0.4	0.365	0.655	1.127	1.482	1.397	0.659	0.39	0.7657552
0.5	-0.207	0.071	0.515	0.934	0.955	0.653	0.389	0.7600855
0.6	-0.705	-0.429	-0.003	0.394	0.559	0.653	0.401	0.7662963
0.7	-1.144	-0.866	-0.449	-0.111	0.188	0.652	0.408	0.7691346
0.8	-1.609	-1.325	-0.928	-0.62	-0.246	0.647	0.418	0.7702811
0.9	-2.023	-1.732	-1.349	-1.066	-0.643	0.653	0.411	0.7715763
1	-2.451	-2.152	-1.776	-1.523	-1.084	0.657	0.41	0.7744346
1.25	-3.243	-2.923	-2.542	-2.327	-1.936	0.66	0.402	0.7727898
1.5	-3.888	-3.548	-3.169	-2.979	-2.661	0.664	0.408	0.779333
2	-4.783	-4.41	-4.039	-3.871	-3.64	0.669	0.414	0.7867382
2.5	-5.444	-5.049	-4.698	-4.496	-4.341	0.671	0.411	0.7868685
3	-5.839	-5.431	-5.089	-4.893	-4.758	0.667	0.396	0.7756965
4	-6.598	-6.181	-5.882	-5.698	-5.588	0.647	0.382	0.7513541
5	-6.752	-6.347	-6.051	-5.873	-5.798	0.643	0.377	0.745371

Fuente: Zhao 2006

Relaciones de atenuación para aceleración espectral de respuesta horizontal
(Amortiguación del 5%) para los terremotos de subducción para el suelo

Período	C1	C2	C3	C4	C5
0	0	0	-2.329	1.45	-0.1
0.075	2.4	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1
0.1	2.516	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1
0.2	1.549	-0.0019	-2.464	1.45	-0.1
0.3	0.793	-0.002	-2.327	1.45	-0.1
0.4	0.144	-0.002	-2.23	1.45	-0.1
0.5	-0.438	-0.0035	-2.14	1.45	-0.1
0.75	-1.704	-0.0048	-1.952	1.45	-0.1
1	-2.87	-0.0066	-1.785	1.45	-0.1
1.5	-5.101	-0.0114	-1.47	1.5	-0.1
2	-6.433	-0.0164	-1.29	1.55	-0.1
3	-6.672	-0.0221	-1.347	1.65	-0.1
4	-7.618	-0.0235	-1.272	1.65	-0.1

Fuente: Youngs 1997

Coeficientes de la regresión para eventos interplaca

Período	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	σ	σ_1	σ_2
0.000	3.14	0.03525	0.00759	-0.00206	0.190	0.240	0.290	0.230	0.200	0.110
0.040	3.05	0.07052	0.01004	-0.00278	0.150	0.200	0.200	0.260	0.220	0.140
0.100	2.95	0.09841	0.00974	-0.00287	0.150	0.230	0.200	0.270	0.250	0.100
0.200	2.84	0.12386	0.00884	-0.00280	0.150	0.270	0.250	0.280	0.250	0.130
0.400	2.58	0.14770	0.00728	-0.00235	0.130	0.370	0.380	0.290	0.250	0.150
1.000	2.18	0.13450	0.00521	-0.00110	0.100	0.300	0.550	0.340	0.280	0.190
2.000	2.14	0.07148	0.00224	0.00000	0.100	0.250	0.400	0.340	0.290	0.180
3.030	2.27	0.02237	0.00012	0.00000	0.100	0.250	0.360	0.360	0.310	0.180

Fuente: Atkinson y Boore 20003