



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

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

TEMA:

ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS
ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA LETAMENDI, PARROQUIA HUACHI
LORETO, CANTÓN AMBATO.

AUTOR:

Edison Gabriel Real Ronquillo

TUTOR:

Ing. Mg. Carlos Navarro

Ambato – Ecuador
2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Carlos Navarro, certifico que el presente Trabajo Experimental bajo el tema: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA LETAMENDI, PARROQUIA HUACHI LORETO, CANTÓN AMBATO”, es de autoría del Sr. Edison Gabriel Real Ronquillo, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad

Ambato, Julio del 2018

Ing. Mg. Carlos Navarro

AUTORÍA

Yo, Edison Gabriel Real Ronquillo con C.I: 050351231-1, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA LETAMENDI, PARROQUIA HUACHI LORETO, CANTÓN AMBATO”, es de mi completa autoría.

Ambato, Julio del 2018

Edison Gabriel Real Ronquillo

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, Julio del 2018

Edison Gabriel Real Ronquillo

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA LETAMENDI, PARROQUIA HUACHI LORETO, CANTÓN AMBATO”, del egresado Edison Gabriel Real Ronquillo, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, julio del 2018

Para constancia firman.

Ing. Mg. Santiago Medina

Ing. Mg. Diego Chérrez

DEDICATORIA

Esto va dedicado a la memoria de mi Abuelita Esther Ronquillo, viéndome como una madre ve crecer a su hijo, llegando a ser una de las personas más influyentes en mi vida, por todo el amor que me brindaba, por cada momento compartido a su lado y aunque ya no esté en este mundo su memoria me dará fortaleza para seguir.

A mis Padres, Ángel y Sofía, por darme su apoyo, aunque no estuvieron conmigo en mi desarrollo como persona y como estudiante, les debo todo lo que soy.

AGRADECIMIENTO

A mis Hermanos David y Lesly, aunque no están conmigo son una de las razones por las cuales debo seguir adelante.

A mis Tíos, Alba y Mesías, por cuidarme desde pequeño, enseñándome el valor del trabajo constante, y de lo importante que es la familia.

A mi familia, por dejar caer toda su confianza en mí.

A todas las personas que me brindaron un consejo y alentaron mis ganas de seguir adelante.

A la persona que ha estado a mi lado durante la realización de este trabajo de investigación, brindándome su apoyo incondicional, gracias Amanda.

A mi tutor Ing. Mg. Carlos Navarro, por brindarme su tiempo y conocimientos durante la realización de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	1
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE ANEXOS	11
RESUMEN EJECUTIVO.....	13
ABSTRACT	14

B. CONTENIDO

CAPÍTULO I	15
ANTECEDENTES.....	15
1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	15
1.2 ANTECEDENTES	15
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	16
1.4 OBJETIVOS	18
1.4.1 Objetivo General.....	18
1.4.2 Objetivos Específicos.....	18
CAPÍTULO II.....	19
FUNDAMENTACIÓN.....	19
2.1 FUNDAMENTACION TEÓRICA.....	19
2.1.1 Tectónica de Placas	19
2.1.1.1 Placas Tectónicas.....	20
2.1.1.2 Límites de las Placas Tectónicas	20

2.1.1.3 Fallas.....	22
2.1.1.4 Ondas Sísmicas.....	24
2.1.2 Medida de los sismos	26
2.1.2.1 Intensidad.....	27
2.1.2.2 Magnitud.....	27
2.1.3 Medición de magnitud.....	27
2.1.3.1 Magnitud de Momento Sísmico para Fallas Corticales (M_w).....	28
2.1.3.2 Magnitud de Momento Sísmico para Fallas de Subducción (M_w)	29
2.1.4 Peligro Sísmico.....	30
2.1.4.1 Peligro sísmico Determinista (DSHA)	30
2.1.4.2 Peligro Sísmico Probabilista (PSHA).....	31
2.1.5 Sismotectónica en el Ecuador.....	31
2.1.5.1 Sismos Superficiales o Corticales Intraplaca.	31
2.1.5.2 Sismos Profundos por Efectos de Subducción.....	32
2.1.6 Zonación Sísmica de Ecuador	32
2.1.7 Ecuaciones de Predicción de Movimiento Terrestre (GMPE)	33
2.1.7.1 Ecuaciones de Atenuación para eventos corticales	34
2.1.7.1.1 Ecuación de Atenuación de Sinan Akkar y Julian Bommer (2010)	34
2.1.7.1.2 Ecuación de Atenuación de David M. Boore y Gail M. Atkinson (2008).....	36
2.1.7.1.3 Ecuación de Atenuación de Tatsuo Kanno (2006).....	41
2.1.7.2 Ecuaciones de Atenuación para eventos de subducción intraplaca....	44
2.1.7.2.1 Ecuación de Atenuación de Youngs & Chiou (1997).....	44
2.1.7.2.2 Ecuación de Atenuación de John X. Zhao (2006)	46
2.1.8 Parámetros Utilizados en las Ecuaciones de Atenuación.....	48
2.1.8.1 Ensayo de Penetración Estándar SPT.	48
2.1.8.2 Características del Suelo	49
2.1.8.3 Velocidad de Onda de Corte (V_{s30}).....	51
2.1.8.3.1 Relaciones Empíricas para la Determinación de V_{s30}	51
2.1.9 Espectro de Respuesta para Diseño	54
2.1.9.1 Factor de Zona Sísmica (Z).....	55
2.1.9.2 El tipo de suelo de sitio.....	56

2.1.9.3 Coeficientes de amplificación de suelo F_a , F_d y F_s	56
2.1.10 Espectros en Aceleración Generados	57
2.1.11 Espectro Determinista de Análisis	58
2.1.12 Metodología de Diseño Sismoresistente	58
2.1.12.1 Configuración Estructural	58
2.1.12.2 Reducción del Espectro Elástico	59
2.1.12.3 Período de Vibración de la Estructura	60
2.1.12.3.1 Período de Vibración de la Estructura, Método 1	60
2.1.12.3.2 Determinación de los Períodos Límite de Vibración:	61
2.1.12.3.3 Período de Vibración Modal, Método 2	62
2.1.12.4 Torsión Accidental.....	62
2.1.12.5 Modos Necesarios para la Participación de la Masa Modal Acumulada.....	63
2.1.12.6 Control de la Deriva de piso.....	63
2.1.12.7 Validación del Análisis Dinámico	64
2.1.13 Reducción del Riesgo Sísmico	64
2.2 HIPÓTESIS.....	64
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPOTESIS.....	64
2.3.1 Variable Dependiente.....	65
2.3.2 Variable Independiente	65
CAPÍTULO III	66
METODOLOGÍA	66
3.1 NIVELES O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	66
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	66
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	67
3.3.1 Variable Independiente	67
3.3.2 Variable Dependiente.....	68
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	69
3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACIÓN	70
CAPÍTULO IV	71
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	71
4.1 RECOLECCION DE DATOS	71
4.1.1 Régimen Tectónico Local	71

4.1.2 Selección de Fallas Geológicas	73
4.1.3 Clasificación de Suelos Para cada Perforación.....	76
4.1.3.1 Resultados de Ensayo de Penetración Estándar SPT en el sitio de análisis	80
4.1.4 Cálculo de la Velocidad de Onda de Corte	84
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	88
4.2.1 Magnitud de Momento de las Fallas	88
4.2.1.1 Cálculo de Magnitud de Momento para Fallas Corticales.....	88
4.2.1.2 Cálculo de Magnitud de Momento para Fallas de Subducción Intraplaca	89
4.2.2 Espectros en Aceleración Generados	90
4.2.2.1 Espectros en Aceleración Generados para Fallas Corticales	90
4.2.2.1.1 Espectros en Aceleración Generados con la Ecuación de Sinan Akkar & Julian Bommer (2010).....	91
4.2.2.1.2 Espectros en Aceleración Generados con la Ecuación de David M. Boore & Gail M. Atkinson (2008).....	92
4.2.2.1.3 Espectros en Aceleración Generado con la Ecuación de Tatsou Kanno (2006).....	93
4.2.2.2 Espectros en Aceleración Generados para la Falla de Subducción.....	94
4.2.2.2.1 Espectro en Aceleración Generados con la Ecuación de Youngs & Chiou (1997)	95
4.2.2.2.2 Espectro en Aceleraciones Generado con la Ecuación de Jhon X. Zhao (2006).....	96
4.2.3 Espectros en Aceleración Generados de una Falla para las Diferentes Ecuaciones de Atenuación.	97
4.2.3.1 Espectros en Aceleración Generados para la Falla de Huachi.....	97
4.2.3.2 Espectros en Aceleración Generados para la Falla Ambato.	98
4.2.3.3 Espectros en Aceleración Generados para la Falla Totoras.....	99
4.2.3.4 Espectros en Aceleración Generados para la Falla Samanga.....	100
4.2.3.5 Espectros en Aceleración Generados para la Falla de Subducción Intraplaca.	102
4.2.4 Espectro en Aceleraciones NEC 2015.	103

4.2.5 Relación entre los Espectros en Aceleración Generados vs Espectro NEC 2015 para cada Falla.	103
4.2.6 Relación entre los Todos los Espectros Generados vs Espectro NEC 2015.....	110
4.2.7 Espectro Determinista en Relación al Espectro de la NEC 2015.	111
4.2.8 Comportamiento estructural de estructuras tipo del sitio de estudio.	113
4.2.8.1 Características de las Estructuras del Sitio de Estudio	114
4.2.8.2 Determinación de Factores para el Cálculo del Coeficiente Basal....	119
4.2.8.3 Determinación de Períodos de Vibración, Método 1	119
4.2.8.4 Verificación del Comportamiento Estructural	121
4.2.8.4.1 Períodos de Vibración Modal, Método 2	121
4.2.8.4.2 Verificación del Porcentaje de Torsión de las Estructuras.....	123
4.2.8.4.3 Verificación de Modos Necesarios para la Participación de la Masa Modal Acumulada	125
4.2.8.4.4 Verificación de las Deriva de Piso.....	126
4.2.8.4.5 Chequeo de Validación del análisis dinámico	134
4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	136
CAPÍTULO V	137
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	137
5.1 CONCLUSIONES.....	137
5.2 RECOMENDACIONES.....	139
C. MATERIAL DE REFERENCIA	140
1. BIBLIOGRAFÍA.....	140
2. ANEXOS	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación de Magnitud de Momento en Función a la Longitud de Ruptura .29	
Tabla 2: Resultados de Regresiones para Relaciones entre Longitud de Ruptura, Área de Ruptura y Magnitud de Momento para Eventos Interfase.....	29
Tabla 3: Resultados de Regresiones para Relaciones entre Longitud de Ruptura, Área de Ruptura y Magnitud de Momento para Eventos Intraplaca.....	30

Tabla 4: Valores de Error Variable Para Diferentes Tipos de Falla	38
Tabla 5: Definición de la clase de sitio según la VS30.....	48
Tabla 6: Clasificación de suelos	50
Tabla 7: Clasificación de los Perfiles de suelo.....	53
Tabla 8: Factor de Zona Sísmica	55
Tabla 9: Tipos de Suelo y Coeficiente de Amplificación de suelo Fa.....	56
Tabla 10: Tipos de Suelo y Coeficiente de Amplificación de suelo Fd	57
Tabla 11: Tipo de Suelo y Factores del Comportamiento Inelástico del Subsuelo Fs	57
Tabla 12: Coeficiente Relacionado con el Período de Vibración de la Estructura.....	60
Tabla 13: Coeficientes Ct y α dependiendo el tipo de estructura.....	61
Tabla 14: Operacionalización de la Variable Independiente	67
Tabla 15: Operacionalización de la Variable Dependiente.....	68
Tabla 16: Plan de Recolección de la Información.....	69
Tabla 17: Intensidad Histórica Máxima en cada Provincia	72
Tabla 18: Descripción de Longitud de Falla y Distancia al Sitio de Estudio	75
Tabla 19: Ensayo Granulométrico del Suelo de la Perforación 1	76
Tabla 20: Ensayo Granulométrico del Suelo de la Perforación 2	77
Tabla 21: Ensayo Granulométrico del Suelo de la Perforación 3	78
Tabla 22: Ensayo Granulométrico del Suelo de la Perforación 4	79
Tabla 23: Ensayo Granulométrico del Suelo de la Perforación 5	79
Tabla 24: Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y Descripción en Perforación 1 ...	81
Tabla 25: Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y Descripción en Perforación 2 ...	82
Tabla 26: Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y Descripción en Perforación 3 ...	82
Tabla 25: Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y Descripción en Perforación 4 ...	83
Tabla 26: Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y Descripción en Perforación 5	83
Tabla 29: Vs30 para cada tipo de estrato y la clasificación por el tipo de perfil, Perforación 1	84
Tabla 30: Vs30 para cada tipo de estrato y la clasificación por el tipo de perfil, Perforación 2	84
Tabla 31: Vs30 para cada tipo de estrato y la clasificación por el tipo de perfil, Perforación 3	85

Tabla 32: Vs30 para cada tipo de estrato y la clasificación por el tipo de perfil, Perforación 4	86
Tabla 33: Vs30 para cada tipo de estrato y la clasificación por el tipo de perfil, Perforación 5	86
Tabla 34: Valor de Vs30 Promedio	87
Tabla 35: Magnitud de Momento (Mw) para cada Falla Seleccionada.....	90
Tabla 36: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados para Fallas Seleccionadas para la Ecuación de Akkar & Bommer 2010...	92
Tabla 37: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados para Fallas Seleccionadas para la Ecuación de Boore & Atkinson 2008...	93
Tabla 38: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados para Fallas Seleccionadas para la Ecuación de Kanno 2006.....	94
Tabla 39: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Huachi	98
Tabla 40: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Ambato.....	99
Tabla 41: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Totoras	100
Tabla 42: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Samanga	101
Tabla 43: Valores Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla de Subducción.....	102
Tabla 44: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Huachi	104
Tabla 45: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Ambato.....	106
Tabla 46: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Totoras	107
Tabla 47: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Samanga	108
Tabla 48: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla de Subducción.	110

Tabla 49: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados para los espectros NEC 2015 y Espectro Determinista	112
Tabla 50: Tabla de Valores del Espectro Determinista en Base a una Envolvente de Aceleraciones Críticas.....	113
Tabla 51: Propiedades de Elementos Estructurales para Estructura de 2 pisos	114
Tabla 52: Propiedades de Elementos Estructurales para Estructura de 3 pisos	114
Tabla 51: Propiedades de Elementos Estructurales para Estructura de 4 pisos	115
Tabla 54: Valores de Factores para el Cálculo de Coeficiente Basal.....	119
Tabla 55: Valores de Período por cada Método para cada Estructura.....	121
Tabla 56: Tabla de Resultados de Participación Modal de la Masa para la estructura de dos pisos.....	123
Tabla 57: Tabla de Resultados de Participación Modal de la Masa para la estructura de tres pisos.....	123
Tabla 58: Tabla de Resultados de Participación Modal de la Masa para la estructura de cuatro pisos.....	123
Tabla 59: Porcentaje de Torsión para los Tres Primeros Modos de Vibración de cada Estructura y su Comportamiento	124
Tabla 60: Participación de la Masa Modal Acumulada para la Estructura de Dos Pisos	125
Tabla 61: Participación de la Masa Modal Acumulada para la Estructura de Tres Pisos	125
Tabla 62: Participación de la Masa Modal Acumulada para la Estructura de Cuarto Pisos	125
Tabla 63: Tabla Resumen Acumulación Masa Modal para Todas las Estructuras ..	126
Tabla 64: Valores de Coeficiente Basal para Espectro NEC 2015 y Espectro Determinista para cada Estructura Analizada.	128
Tabla 65: Derivas de Piso Elástica con los Espectro NEC 2015 y Determinista en la Estructura de Dos Pisos.....	130
Tabla 66: Derivas de Piso Elástica con los Espectro NEC 2015 y Determinista en la Estructura de Tres Pisos.....	131
Tabla 67: Derivas de Piso Elástica con los Espectro NEC 2015 y Determinista en la Estructura de Cuatro Pisos	133

Tabla 68: Derivas de Piso Elásticas y Porcentajes de Derivas Inelásticas con los Espectro NEC 2015 y Determinista para cada Estructura por Análisis Estático	133
Tabla 69: Validación del Análisis Dinámico para cada Estructura.....	134
Tabla 70: Derivas de Piso Elásticas y Porcentajes de Derivas Inelásticas con los Espectro NEC 2015 y Determinista para cada Estructura, por Análisis Dinámico..	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Placas Tectónicas.....	20
Figura 2: Límite Convergente	21
Figura 3: Zona de Convergencia Continente-Continente	21
Figura 4: Zona de Convergencia	22
Figura 5: Límite Transformante	22
Figura 6: Falla Inversa	23
Figura 7: Falla Normal.....	23
Figura 8: Falla Transcurrente	24
Figura 9: Foco Sísmico y Epicentro	24
Figura 10: Onda Sísmica Primaria.....	25
Figura 11: Onda Sísmica Secundaria.....	25
Figura 12: Onda Sísmica Superficial - Love.....	26
Figura 13: Onda Sísmica Superficial - Rayleigh:.....	26
Figura 14: Mapa de Zonificación Sísmica de Ecuador.....	33
Figura 15: Espectro Elástico Horizontal de Diseño en Aceleraciones	54
Figura 16: Configuraciones Estructurales Recomendadas.....	58
Figura 17: Configuraciones Estructurales No Recomendadas.....	59
Figura 18: Fallas Geológicas de Ecuador	73
Figura 19: Fallas Geológicas de Tungurahua.....	74
Figura 20: Fallas Geológicas de Ambato.....	74
Figura 21: Fallas Geológicas Seleccionadas para el Proyecto	75
Figura 22: Ubicación de las perforaciones para los ensayos SPT, en el sector de la Letamendi.....	81
Figura 23: Espectros en Aceleración Generados con la Ecuación de Sinan Akkar & Julian Bommer 2010.....	91

Figura 24: Espectros en Aceleración Generados con la Ecuación David M. Boore & Gail M. Atkinson 2008	92
Figura 25: Espectros en Aceleración Generados con la Ecuación de Tatsou Kanno 2006	93
Figura 26: Espectro en Aceleración Generados con la Ecuación de Youngs & Chiou 1997	95
Figura 27: Espectro en Aceleraciones Generado con la Ecuación de Jhon X. Zhao (2006).....	96
Figura 28: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010 y Kanno 2006 para la Falla Huachi	97
Figura 29: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010 y Kanno 2006 para la Falla Ambato.....	98
Figura 30: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010 y Kanno 2006 para la Falla Totoras	99
Figura 31: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010 y Kanno 2006 para la Falla Samanga.....	100
Figura 32: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Youngs 1997, Zhao 2006 para la Falla de Subducción.....	102
Figura 33: Espectro Elástico NEC 2015	103
Figura 34: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010, Kanno 2006 y NEC 2015, para la Falla Huachi.	104
Figura 35: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010, Kanno 2006 y NEC 2015 para Falla Ambato	105
Figura 36: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010, Kanno 2006 y NEC 2015 para Falla Totoras.	106
Figura 37: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010, Kanno 2006 y NEC 2015 para Falla Samanga.....	108
Figura 38: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Youngs 1997, Zhao 2006 y NEC 2015 para Falla de Subducción.	109
Figura 39: Espectros en Aceleración Generados con Todas las Ecuaciones de Atenuación para Todas las Fallas Corticales y de Subducción Intraplaca.....	111
Figura 40: Espectro Determinista en Base a una Envolvente de Aceleraciones Críticas con Relación al Espectro de la NEC 2015.	112

Figura 41: Vista en Planta de Estructura de Dos Pisos.....	116
Figura 42: Vista en Planta de Estructura de Tres Pisos	117
Figura 43: Vista en Planta de Estructura de Cuatro Pisos.....	118
Figura 44: Valores de Período Calculado y Aceleración con el Espectro Específico de Sitio en Relación al Espectro de la NEC 2015 para las Estructuras Representativas del Sitio.	127
Figura 45: Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Determinista en el Sentido X para la Estructura de Dos Pisos.....	129
Figura 46: Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Determinista en el Sentido Y para la Estructura de Dos Pisos.....	129
Figura 47: Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Determinista en el Sentido X para la Estructura de Tres Pisos.....	130
Figura 48: Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Determinista en el Sentido Y para la Estructura de Tres Pisos.....	131
Figura 49: Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Determinista en el Sentido X para la Estructura de Cuatro Pisos	132
Figura 50: Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Determinista en el Sentido X para la Estructura de Cuatro Pisos	132

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	145
Fotografía 1: Realizando el Ensayo SPT	145
Fotografía 2: Medición de Perforación a cada 15cm.....	145
Fotografía 3: Descripción de NSPT del Nivel (2m-3m) de la Perforación 1.....	145
Fotografía 4: Pesando la Muestra de Suelo.....	146
Fotografía 5: Pesando la Muestra de Suelo.....	146
Fotografía 6: Muestra de suelo en horno	146
Fotografía 7: Tamizando la muestra de suelo	147
ANEXO B	148
B- 1: Coeficientes para la Predicción de la Pseudoaceleración Espectral	148

B- 2: Coeficientes para la Predicción de la Pseudoaceleración Espectral	150
ANEXO C	152
C- 1: Coeficientes de Amplificación de Sitio Dependientes del Período	152
C- 2: Coeficientes de Escala de Distancia (Mref=4,5 y Rref=10 Km para Todos los Períodos Excepto Rref=5,0 Km para PGA4nl)	153
C- 3: Coeficientes de Escala de Magnitud	154
ANEXO D	155
D- 1: Coeficientes de Regresión para el Modelo de Profundidad Menor a 30 Km de Espectros de Respuesta de Aceleración Atenuada de PGA 5%.....	155
ANEXO E	156
E- 1: Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria.....	156
E- 2: Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción	157
ANEXO F	158
F- 1: Relaciones de Atenuación para Aceleración Espectral de Respuesta Horizontal (Amortiguación del 5%) para los Terremotos de Subducción para el suelo.....	158

TEMA: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA LETAMENDI, PARROQUIA HUACHI LORETO, CANTÓN AMBATO”.

AUTOR: Edison Gabriel Real Ronquillo

DOCENTE TUTOR: Ing. Carlos Navarro.

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo de investigación se calculó el período de vibración para tres estructuras representativas ubicadas dentro del área de estudio para chequear su comportamiento estructural y posteriormente realizar una comparación de resultados generados con el espectro Determinista y el espectro NEC-SE-DS 2015.

Para este proceso se realizó un procedimiento que tomó parámetros geotectónicos y sísmicos tales como: establecer el régimen tectónico en base al área de influencia, seleccionar las fallas geológicas más relevantes y de mayor importancia que afectan al sector de análisis como son: Falla Huachi, Falla Ambato, Falla Totoras, Falla Samanga y Falla de Subducción. Con la realización del ensayo de penetración estándar (SPT) se calculó la velocidad media de onda de corte (V_s) mediante la utilización de correlaciones empíricas en función de la resistencia a la penetración (N). Se calculó la magnitud de momento (M_w) para cada falla seleccionada basado en las investigaciones de Wells & Coppersmith para régimen cortical y de Strasser, Arango & Bommer para régimen de subducción tomando en cuenta el parámetro de longitud de ruptura de falla. Se determinó la distancia más cercana a la proyección en la superficie (R_{jb}) para cada Falla. Por medio de Ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPE) se generó espectros de aceleración con cada ecuación y falla seleccionados.

Para generar el Espectro de Sitio se procedió a realizar una envolvente de aceleraciones máximas calculadas en diferentes períodos, las aceleraciones calculadas al ser comparadas con los valores de aceleración propuestos por la NEC 2015 dieron a conocer intervalos en donde las aceleraciones del Espectro Específico de Sitio o Espectro Determinista superaban cuantitativamente al Espectro de la Normativa.

ABSTRACT

In the present research project, the vibration period was calculated for three representative structures located within the study area to check their structural behavior and then make a comparison of results generated with the site specific spectrum and the NEC 2015 spectrum.

For this process, a procedure was carried out that took geotectonic and seismic parameters such as: establishing the tectonic regime based on the area of influence, selecting the most relevant and important geological faults that affect the analysis sector such as: Falla Huachi, Falla Ambato, Falla Totoras, Falla Samanga and Subduction Failure. With the performance of the standard penetration test (SPT) the average shear wave velocity (V_s) was calculated by using empirical correlations based on the penetration resistance (N). The moment magnitude (M_w) for each selected fault was calculated based on Wells & Coppersmith's investigations for cortical regime and Strasser, Arango & Bommer for subduction regime taking into account the fault rupture length parameter. The closest distance to the surface projection (R_{jb}) for each Fault was determined. By means of soil motion prediction equations (GMPE), acceleration spectra are generated with each selected model and failure

To generate the Site Spectrum, an envelope of maximum accelerations calculated in different periods was performed, the accelerations calculated when compared with the acceleration values proposed by the NEC 2015 revealed intervals in which the accelerations of the Specific Spectrum of Site or Deterministic Spectrum exceeded the Spectrum of the Regulation quantitatively.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“Estudio del Peligro Sísmico Determinista para las Estructuras del Sector la Letamendi, Parroquia Huachi Loreto, Cantón Ambato.”

1.2 ANTECEDENTES

Según los estudios realizados por el Dr. Aguiar: “Es muy importante obtener espectros de respuesta elástica que se generarían por un sismo asociado a alguno de los segmentos de las fallas ciegas inversas de Quito y que mejor hacerlo con modelos de movimientos fuertes que han sido publicados en los últimos años y reconocidos a nivel mundial por la gran base de datos con la que fueron obtenidos.” “Para la zona de períodos cortos (períodos menores a 0.5 seg) los espectros de diseño elástico que se hallan con la Norma Ecuatoriana de la Construcción para el Centro Norte de Quito, subestiman la peligrosidad sísmica.” [1]

Según el Dr. Aguiar considera: “Si se tienen estudios de microzonificación sísmica se van a encontrar factores de sitio para cualquier sector de una ciudad; de igual manera se va a contar con espectros en los cuales se ha modificado las formas espectrales por el efecto de la directividad de las ondas sísmicas asociadas a una determinada falla geológica.” “Mientras más se conozca el sitio en el cual se va a implantar un determinado proyecto, mayor seguridad sísmica se tendrá en la estructura y muy probablemente tenga menor costo ya que no se van a tomar factores de seguridad altos por desconocimiento del subsuelo”. [2]

Según J. García-Mayordomo “La ocurrencia de sismicidad en un territorio puede modelizarse considerando dos tipos fundamentales de fuentes: zonas y fallas.” “La incorporación de datos y criterios geológicos relacionados con la ocurrencia y

características del fenómeno sísmico provee una base más objetiva y científicamente plausible, aunque tampoco exenta de incertidumbres.” [3]

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción se establece: “La zonificación general del Ecuador se la realizó de acuerdo a metodologías internacionales y disponibilidad de información a nivel local, la cual se tomó como base para dividir al Ecuador en regiones sísmicas según un factor de zona, el cual zonificó al territorio en 6 sectores para un 10% de excedencia en 50 años, con un grado muy alto de peligro sísmico en la región costera ecuatoriana, y particularmente en la ciudad Ambato con un factor de zona nivel Alto es decir grado V.” [4]

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el peligro sísmico a nivel local para la determinación de la vulnerabilidad de las estructuras construidas en el sector de La Letamendí, previa selección de las fallas geológicas más cercanas al sitio de estudio, con la ayuda de ecuaciones de atenuación seleccionadas y un estudio estratigráfico del área. La respuesta ante un evento telúrico con la generación de un espectro determinista para conocer el probable comportamiento de las edificaciones seleccionadas, será crucial para sectorizar al Cantón, siendo importante así la cuantificación del potencial sísmico el que nos permitirá saber cómo responden las estructuras construidas antes y las que se construirán en un futuro, previa selección de las fallas geológicas más cercanas al sitio de estudio, con la ayuda de ecuaciones de atenuación seleccionadas y un estudio estratigráfico del área.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La sismicidad y volcanismo del Ecuador se debe al movimiento continuo de las placas de Nazca y Sudamericana en sentido contrario, lo que ha dado origen primero a un choque de estas placas y segundo a la subducción de la Placa de Nazca. [5]

Atkinson y Boore (2003) agruparon los sismos como eventos inter e intraplaca de algunas zonas de subducción del mundo, a partir de los cuales se encontraron diferencias en los resultados para la predicción de la PGA, tales como: diferentes predicciones de amplitudes para dos zonas con el mismo tipo de evento, es decir

la misma magnitud y distancia, hecho que fue justificado por las diferencias de las estratigrafías de las diversas zonas (EUA, México, Japón y zonas de América Central). [6]

Siendo el Ecuador un país en donde existe un alto grado de peligro sísmico, ya que en los últimos 470 años numerosos sismos han devastado ciudades importantes como Ambato, Riobamba, Ibarra entre otras, ya que por estos sucesos se realizaron varios estudios de peligrosidad sísmica con la finalidad de reducir el riesgo sísmico en las estructuras. [7]

La correcta evaluación de la peligrosidad requiere conocer dos características importantes de la zona de estudio: la sismicidad de la región circundante o área de influencia, con identificación de zonas sísmicas en la misma y la atenuación sísmica regional. [8]

Naturalmente siempre es mejor contar con datos medidos en el sitio, pero en muchas ocasiones no se pueden realizar ensayos o estos requieren demasiado tiempo y dinero, por lo que hay que recurrir a ecuaciones empíricas para poder estimarlos. Por este motivo, las correlaciones empíricas se utilizan frecuentemente como una herramienta predictiva, cuando es necesario caracterizar rápidamente grandes extensiones de terreno y determinar la idoneidad del suelo para un propósito específico. [9]

Para realizar el cálculo del peligro sísmico de una determinada región es necesario haber definido las fuentes y sus respectivos parámetros de sismicidad, además de los modelos de atenuación de onda para cada una de ellas. La amenaza sísmica puede calcularse considerando la suma de los efectos de cada una de las fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el sitio de interés. [10]

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Realizar el estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras del sector Huachi Loreto – Sector “La Letamendi” ubicado entre las calles: Isla Seymour, Av. Bolivariana, Víctor Hugo, Letamendi y Cacique Álvarez.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ❖ Seleccionar las fallas geológicas activas que engloban el Régimen Tectónico en referencia al área de influencia.
- ❖ Determinar el espectro propio de sitio en base a ecuaciones de atenuación, la estratigrafía del suelo y las fallas geológicas.
- ❖ Verificar el comportamiento estructural por medio de un análisis de tres estructuras representativas del sitio de estudio.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACION TEÓRICA

2.1.1 Tectónica de Placas

Alfred Wegener en 1946 introdujo el concepto de deriva continental para explicar el origen de los continentes y la división de la corteza terrestre en placas que interactúan entre sí, es decir un sistema dinámico que está en continua transformación y en constante movimiento, pero la idea de Wegener no pudo ser sustentada debido a que no explicaba el origen del movimiento de las placas. Como resultado de esta teoría se ha determinado que el planeta Tierra está dividida en al menos quince placas tectónicas. [11] [12]

Arthur Holmes partidario de la teoría de la deriva continental sugirió que las causas del movimiento de las placas son por fuerzas originadas en el manto y que son arrastradas por el mismo, algo similar a lo que sucede cuando se hierve agua. El principio trata de que un fluido cercano a la fuente de calor se expande, mientras esta en movimiento tiende a enfriarse y a volverse más denso desplazándose a la superficie, consecutivamente es desplazado al fondo para iniciar otra vez el ciclo, es decir de ascenso y descenso de material fundido, a este proceso se lo denomina corrientes de convección. [13]

Harry H. Hess y Robert S. Dietz, propusieron que la corteza generada en las cordilleras oceánicas se movían a lo largo de grandes áreas formando el fondo marino, dando lugar al mecanismo de esparcimiento del fondo oceánico, en donde se asumía que las grandes fosas marinas desaparecían en el manto, como una analogía a lo que se presenta en las escaleras mecánicas cuyos escalones aparecen en un extremo y desaparecen en el otro extremo. [13]

2.1.1.1 Placas Tectónicas

La litósfera capa externa de la tierra está conformada por placas continentales (grandes) y subcontinentales (pequeñas), cada placa interactúa entre sí con las placas adyacentes produciéndose movimientos relativos en los límites de placa originando una zona estrecha y propicia para la generación de la actividad sísmica, alrededor del 90% de los sismos que ocurren a nivel mundial son de origen tectónico. [14]

Figura 1: Placas Tectónicas



Fuente: Instituto Técnico de la Estructura en Acero, Manual de Diseño Sísmico

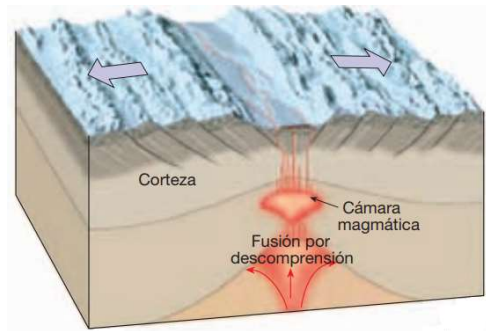
Los límites de las placas tectónicas dan a conocer el tipo de movimiento que se produce con la interacción de las mismas, fundamentalmente son 3 tipos de regímenes tectónicos:

2.1.1.2 Límites de las Placas Tectónicas

Límites de expansión o divergentes:

Cuando las placas se alejan una respecto de la otra con direcciones opuestas, generalmente se dan en la placa oceánica dando como resultado la llamada dorsal oceánica el cual es un foco de generación de corteza terrestre. [12]

Figura 2: Límite Convergente

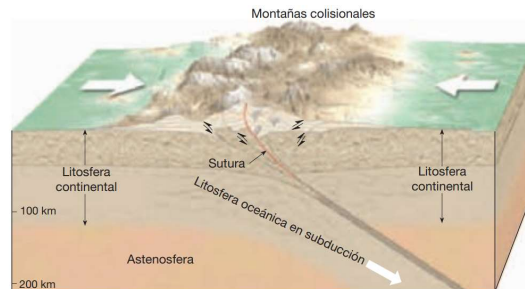


Fuente: Tarbuck, E. Lutgens, F. Ciencias de la Tierra

Límite Convergente: son las generadoras de las cadenas montañosas del planeta tierra, es una zona donde existe mucha actividad sísmica y donde se puede generar el fenómeno del vulcanismo. Existen dos clases dependiendo del tipo de placas que interactúan: [12]

- **Colisión Continental:** En donde las placas que interactúan son de densidades similares, que al chocar producen relieves y cadenas montañosas un ejemplo es el choque de la placa Hindú y la placa Euroasiática formando así los Himalayas. [12]

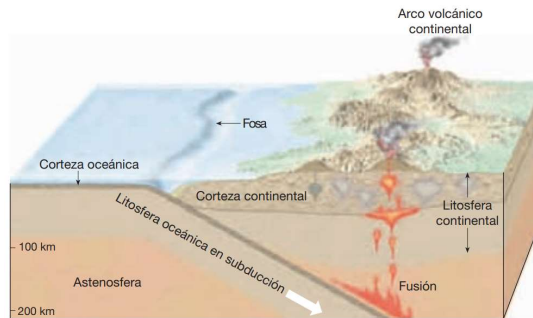
Figura 3: Zona de Convergencia Continente-Continente



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

- **Subducción:** En donde una placa más densa por lo general la placa oceánica, subduce o se hunde debajo de otra placa menos densa por lo general una placa continental, un ejemplo es la interacción de la placa de Nazca que se hunde bajo la placa Sudamericana. [12]

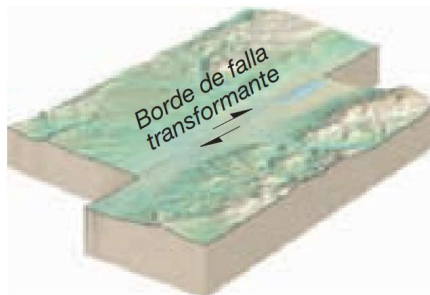
Figura 4: Zona de Convergencia



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

Límites Transformantes: se caracterizan por el movimiento horizontal y paralelo de las placas, a lo largo de una falla denominada falla transformante, localizada en placas oceánicas y continentales, donde no se crea ni se destruye material litosférico, un ejemplo claro es la falla de San Andrés en California. [12]

Figura 5: Límite Transformante



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

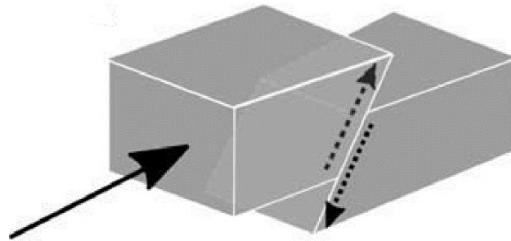
2.1.1.3 Fallas: Fractura o zona de fracturas de corteza terrestre donde se genera un desplazamiento de una placa respecto a otra placa. [12]

Tipos de Falla:

Se presentan 3 tipos de falla principales:

Falla Inversa: Esta se produce debido al deslizamiento horizontal transversal que corresponde a una reducción. La placa superior se desplaza hacia arriba por el plano de falla, esta también es denominada falla compresional. [12]

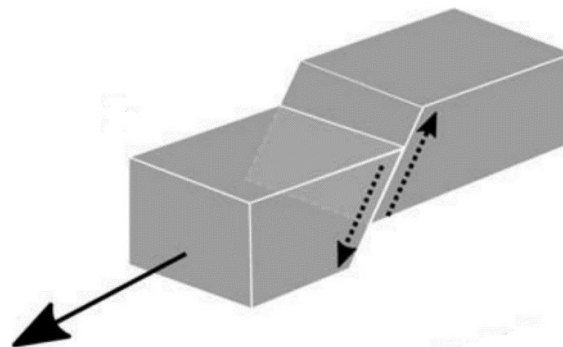
Figura 6: Falla Inversa



Fuente: Rivadeneira, Francisco; Segovia, Mónica. Breves Fundamentos sobre los Terremotos en el Ecuador

Falla Normal: Esta se produce debido al deslizamiento horizontal transverso corresponde a una separación, la placa superior desciende por acción de la gravedad debido a la falta de sustento en el plano de falla. [12]

Figura 7: Falla Normal



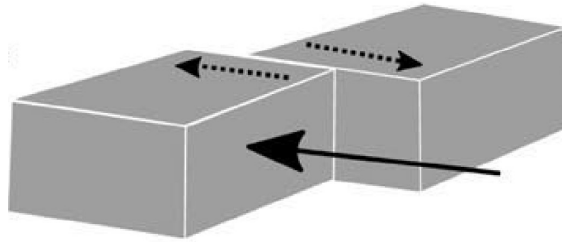
Fuente: Rivadeneira, Francisco; Segovia, Mónica. Breves Fundamentos sobre los Terremotos en el Ecuador

Falla Transcurrente: También conocida como falla de desgarre, se produce debido a que una placa se desplaza en dirección paralela al plano de falla con relación a la placa adyacente, esta presenta dos tipos: [12]

Falla Dextral: se produce cuando una placa se desplaza hacia la derecha con respecto a la placa adyacente. [12]

Falla Sinistral: Se produce cuando una placa se desplaza hacia la izquierda con respecto a la placa adyacente. [12]

Figura 8: Falla Transcurrente



Fuente: Rivadeneira, Francisco; Segovia, Mónica. Breves Fundamentos sobre los Terremotos en el Ecuador

Foco Sísmico: Lugar en el cual se libera energía producida por un sismo, llamado también hipocentro. [12]

Epicentro: Lugar superficial de la corteza terrestre el cual se localiza verticalmente al hipocentro. [12]

Figura 9: Foco Sísmico y Epicentro



Fuente: Bembibre, Cecilia; Internet

2.1.1.4 Ondas Sísmicas

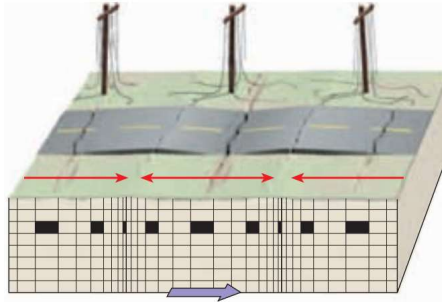
Son las ondas producidas por un movimiento tectónico el cual se propaga a partir del hipocentro en todas las direcciones. [12]

Existen 2 tipos de ondas sísmicas:

a.- Ondas Profundas: También conocidas como ondas de cuerpo, estas se dividen por el modo en el que se propagan a través de la roca, en Ondas Primarias y Ondas Secundarias. [15]

- **Ondas Primarias (P):** Estas se comprimen y expanden en dirección a la propagación de la onda, tanto los sólidos, líquidos y como gases pueden ser atravesados por este tipo de ondas, ya que se oponen a un cambio volumétrico cuando estos materiales son comprimidos. [15]

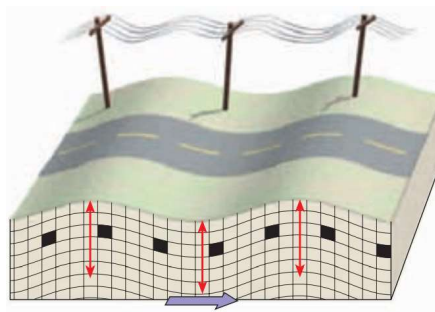
Figura 10: Onda Sísmica Primaria



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

- **Ondas Secundarias (S):** Estas sacuden las partículas perpendicularmente a la dirección de la propagación de la onda. Los líquidos y gases no responden a cambios de forma elásticos, por lo que este tipo de ondas no se propaga por este medio. [15]

Figura 11: Onda Sísmica Secundaria

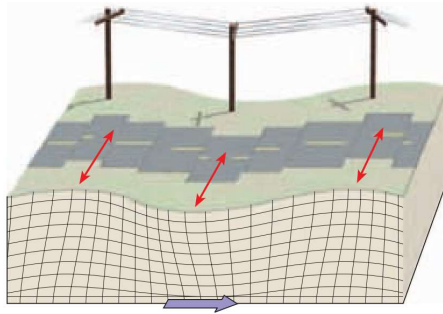


Fuente: Tarbuck, E. Lutgens, F. Ciencias de la Tierra

b.- Ondas Superficiales: Llamadas también ondas largas por presentar una mayor amplitud debido a la interacción de las ondas profundas. Estas se clasifican en 2 Tipos: [15]

- **Ondas Love:** Semejantes a las ondas S, pero solo con un desplazamiento horizontal, genera movimientos de lado a lado perpendicular a la dirección de propagación. Generalmente este tipo de ondas afectan más a las cimentaciones. [15]

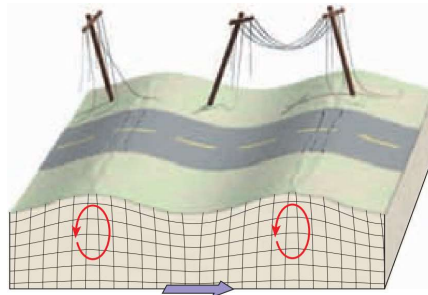
Figura 12: Onda Sísmica Superficial - Love



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

- **Ondas Rayleigh:** Presentan un desplazamiento semejante a las olas del mar, produciendo en la superficie un movimiento elíptico. [15]

Figura 13: Onda Sísmica Superficial - Rayleigh:



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

2.1.2 Medida de los sismos

Para interpretar los efectos de un sismo se debe diferenciar entre intensidad y magnitud, los efectos generados se miden cualitativa y cuantitativamente. [12]

2.1.2.1 Intensidad

Es un parámetro que evalúa los efectos y daños sobre personas, construcciones y los efectos en el suelo, es decir evalúa los efectos del sismo cualitativamente. La escala más utilizada es la escala de Mercalli o también la MSK. [12]

2.1.2.2 Magnitud

Es un parámetro que mide la energía liberada de un sismo en forma de ondas sísmicas. Existen varias escalas de magnitud dependiendo del tipo de onda que se utilice para determinarla. [12]

Como un parámetro ingenieril importante se toma la magnitud como el principal efecto para medir los sismos cuantitativamente y como principal parámetro para realizar esta investigación.

2.1.3 Medición de magnitud

La magnitud de un terremoto se mide cuantitativamente y relaciona la energía liberada debido a la interacción de placas. Existen diferentes escalas de magnitud de acuerdo a parámetros a estudiar, se tienen: [12]

Magnitud Local (M_L)

Toma en cuenta la mayor amplitud registrada en un instrumento de medición sísmica, adicionalmente correcciones a causa de la atenuación y distancia del emplazamiento al sitio de estudio. [12]

Magnitud de ondas de cuerpo (M_b)

Basadas en la mayor amplitud y periodo de las ondas cuerpo, el parámetro de la magnitud se debe corregir debido a la saturación presentada por magnitudes grandes, la distancia y profundidad del sismo. [12]

Magnitud de ondas de superficie (M_s)

Determinada de forma similar a las ondas M_b , pero en base a las ondas superficiales, donde el parámetro de la magnitud se debe corregir debido a la saturación presentada por magnitudes aún más grandes que las presentadas en las ondas de cuerpo, y tanto la distancia como profundidad de sismo. [12]

2.1.3.1 Magnitud de Momento Sísmico para Fallas Corticales (M_w)

Forma de cálculo pionera y desarrollada por Hans y Kanamori (1979), basada en la superficie de ruptura, deslizamiento, y propiedades del suelo. [12]

Los análisis de peligros sísmicos, tanto probabilísticos como deterministas, requieren una evaluación del potencial de movimientos de origen tectónico futuro en una región. Específicamente, a menudo es necesario estimar el tamaño de los terremotos más grandes que podrían generarse por una falla en particular o una fuente de terremoto. Sin embargo, es raro que los terremotos más grandes posibles a lo largo de las fallas individuales hayan ocurrido durante el período histórico. [16]

La magnitud del terremoto puede correlacionarse con parámetros de ruptura tales como la longitud y el desplazamiento, en donde los estudios paleo sísmicos y geológicos de las fallas activas se centra en la estimación de estas características de la fuente. Para traducir estas características de fuente en estimaciones del tamaño del terremoto, se requieren relaciones entre los parámetros de ruptura y la medida del tamaño del terremoto, generalmente de magnitud. [16]

La determinación de la magnitud de momento sísmico de cada uno de los escenarios a seleccionar, de manera cuantitativa se la realizara con el método de Wells – Coppersmith, donde se establece relaciones empíricas entre los parámetros de magnitud de momento sísmico, longitud, superficie de ruptura y ancho de ruptura de la falla generadora del sismo. [16]

Tabla 1: Relación de Magnitud de Momento en Función a la Longitud de Ruptura

Table 2A
Regressions of Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Moment Magnitude (M)

Equation*	Slip Type†	Number of Events	Coefficients and Standard Errors		Standard Deviation <i>s</i>	Correlation Coefficient <i>r</i>	Magnitude Range	Length/Width Range (km)
			<i>a</i> (sa)	<i>b</i> (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

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

Fuente: Wells – Coppersmith (1994)

2.1.3.2 Magnitud de Momento Sísmico para Fallas de Subducción (M_w)

Los coeficientes para el cálculo de la Magnitud de momento en zonas de subducción en función a la Longitud de Ruptura (L), Ancho de Ruptura (W), Área de ruptura (A) y Magnitud de Momento (M_w), se basa en el artículo de Strasser, Arango & Bommer (2010) en este artículo se toma los valores de una base de datos de eventos tanto interplaca como intraplaca para diferentes tipos de falla en todo el mundo, en donde se compara los resultados de las regresiones realizadas de la base de datos en relación con Wells & Coppersmith (1994) y Mai & Abrahamson (2000). [17]

Tabla 2: Resultados de Regresiones para Relaciones entre Longitud de Ruptura, Área de Ruptura y Magnitud de Momento para Eventos Interfase

TABLE 1 Regression results for relations between rupture dimensions, rupture area, and moment magnitude, for interface events. s.e. denotes the standard error of the coefficient under consideration, R^2 the coefficient of multiple determination, and N the total number of points used in the regression.							
	<i>a</i>	s.e. (<i>a</i>)	<i>b</i>	s.e. (<i>b</i>)	σ	R^2	<i>N</i>
$\log_{10}(L) = a + b \times M_w$	-2.477	0.222	0.585	0.029	0.180	0.814	95
$\log_{10}(W) = a + b \times M_w$	-0.882	0.226	0.351	0.029	0.173	0.634	85
$\log_{10}(A) = a + b \times M_w$	-3.476	0.397	0.952	0.051	0.304	0.805	85
$M_w = a + b \times \log_{10}(L)$	4.868	0.141	1.392	0.069	0.277	0.814	95
$M_w = a + b \times \log_{10}(W)$	4.410	0.277	1.805	0.151	0.392	0.634	85
$M_w = a + b \times \log_{10}(A)$	4.441	0.179	0.846	0.046	0.286	0.805	85

Fuente: Strasser F., Arango M., Bommer J. (2010)

Tabla 3: Resultados de Regresiones para Relaciones entre Longitud de Ruptura, Área de Ruptura y Magnitud de Momento para Eventos Intraslab

TABLE 2							
Regression results for relations between rupture dimensions, rupture area, and moment magnitude, for intraslab events. s.e. denotes the standard error of the coefficient under consideration, R^2 the coefficient of multiple determination, and N the total number of points used in the regression.							
	a	s.e. (a)	b	s.e. (b)	σ	R^2	N
$\log_{10}(L) = a + b \times M_w$	-2.350	0.453	0.562	0.064	0.146	0.813	20
$\log_{10}(W) = a + b \times M_w$	-1.058	0.217	0.356	0.031	0.067	0.893	18
$\log_{10}(A) = a + b \times M_w$	-3.225	0.598	0.890	0.085	0.184	0.874	18
$M_w = a + b \times \log_{10}(L)$	4.725	0.274	1.445	0.164	0.234	0.813	20
$M_w = a + b \times \log_{10}(W)$	3.407	0.317	2.511	0.217	0.178	0.893	18
$M_w = a + b \times \log_{10}(A)$	4.054	0.288	0.981	0.093	0.193	0.874	18

Fuente: Strasser F., Arango M., Bommer J. (2010)

2.1.4 Peligro Sísmico

Probabilidad de excedencia, dentro de un período de tiempo específico en una zona de influencia a causas de movimientos tectónicos, donde los parámetros de la roca tales como desplazamiento, velocidad, aceleración, magnitud o intensidad son cuantificados o cualificados. [4]

2.1.4.1 Peligro sísmico Determinista (DSHA)

Estima el movimiento correspondiente a un escenario sísmico y generalmente se escoge el más crítico siguiendo una postura conservadora. Esta proporciona un escenario de cierta magnitud y distancia brindando ventaja al diseño sismo resistente pero sin estimar la probabilidad en que se produzca dicho evento. [18]

Presenta un proceso de cuatro etapas:

- a) Selección de parámetros de distancia menor fuente a sitio.
- b) Selección del sismo más crítico expresado en magnitud y distancia al emplazamiento.
- c) En términos de movimiento sísmico se define el peligro sísmico mediante parámetros antes citados y de relación de predicción, el cual se utilizará las

Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo por sus siglas en inglés, GMPE's. [19]

2.1.4.2 Peligro Sísmico Probabilista (PSHA)

Se estima como la probabilidad de excedencia de un movimiento en un emplazamiento dado, donde existe la tendencia a que se iguale o exceda el nivel de movimiento en un periodo de retorno específico, dando una evaluación más realista y completa del peligro sísmico de la zona de influencia. [18]

2.1.5 Sismotectónica en el Ecuador

La sismicidad es diferente dependiendo las características geológicas y tectónicas de cada región, las mismas que dependen de otros factores importantes tales como la estructura y composición del subsuelo, fallas tectónicas activas del lugar, etc. Ecuador, un país históricamente sísmico ha evidenciado eventos de carácter superficial o cortical, de carácter profundo y los efectos sísmicos por causas volcánicas. [12]

Estadísticamente la sismicidad histórica en el Ecuador, la concentración de eventos de mayor número se encuentra en el valle interandino, sin embargo debido a que este sector del Ecuador ha sido densamente más poblado, los efectos de los sismos se ven evidenciados en los daños hacia las infraestructuras en las ciudades importantes de la región sierra, pero esto no quiere decir que en esta región se haya registrado magnitudes máximas es decir mayor cantidad de energía liberada, en este caso, el evento que ha registrado un valor máximo de energía liberada se ubica en la región de Esmeraldas con una magnitud de 8,8 en el año de 1906 sismo relacionado a los efectos de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa continental Sudamericana. [12]

2.1.5.1 Sismos Superficiales o Corticales Intraplaca.

Son los sismos registrados en el 30 km de profundidad de la corteza terrestre, debido a la deformación por acumulación de esfuerzos del suelo por las fallas activas propias de la región. [20]

2.1.5.2 Sismos Profundos por Efectos de Subducción

Son los sismos registrados a una profundidad mayor a los 125 km de la corteza terrestre, causada por los efectos de la subducción de una placa tectónica debajo de otra placa menos densa, un ejemplo es la subducción de la Placa Oceánica Nazca y la Placa Continental Sudamericana. [20]

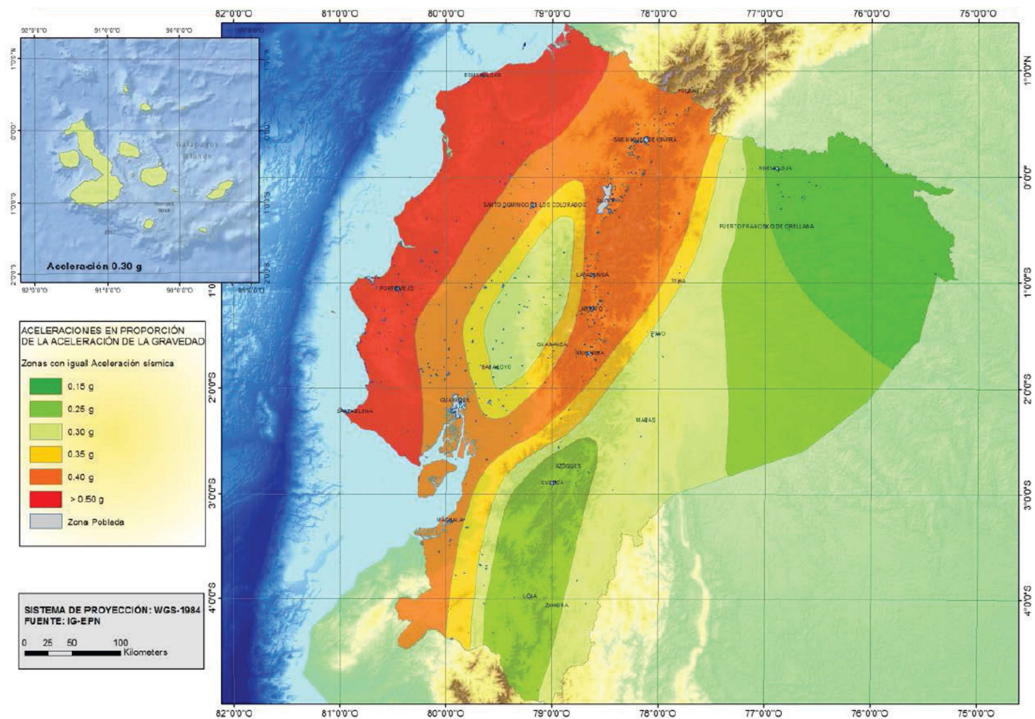
2.1.6 Zonación Sísmica de Ecuador

La fundamentación de mapa de zonificación sísmica esa basado en un análisis de peligro sísmico probabilista, para periodo de excedencia del 10% en 50 años (con un periodo de retorno de 475 años), en la cual está dividido en zonas en función a la aceleración de la gravedad en donde el valor inferior es 0.15g en donde la región amazónica presenta este factor en su mayoría, y un valor superior de saturación de 0.5g en las zonas costeras caracterizadas por el régimen de subducción que se genera. [4]

En base a resultados obtenidos por estudios realizados en 2011. Principalmente el mapa se base en el hecho de que la placa de Nazca se subduce con respecto a la placa Sudamericana, propinando el principal mecanismo de generación de sismos, sumándose a esto un sistema de fallas locales de tipo cortical. [4]

Se ha determinado y estudiado en base a parámetros certificados a nivel mundial utilizando datos históricos locales, para todo el territorio nacional y el estudio de las principales fuentes sísmicas (corticales y de subducción) y los mecanismos focales. [4]

Figura 14: Mapa de Zonificación Sísmica de Ecuador



Fuente: Peligro Sísmico, NEC-SE-DS 2015

También se realizaron estudios sobre las incertidumbres en los parámetros utilizados para el análisis de peligro sísmico, con el uso de ecuaciones de predicción validadas por el Global Earthquake Model, tanto para fuentes de régimen cortical (Boore y Atkinson, 2008; Akkar y Bommer, 2010; Kanno, 2006, etc.) y para las fuentes para el régimen de subducción (Youngs et al., 1997; Zhao, 2006; McVerry, 2006 etc.). [4]

2.1.7 Ecuaciones de Predicción de Movimiento Terrestre (GMPE)

El desarrollo de ecuaciones de predicción de movimiento terrestre empírico (GMPE), ecuaciones derivadas de un gran conjunto de datos que abarca varios países, generalmente de sismicidad moderada a alta; y ecuaciones derivadas de bancos de datos locales para su aplicación dentro de las fronteras nacionales. [21]

Los GMPE se utilizan para estimar los movimientos del suelo para su uso en análisis de peligros sísmicos tanto determinísticos y probabilísticos utilizados en el análisis

sísmico de estructuras, desarrollo de mapas de peligro sísmico. Las ecuaciones de predicción de movimiento terrestre (GMPE), proporcionan un medio para predecir el nivel de movimiento del suelo y su incertidumbre asociada en cualquier ubicación dada, en función de la magnitud, la distancia, las condiciones del suelo, mecanismos de falla, etc. [22]

Se utilizarán las ecuaciones de los autores descritos anteriormente tanto para régimen cortical como de subducción, los cuales son:

2.1.7.1 Ecuaciones de Atenuación para eventos corticales

Los eventos de falla corticales se generan en un intervalo menor a los 30 km de profundidad, estos son considerados sismos de orden superficial, generados por deformaciones y esfuerzos generados en zonas o regiones de fallamiento cortical activo (fallas activas). [23] [20]

2.1.7.1.1 Ecuación de Atenuación de Sinan Akkar y Julian Bommer (2010)

Documento basado en los estudios realizados por Akkar y Bommer (2007 a, b) donde se derivaron para predecir los desplazamientos espectrales (SD), también se obtuvo una ecuación para la aceleración máxima del terreno (PGA) para varios escenarios de magnitud y distancia, basado en la misma base de datos que Ambraseys y otros. (2005) donde se cubre hasta un rango de período de 2.5 segundos. [21]

El conjunto de datos usados consta de 532 acelerogramas registrados a distancias de hasta 100 km de 131 terremotos con magnitudes de Mw: 5 a Mw: 7.6. La forma funcional adoptada es exactamente la misma que la utilizada en los estudios de Akkar y Bommer (2007a, b), excepto que ahora se deriva ecuaciones para la predicción de la aceleración pseudoespectral con amortiguamiento del 5%, en unidades de cm/s², en lugar de (SD). [21]

Este documento presenta la siguiente Ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Log}(y) = & b_1 + b_2 M^2 + (b_4 + b_5 M_w) \text{Log} \sqrt{R_{JB}^2 + b^2 6} + b_7 S_S + b_8 S_A + b_9 F_N \\ & + b_{10} F_R + \varepsilon \sigma \end{aligned} \quad (2. 1)$$

Donde:

b_i : Coeficientes de predicción de Pseudoaceleración Espectral.

F_N : Mecanismo para Falla Normal

F_R : Mecanismo para Falla Inversa

M : Magnitud de momento

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

S_A : Suelo Rígido

S_S : Suelo Suave

$\varepsilon\sigma$: Desviación Estándar

Donde depende de:

Tipo de suelo:

S_S y S_A , Toma el valor de 1 para sitios de suelos blandos y rígidos ($V_{s30} < 360$ m/s)

S_S y S_A , Toma el valor de 0 para sitios de suelos tipo roca ($V_{s30} > 750$ m/s)

Mecanismo de falla:

F_N y F_R , Toma el valor de 1 para terremotos de Fallas Normales y Fallas Inversas.

F_N y F_R , Toma el valor de 0 para terremotos de Fallas Transcurrentes.

ε , Es el número de desviaciones estándar por encima o por debajo del valor medio del log (PSA). [21]

La variabilidad se descompone en un inter-evento (σ_2) y un componente intra-evento (σ_1), la desviación estándar total, σ , viene dada por la raíz cuadrada de la suma de sus cuadrados: [21]

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

Los valores de los coeficientes para las aceleraciones pseudoespectrales medianas y las desviaciones estándar asociadas se presentan en el ANEXO B, los coeficientes se presentan sin suavizado y con cinco decimales en todos los casos. [21]

Limitaciones de la Ecuación

Se recomienda para su uso hasta un período de 3 segundos, con un rango de aplicabilidad de estas ecuaciones es para distancias de hasta 100 km y para terremotos de magnitudes entre 5.0 y 7.6, utilizando un solo GMPEs, sino que varias de estas ecuaciones deben combinarse dentro de un marco de árbol lógico. [21]

Si se desea tener en cuenta la variación en la escala de las ordenadas del 5% de amortiguamiento a otros niveles de amortiguación en términos de magnitud y distancia, se pueden usar las relaciones derivadas de Cameron y Green (2007) o alternativamente la variación podría deducirse de las relaciones de valores medianos predichas por las ecuaciones de Akkar y Bommer (2007a). [21]

2.1.7.1.2 Ecuación de Atenuación de David M. Boore y Gail M. Atkinson (2008)

Este documento presenta ecuaciones de predicción de movimiento en tierra (GMPEs), derivados de la base de datos compilada en el proyecto PEER NGA (Pacific Earthquake Engineering Research Center's Next Generation Attenuation) para movimientos de tierra de componente horizontal promedio en función de la magnitud del terremoto, la distancia de la fuente al sitio, la velocidad de onda de corte promedio local y el tipo de falla, el análisis utilizó 1.574 registros de 58 eventos principales en el rango de distancia de 0 km a 400 km se toma en cuenta los rangos de magnitud y distancia que son importantes para el análisis de peligros sísmicos. [24]

Este documento incluye GMPE para las variables de respuesta PGA, PGV y PSA amortiguado al 5% durante periodos entre 0,01s y 10 s, recomendando valores de espectros de respuesta para períodos largos en vez de valores de PGD. [24]

Las variables predictoras primarias (variables independientes en el análisis de regresión) magnitud de momento M_w , R_{JB} (distancia más cercana a la proyección de superficie del plano de falla), y V_{s30} para la caracterización del sitio, se consideró el efecto de tipo de falla (es decir, normal, huelga-deslizamiento y reverso). [24]

La mayor parte de los datos provienen de los sitios de clase C y D, que van desde la roca blanda hasta el suelo firme; muy pocos datos procedían de sitios de clase A (roca dura). [24]

La ecuación para predecir movimientos de tierra es:

$$\ln(y) = F_M(M_w) + F_D(R_{JB}, M_w) + F_S(V_{s30}, R_{JB}, M_w) + \varepsilon \quad (2.3)$$

Donde:

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

M : Magnitud de momento

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

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

$\varepsilon\sigma$: Desviación Estándar

En esta ecuación, FM, FD y FS representan la escala de magnitud, la función de distancia y la amplificación del sitio, respectivamente. [24]

La función de distancia está dada por:

$$F_D(R_{JB}, M_w) = [c_1 + c_2(M_w - M_{ref})] \ln\left(\frac{R}{R_{ref}}\right) + c_3(R - R_{ref}), \quad (2.4)$$

Donde:

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2} \quad (2.5)$$

Los coeficientes $c_1, c_2, c_3, M_{ref}, R_{ref}$ y h son los coeficientes a ser determinados en el análisis. Para M_{ref} , se escogió un valor de 4.5, ya que se trata de la magnitud aproximada de gran parte de los datos utilizados para determinar los coeficientes fijos de c_3 ; esta elección significa que la dependencia de magnitud de la pendiente se hará referencia a la observada para eventos pequeños. Para R_{ref} , usamos el valor de 1km. [24]

La escala de magnitud está dada por:

i. $M_w \leq M_h$

$$F_M(M_w) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_5(M_w - M_h) + e_6(M_w - M_{ref})^2 \quad (2.6)$$

ii. $M_w > M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_7(M - M_h) \quad (2.7)$$

Donde U, SS, NS y RS son variables ficticias que se usan para indicar el tipo de falla no especificada, transcurrente, de deslizamiento normal y de deslizamiento inverso, respectivamente, según los valores de la Tabla y M_h , la "magnitud de la bisagra". Para la forma de la escala de magnitud, es un coeficiente que se debe establecer durante el análisis. [24]

Tabla 4: Valores de Error Variable Para Diferentes Tipos de Falla

Tipo de Falla	U	SS	NS	RS
Sin especificar	1	0	0	0
Transcurrente	0	1	0	0
Normal	0	0	1	0
Inversa	0	0	0	1

Fuente: Boore, D., Atkinson, M. 2008

La función de amplificación de sitio está dada por: [24]

$$F_S = F_{LIN} + F_{NL} \quad (2. 8)$$

Donde F_{LIN} y F_{NL} son términos lineales y no lineales respectivamente. [24]

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln \left(\frac{V_{s30}}{V_{ref}} \right) \quad (2. 9)$$

Donde b_{lin} es un coeficiente dependiente del período, y V_{ref} es la velocidad de referencia especificada igual a 760m/s, coeficientes empíricos dados por Choi y Stewart (2005). [24]

Las siguientes tres ecuaciones responden, a los términos no lineales del suelo y están dados por:

i. $pga4nl \leq a_1$:

$$F_{NL} = b_{nl} \ln \left(\frac{pga_low}{0.1} \right) \quad (2. 10)$$

ii. $a_1 < pga4nl \leq a_2$:

$$F_{NL} = b_{nl} \ln \left(\frac{pga_low}{0.1} \right) + c \left[\ln \left(\frac{pga4nl}{a_1} \right) \right]^2 + d \left[\ln \left(\frac{pga4nl}{a_1} \right) \right]^3 \quad (2. 11)$$

iii. $a_2 < pga4nl$

$$F_{NL} = b_{nl} \ln \left(\frac{pga4nl}{0.1} \right) \quad (2. 12)$$

Las ecuaciones (2.10- 2.12) responden a la no linealidad del suelo. Donde $a_1 = 0,03g$ y $a_2 = 0,09g$ se asignan niveles para la amplificación lineal y no lineal, respectivamente, $pga_low = 0,06g$ es una variable asignada a transición entre comportamientos lineales y no lineales, y $pga4nl$ es el PGA previsto en g para

V_{ref} : 760m/s, dado por la ecuación de predicción de movimiento de este artículo con $F_s = 0$, y $\varepsilon=0$. [24]

Los coeficientes c, d en la ecuación (2.11) está dada por:

$$c = (3\Delta_y - b_{nl}\Delta_x)/\Delta_x^2 \quad (2.13)$$

$$d = -(2\Delta_y - b_{nl}\Delta_x)/\Delta_x^3 \quad (2.14)$$

Donde se expresa que:

$$\Delta_x = \ln(a_1/a_2) \quad (2.15)$$

$$\Delta_y = b_{nl} \ln(a_2/pga_low) \quad (2.16)$$

La pendiente no lineal b_{nl} es una función de ambos períodos y V_{S30} esta dada por:

i. $V_{S30} \leq V_1$:

$$b_{nl} = b_1 \quad (2.17)$$

ii. $V_1 < V_{S30} \leq V_2$:

$$b_{nl} = (b_1 - b_2) \ln(V_{S30}/V_2)/\ln(V_1/V_2) + b_2 \quad (2.18)$$

iii. $V_2 < V_{S30} \leq V_{ref}$:

$$b_{nl} = b_2 \ln(V_{S30}/V_{ref})/\ln(V_2/V_{ref}) \quad (2.19)$$

iv. $V_{ref} \leq V_{S30}$:

$$b_{nl} = 0.0 \quad (2.20)$$

Donde: $V_1 = 180m/s$, $V_2 = 300m/s$

Los valores de b_1 y b_2 son coeficientes dependientes de período, el factor de pendiente no lineal b_{nl} depende de V_{S30} a través de las ecuaciones dadas anteriormente. Las funciones de amplificación son probablemente razonables para valores de V_{S30} hasta aproximadamente 1300 m/s, pero no debe aplicarse para sitios de roca muy dura V_{S30} mayor que 1500 m/s. [24]

Los valores de b_{nl} en los puntos de articulación $V_{S30} = V_1$ y $V_{S30} = V_2$ están dados por los coeficientes b_1 y b_2 , respectivamente, y éstas son funciones de período. [24]

Recomendaciones de uso de las ecuaciones, se presenta limitaciones solo para variables predictoras en los siguientes rangos:

- Magnitud de momento, $M_w = 5 - 8$
- $R_{JB} < 200 \text{ km}$
- $V_{S3} = 180 \text{ m/s} - 1300 \text{ m/s}$.

2.1.7.1.3 Ecuación de Atenuación de Tatsuo Kanno (2006)

Basado en una base de datos de registros de movimiento del suelo de Japón desde 1963 a 2003, proporcionando un total de 91,731 registros de 4967 terremotos para análisis de regresión. Además, también se utilizaron 788 registros de 12 terremotos en países distintos como Estados Unidos y Turquía. [25]

Con la experiencia histórica de desastres sísmicos como el de Hyogo-ken Nanbu, Kobe en 1995, el gobierno japonés hace esfuerzos para evitar futuros desastres, instalando estaciones de observación de movimiento fuerte K-NET para identificar una nueva relación de atenuación para luego establecer un modelo base que es capaz de capturar las características promedio del movimiento sísmico del suelo para PGA, PGV y espectros de respuesta de aceleración amortiguada del 5%, para este estudio la ecuación tiene solo tres variables: magnitud de terremoto, distancia más corta al plano de falla sísmica y profundidad focal. [25]

El efecto de profundidad de las características de atenuación en la base de datos y se encontró que las amplitudes de movimiento de tierra de los terremotos con profundidades focales mayores de 30 km son considerablemente diferentes de las de los eventos más superficiales. [25]

En el modelo base, se solo dos parámetros, magnitud del momento M_w y distancia a la fuente X y dos ecuaciones, una para eventos superficiales y la otra para eventos profundos: [25]

Eventos superficiales, cuando $D \leq 30km$.

$$\log pre = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 \cdot 10^{e_1 M_w}) + c_1 + \varepsilon_1 \quad (2. 21)$$

Eventos profundos, cuando $D > 30km$.

$$\log pre = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 \cdot 10^{e_1 M_w}) + c_1 + \varepsilon_1 \quad (2. 22)$$

Donde:

a, b, c, d : Coeficientes

M_w : Magnitud de momento

D : Profundidad Focal.

X : Distancia de la Fuente (Rjb)

Siendo de gran utilidad la ecuación 2.21 ya que en el estudio se utilizará para un tipo de falla cortical superficial es decir menor a $D \leq 30km$, y la ecuación 2.22 para eventos de subducción intraplaca es decir con un $D > 30km$. [25]

Los coeficientes $a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2$ y c_2 son los coeficientes de regresión. Takahashi et al. (2004) determinaron iterativamente el coeficiente de M_w en el término de la distancia agregada (e_1), este valor está muy cerca de 0.5 en la escala logarítmica base diez. Por lo tanto, el coeficiente $e_1 = 0,5$ fue seleccionado para todos los períodos en

el presente estudio. Los coeficientes ε_1 y ε_2 son errores entre los valores observados y predichos. [25]

Se utilizó el mismo esquema de ponderación adoptado por Midorikawa y Ohtake (2003):

- 6,0 ($X \leq 25km$)
- 3,0 ($25km < X \leq 50km$)
- 1,5 ($50km < X \leq 75km$)
- 1,0 ($X \geq 75km$).

Se utilizaron algunos términos de corrección adicional, Zhao et al. (2004) utilizó factores de amplificación individuales para cuatro clases de sitios discretos. Para obtener un término de corrección de sitio continuo, se asume la siguiente ecuación simple para los efectos del sitio, aunque se eliminó la dependencia del período predominante: [25]

$$G = \log(obs/pre) = p \log Vs30 + q \quad (2.23)$$

Donde G es un término de corrección adicional correspondiente a los efectos del sitio y $\log(obs/pre)$ es el residual entre la amplitud observada de PGA y los valores predichos (pre) por el modelo base en ecuaciones (2.23) y (2.24). Los coeficientes p y q se obtuvieron mediante análisis de regresión de los residuos promediados a intervalos de cada 100 m/s en $Vs30$ del estudio esta ecuación de atenuación, dados en la tabla de ANEXO B. [25]

El valor de velocidad de onda de corte $Vs30$ se tomará como el valor promedio obtenido anteriormente, por NSPT y el cálculo posterior por medio de la ecuación de Kirar B. (2016). [25]

El valor predicho después de aplicar los términos de corrección adicionales correspondientes a los efectos del sitio (pre_G) se puede interpretar de la siguiente manera: [25]

$$\log(pre) = \log pre + G \quad (2. 24)$$

Recomendaciones de uso de las ecuaciones, las ecuaciones de atenuación deben ser usadas tomando en cuenta la profundidad focal, para eventos superficiales de 0 km a 30 km y para eventos profundos entre 30km y 200km [25]

2.1.7.2 Ecuaciones de Atenuación para eventos de subducción intraplaca

Las Relaciones de movimientos fuertes para terremotos que ocurren en zonas de subducción son una entrada importante para los análisis de riesgo sísmico en muchas partes del mundo, en base a las fuentes sísmicas profundas que comprende las zonas como la placa de Nazca en subducción bajo la placa Continental resulta complejo la caracterización de su geometría debido a su naturaleza. [26] [20]

Se utilizará un valor promedio de profundidad focal de 125 km, en relación a los datos de los informes del Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, específicamente para eventos de subducción intraplaca, eventos suscitados a profundidades de entre 50 km a 200 km en el territorio ecuatoriano. [20]

2.1.7.2.1 Ecuación de Atenuación de Youngs & Chiou (1997)

En este artículo científico se presenta las relaciones de atenuación para aceleraciones máximas en el suelo PGA y la respuesta espectral de aceleración PSA, para las zonas de subducción superficial y profunda. [27]

Fukushima y Tanaka (1990) e Iai (1993) combinaron los sismos corticales superficiales y los sismos en zonas de subducción en una sola base de datos para generar sus relaciones de atenuación, teniendo en cuenta que la diferencia entre eventos sísmicos interface e intraplaca, fue realizada en base al mecanismo de falla o

a su vez a la profundidad focal donde eventos sísmicos cuya profundidad es mayor a 50 km, se consideran como eventos profundos o intraplaca. Tichelaar y Ruff (1993) indican que los sismos superficiales o interface alrededor del mundo ocurren en profundidades menores que los 50 km. [27]

Los registros fueron clasificados dentro de tres grandes grupos: roca, suelo superficial rígido, y suelos profundos. [27]

Ecuación para suelo tipo roca:

$$\begin{aligned} \ln(y) = & 0,2418 + 1,414M_w + C_1 + C_2(10 - M_w)^3 \\ & + C_3 \ln(r_{rup} + 1,7818e^{0,554M_w}) + 0,00607H + 0,3846Z_T \end{aligned} \quad (2. 25)$$

Ecuación para suelo rígido:

$$\begin{aligned} \ln(y) = & -0,6687 + 1,438M_w + C_1 + C_2(10 - M_w)^3 + C_3 \ln(R + 1,097e^{0,617M_w}) \\ & + 0,00648H + 0,3643Z_T \end{aligned} \quad (2. 26)$$

Donde:

y : Esta expresado en fracción de aceleración de la gravedad (%g).

C_i : Coeficientes

R : Distancia fuente a sitio

H : Profundidad focal

M_w : Magnitud de momento

Z_T : Tipo de Falla

Donde:

La desviación estándar para ambos tipos de suelo está dado por:

$$\text{Desviación estandar} = C_4 + C_5 M_w \quad (2. 27)$$

La desviación estándar para $M_w > 8$, se toma como igual al valor de $M_w = 8$, los valores de Z_T según el evento se tomará de $Z_T = 0$ para eventos interface y de $Z_T = 1$ para eventos intraplaca. La Relación de atenuación para aceleración espectral de respuesta horizontal (5% de amortiguamiento). [27]

Se utilizara la ecuación 2.26 específicamente para suelo rígido, según los resultados de los ensayos descritos anteriormente en este estudio. [27]

Recomendaciones de uso de la ecuación:

La utilización de los valores tendrá como parámetros iniciales y serán utilizados terremotos que generan momentos de magnitud M_w mayores o iguales a 5, entre distancias de 10 a 500 km. [27]

2.1.7.2.2 Ecuación de Atenuación de John X. Zhao (2006)

De manera determinista, los ingenieros también usan modelos de atenuación para estimar las fuerzas y / o desplazamientos inducidos en las estructuras de ingeniería. El conjunto de datos incluye una gran cantidad de registros de movimiento fuerte de suelo de donde se determinan términos clase de sitio provenientes de estaciones de grabación de acuerdo con un esquema de clasificación utilizado en el diseño ingenieril de Japón, datos de la réplica principal Off Tokach 2003 y las réplicas posteriores, de sismos producidos en Japón el cual se encuentra en un entorno de límite de placa activa y, por lo tanto, tiene un entorno geológico y tectónico complicado, Irán en donde se utilizó los datos del terremoto de Tabas (1978) y el sismos producidos en la costa oeste de USA. Se toman en cuenta eventos interface como intraplaca y de tipo cortical para fallas de tipo inversa, normal y transcurrente dependiendo la profundidad de la fuente. En el estudio realizado por Zhao, se adopta el modelo de efectos aleatorios y se utiliza el algoritmo de Abrahamson y Youngs (1992). Se seleccionó la siguiente forma simple de la función de atenuación: [28]

$$\text{Log}(y) = aM_w + bx + \text{Log}(r) + e(h - h_c)\delta_h + FR + SI + S_s + SSL \log(x) + C_k \quad (2.28)$$

Donde:

M : Magnitud de Momento

a, b, e, C_k : Coeficientes

x : Distancia a la fuente en Km

h : Profundidad focal

h_c : Constante

C_k : Clase de sitio

r : Valor en función de Distancia a la fuente, y coeficientes c, d y Mw .

Donde y es PGA o 5% de espectro de respuesta de aceleración amortiguada esta expresado en gals (cm/s^2) para un período espectral T . [28]

$$r = x + c \exp(d Mw) \quad (2. 29)$$

Mw , es la magnitud del momento, x es la distancia fuente en kilómetros, y h es la profundidad focal en km. [28]

Parámetros a utilizar:

El parámetro de falla inversa FR se aplica solo a eventos corticales con un mecanismo de fallas inversas y es cero para todos los demás eventos, el tipo de fuente tectónico SI se aplica a eventos de interfase y es cero para todos los demás eventos, S_s se aplica solo a eventos de subducción intraplaca y es cero para todos los demás eventos, SSL es un término de modificación de trayectoria independiente de magnitud para que los eventos intraplaca. [28]

Debido a que los parámetros previstos para la aplicación de la ecuación ya que la falla a estudiar presenta un evento de tipo intraplaca, los valores de tales como FR , SI , S_s y SSL se tomarán del ANEXO E caso contrario si no cumple la condición se tomara como valor cero para los demás eventos. [28]

Otros parámetros a utilizar son los valores de C_k término que depende de la clase de sitio o el tipo de suelo con respecto al V_{S30} obtenido previamente para este estudio el cual resulta ser un tipo C_2 . [28]

Tabla 5: Definición de la clase de sitio según la V_{S30}

Table 2
Site Class Definitions Used in the Present Study and the Approximately Corresponding NEHRP Site Classes

Site Class	Description	Natural Period	V_{30} Calculated from Site Period	NEHRP Site Classes
Hard rock			$V_{30} > 1100$	A
SC I	Rock	$T < 0.2$ sec	$V_{30} > 600$	A + B
SC II	Hard soil	$0.2 = T < 0.4$ sec	$300 < V_{30} = 600$	C
SC III	Medium soil	$0.4 = T < 0.6$ sec	$200 < V_{30} = 300$	D
SC IV	Soft soil	$T = 0.6$ sec	$V_{30} = 200$	E + F

Fuente: Zhao, J. X., 2006

El valor de h_c es una constante de profundidad para eventos superficiales igual a 15 km caso contrario es cero, se debe tomar en cuenta el evento para tomar en cuenta el valor de la profundidad focal la cual presenta que: [28]

- Eventos corticales: $h = 0 - 25$ km
- Eventos interplaca: $h = 10 - 50$ km
- Eventos intraplaca: $h = 15 - 162$ km
- Si $h > 125$ km utilizar; $h = 125$ km

2.1.8 Parámetros Utilizados en las Ecuaciones de Atenuación.

Los principales parámetros a utilizar son los descritos a continuación, estos serán utilizados para generar los espectros para cada falla y para cada ecuación.

2.1.8.1 Ensayo de Penetración Estándar SPT.

Para la realización del ensayo se tomará como base la Norma NTE INEN 0689 (1982), aquí se indica el procedimiento a realizar para una correcta ejecución del Ensayo de Penetración Estándar: [29]

- Utilizar instrumentos normados y en buen estado, ya que eso depende la calidad del ensayo. [29]
- Una vez apoyado el muestreador al nivel del pozo perforado, se procede a hincarlo mediante golpes del martillo lanzado a una altura normada de 75 ± 5 cm sobre la cabeza de golpe. [29]
- Para la manipulación del martillo se debe utilizar un cabo de manila o un similar, si se utiliza un sistema de acción mecánico, el cabo seleccionado no debe enrollarse más de dos vueltas. [29]
- Manipular las barras guía para que la perforación sea vertical, asegurando la calidad y rapidez del ensayo. [29]
- Se penetrara 15cm, para asegurarse de la verticalidad de la perforación, completando 30cm más, contando el número de golpes, lo cual determinara la resistencia del suelo. [29]
- Si durante el ensayo durante la penetración de los intervalos dos y tres de 15cm cada uno, al sumarlos resultan 50 golpes, se anotara el número de golpes y se medirá la longitud de penetración. [29]
- Con la finalidad de cortar la muestra, deberá girarse por lo menos dos vueltas antes de extraer el muestreador, después se lo saca a la superficie, se lo abre y mide la longitud, excluyendo la parte superior no representativa. [29]
- Con base a la Norma NTE INEN 0693 la muestra será descrita, guardada en un recipiente hermético, identificada y etiquetada para su posterior análisis en el laboratorio. [29]

2.1.8.2 Características del Suelo

Los parámetros que se toma para clasificar el suelo dados por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos S.U.C.S serán esenciales para la determinar el tipo de suelo que presenta el sitio de estudio.

Tabla 6: Clasificación de suelos

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)
INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GW Gravas bien graduadas,mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUIE: Menos del 5% GW, GP,SW, SP; más del 12% GM,GC,SM,SC; Entre 5% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles y *		
		GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GP Gravas mal graduadas,mezclas de grava y arena con poco o nada de finos			
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	* GM d Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$	
			GC Gravas arcillosas,mezclas de gravas,arena y arcilla			NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA " LÍNEA A " O LP. MENOR QUE 4.	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA " LÍNEA A " CON LP. MAYOR QUE 4. Arriba de la " línea A " y con LP. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
			SP Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA " LÍNEA A " CON LP. MAYOR QUE 7.	
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* SM d Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	$Cu = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.		No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW	
		SC Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA " LÍNEA A " O LP. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA " LÍNEA A " CON LP. MAYOR QUE 7.			
	SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido menor de 50	ML Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.		G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad	
			CL Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.			
			OL Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.			
		LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido Mayor de 50	MH Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.			CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)
CH Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.						
OH Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.						
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		P Turbas y otros suelos altamente orgánicos.				

** CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.
 ⊕ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.
 * LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS UNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFIO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL LP. ES DE 6 O MENOS. EL SUFIO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

Fuente: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Con la guía de la tabla de Clasificación de los suelos se determinara el tipo de suelo del área de estudio, previo a un estudio granulométrico que se describe en el capítulo 4.

2.1.8.3 Velocidad de Onda de Corte (Vs30)

Un criterio empírico para determinar el comportamiento de suelos, parte de investigaciones realizadas por Borcherdt (1994), que proponen un método de clasificación con base en la velocidad de onda de corte en los 30 m superficiales (Vs30). Este criterio se ha popularizado en los últimos años y lo utilizan diferentes códigos o reglamentos en varios países en la caracterización específica de sitio para evaluaciones de amenazas DSHA, donde las ondas se asocian a tipo de suelo, rango de valores de ensayos SPT (NSPT), y fuerza de corte de suelo no drenado, límite plástico y contenidos de humedad. [30] [4]

2.1.8.3.1 Relaciones Empíricas para la Determinación de Vs30

Actualmente se busca representar una relación que permita la obtención de la velocidad de onda de corte por medio de parámetros geotécnicos específicamente el valor NSPT. La relación se genera por regresión estadística de datos para la investigación, los datos de NSPT se obtuvieron de perforaciones realizadas con un total de 500 pares de datos secundarios teniendo en cuenta las características geológicas y geotécnicas. Se estableció una ecuación que representa la velocidad de onda de corte en función a NSPT. Ohta et al. (1972) representa en una ecuación para los suelos arenosos, estableciendo valores empíricos para el cálculo de Vs30, tomada del artículo “Elastic shear moduli as estimated from N-value.” Procedente de la Séptima Convención de la Sociedad Japonesa de Mecánica de Suelos y Cimentaciones. [31]

La siguiente ecuación presenta la relación para todo tipo de suelo, la utilización de esta ecuación se la realizará para un tipo de suelo Arenoso determinado previamente en este estudio.

$$V_s = 87,2 * NSPT^{0,36} \quad (2.30)$$

Donde:

NSPT: Número de golpes con investigación de tipo SPT

Vs: Velocidad de onda de corte.

En el capítulo IV se presentarán las tablas con los valores de Vs30 para cada nivel de cada perforación, posteriormente se clasificarán según el valor de Vs30 obtenido en relación a la Tabla 7 y se determinará el tipo de perfil según los datos obtenidos.

Para la determinación de la Velocidad de Onda de Corte Promedio, se utilizará la siguiente relación en función a la altura de cada estrato y Vs30 obtenido para cada nivel de perforación: [4]

$$Vs30 \text{ Promedio} = \frac{H}{\frac{H1}{Vs1} + \frac{H2}{Vs2} + \frac{Hi}{Vni}} \quad (2.31)$$

Donde:

Vs30 Promedio: Velocidad de Onda de Corte Promedio

H: Profundidad total de la Perforación.

Hi: Profundidad de cada estrato

Vsi: Velocidad de Onda de corte para cada estrato.

2.1.8.3.1 Clasificación de los Perfiles de Suelo

Tabla 7: Clasificación de los Perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_{S30} \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_{S30} \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelo muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de corte, o	$760 \text{ m/s} > V_{S30} \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelo muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50, Su \geq 100\text{KPa}$
D	Perfiles de suelo rígidos, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de corte, o	$360 \text{ m/s} > V_{S30} \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelo rígidos, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$50 > N \geq 15, 100\text{KPa} > Su \geq 50\text{KPa}$
E	Perfil que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de corte, o	$V_{S30} < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20, w \geq 40\%, Su < 50\text{KPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista	

Fuente: NEC-SE-DS, 2015

Donde:

N: Número de golpes con investigación de tipo SPT

Vs30: Velocidad de onda de corte

Su: Resistencia al corte no drenado.

IP: Índice de plasticidad.

w: Contenido de agua en %

El cuadro anterior representa la clasificación según el tipo de perfil, en el cual se resalta dos parámetros geotécnicos para clasificar al suelo por tipo de perfil, estos son, el número de golpes por el ensayo SPT, y la velocidad de onda de corte Vs30 como los indicadores más representativos que da la Norma Ecuatoriana de la Construcción. [4]

2.1.8.3 Distancia Fuente-Sitio

Es la distancia más cercana a la proyección de superficie del plano de falla. Se la describe como la distancia perpendicular desde la falla activa hasta el punto medio del

sitio de estudio, esta distancia también es denominada Distancia Joyner Boore (Rjb) [26]

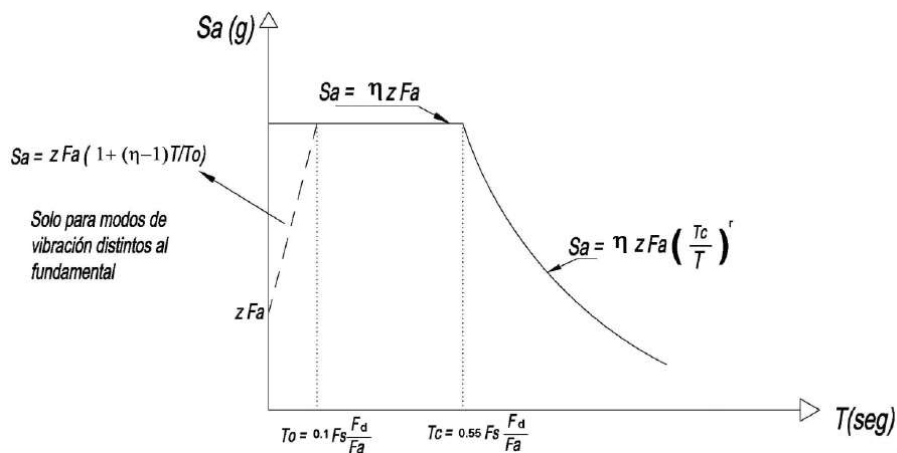
2.1.9 Espectro de Respuesta para Diseño

Basado en las características geotécnicas, tectónicas, sismogénicas, de tipo de suelo del sitio, el espectro de la normativa se ha determinado con un amortiguamiento del 5%, expresado en como fracción de la aceleración de la gravedad, el cual es utilizado para representar los efectos dinámicos de estructuras ingenieriles. [4]

Se toma en cuenta parámetros como son:

- El factor de zona sísmica Z, el cual representa la aceleración máxima esperada en la roca PGA. [4]
- El tipo de suelo, características propias de las propiedades del suelo que existe en el sitio de estudio. [4]
- Coeficientes de amplificación de suelo Fa, Fd y Fs. [4]

Figura 15: Espectro Elástico Horizontal de Diseño en Aceleraciones



Fuente: Peligro Sísmico, NEC-SE-DS 2015

Donde:

η : Relación entre la aceleración espectral S_a y el PGA para el período seleccionado.

F_a : Coeficiente de amplificación del suelo en la zona de período corto, con respecto a aceleraciones.

F_d : Coeficiente de amplificación del suelo con respecto a desplazamientos.

F_s : Coeficiente de amplificación del suelo, considera los efectos no lineales del suelo en relación a aceleraciones y desplazamientos.

S_a : Espectro de respuesta elástica de aceleraciones expresado como fracción de la gravedad.

T : Período fundamental de vibración de la estructura.

T_o, T_c : Períodos límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones.

Z : Aceleración máxima en roca, expresada como fracción de la gravedad.

2.1.9.1 Factor de Zona Sísmica (Z)

Basado en la zonificación que se realizó a todo el territorio ecuatoriano donde se caracteriza a los sectores desde un nivel bajo como se da en el oriente a un nivel muy alto como se da en la región costa y parte de la región sierra. [4]

PGA: es el valor de la aceleración máxima en el terreno, expresada en función de la gravedad, se la denomina en el intervalo de período 0,0 seg. [4]

Tabla 8: Factor de Zona Sísmica

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: NEC-SE-DS, 2015

2.1.9.2 El tipo de suelo de sitio

El estudio de suelos que se realiza para saber el tipo de suelo que existe en el sitio de análisis es el descrito anteriormente, es el Ensayo de Penetración Estándar con un análisis de granulométrico que se complementa con el ensayo. [4]

2.1.9.3 Coeficientes de amplificación de suelo F_a , F_d y F_s .

En la Tabla se presentan los valores del coeficiente F_a , que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio. [4]

Tabla 9: Tipos de Suelo y Coeficiente de Amplificación de suelo F_a

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85

Fuente: NEC-SE-DS, 2015

En la Tabla se presentan los valores del coeficiente F_d , que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio. [4]

Tabla 10: Tipos de Suelo y Coeficiente de Amplificación de suelo F_d

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5

Fuente: NEC-SE-DS, 2015

En la Tabla presentan los valores del coeficiente F_s , que consideran el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos. [4]

Tabla 11: Tipo de Suelo y Factores del Comportamiento Inelástico del Subsuelo F_s

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2

Fuente: NEC-SE-DS, 2015

2.1.10 Espectros en Aceleración Generados

La identificación de las fallas, la determinación de los parámetros geotécnicos, la determinación de la velocidad de onda de corte, el cálculo de la magnitud de momento

probable para cada falla, la determinación de la distancia fuente-sitio y el análisis de cada ecuación de atenuación, se obtienen espectros en aceleración generados del grupo de Fallas para diferentes Ecuaciones y de un grupo de Ecuaciones para diferentes Fallas.

2.1.11 Espectro Determinista de Análisis

El resultado del análisis de peligro sísmico resulta en un Espectro Determinista o también llamado Espectro Específico de Sitio el cual toma valores máximos de cada espectro en aceleraciones generado para cada falla y con cada ecuación.

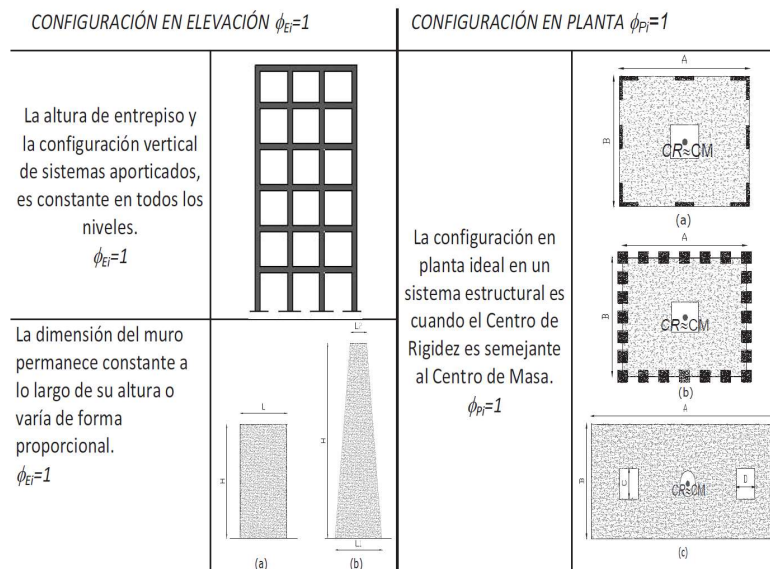
2.1.12 Metodología de Diseño Sismoresistente

2.1.12.1 Configuración Estructural

a) Configuraciones a privilegiar

Configuración arquitectónica y estructural simple y regular para lograr un desempeño sísmico adecuado. [4]

Figura 16: Configuraciones Estructurales Recomendadas

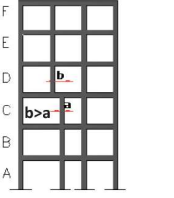

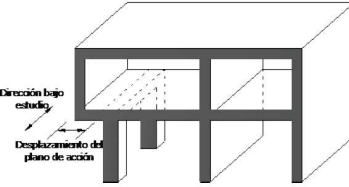
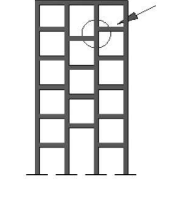


Fuente: Peligro Sísmico, NEC-SE-DS 2015

b) Configuraciones más complejas

La configuración arquitectónica y estructural se ve afectada por los cambios de rigidez y resistencia, no se recomienda este tipo de configuraciones ya que afecta la ductilidad global del sistema. [4]

Figura 17: Configuraciones Estructurales No Recomendadas

IRREGULARIDADES EN ELEVACIÓN		IRREGULARIDADES EN PLANTA
<p>Ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas. La estructura se considera irregular no recomendada cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento.</p>		<p>Desplazamiento de los planos de acción de elementos vertical. Una estructura se considera irregular no recomendada cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.</p>
<p>Piso débil-Discontinuidad en la resistencia. La estructura se considera irregular no recomendada cuando la resistencia del piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada).</p>	 <p>RESISTENCIA PISO B < 0.70 RESISTENCIA PISO C</p>	 <p>Dirección bajo estudio Desplazamiento del plano de acción</p>
<p>Columna corta Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.</p>		

Fuente: Peligro Sísmico, NEC-SE-DS 2015

La descripción de la interpretación de coeficientes estructurales se especifica en el capítulo 4 para cada estructura analizada.

2.1.12.2 Reducción del Espectro Elástico

La ecuación 2.32 representa el cálculo de la fuerza que ejerce el sismo el cual entra a la estructura desde el nivel del terreno por el método basado en fuerzas descrito en la NEC-SE-DS 2015, se toma parámetros que se describen a continuación: [4]

$$V = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_E} * W \quad (2.32)$$

Se reduce a una expresión para el cálculo del coeficiente basal:

$$C = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \emptyset_p * \emptyset_E} \quad (2. 33)$$

Donde:

C: Coeficiente Basal.

Sa(Ta): Espectro de aceleración de diseño en función al período de vibración.

\emptyset_P y \emptyset_E : Coeficiente de configuración en planta y en elevación.

I: Coeficiente de Importancia. [4]

R: Factor de Reducción de Resistencia Sísmica. [4]

V: Cortante Basal de Diseño

W: Carga Sísmica Reactiva

Determinación del factor k, dependiente del periodo de vibración de la estructura, se utilizara la siguiente Tabla para calcular dicho factor.

Tabla 12: Coeficiente Relacionado con el Período de Vibración de la Estructura

Valores de T (s)	k
≤ 0.5	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75 + 0.50 T$
> 2.5	2

Fuente: Peligro Sísmico, NEC-SE-DS 2015

2.1.12.3 Período de Vibración de la Estructura

2.1.12.3.1 Período de Vibración de la Estructura, Método 1

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015 establece un método para la determinación de período de vibración, el valor de T_1 puede determinarse de manera

aproximada dependiendo del tipo de edificación y la altura del mismo, con la siguiente expresión: [4]

$$T_1 = C_t * h_n^\alpha \quad (2. 34)$$

Donde:

C_t : Coeficiente dependiente del tipo de edificación

h_n : Altura máxima de la edificación, medida desde la base de la estructura, en metros.

T_1 : Período de vibración.

α : Impedancia del semiespacio.

Tabla 13: Coeficientes C_t y α dependiendo el tipo de estructura

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 2015

2.1.12.3.2 Determinación de los Períodos Límite de Vibración:

La NEC 2015 especifica los límites de períodos de vibración mediante las siguientes expresiones:

$$T_0 = 0,1 * F_s \frac{F_d}{F_a} \quad (2. 35)$$

$$T_C = 0,55 * F_s \frac{F_d}{F_a} \quad (2.36)$$

Donde:

T_0, T_C : Períodos límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño. [4]

F_a, F_d y F_s : Coeficientes de amplificación del suelo. [4]

2.1.12.3.3 Período de Vibración Modal, Método 2

La normativa establece que el período fundamental T_2 puede ser calculado por medio de un análisis modal, utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes, donde el valor calculado según este método no debe ser mayor en un 30% al valor de T_1 del método 1. [4]

2.1.12.4 Torsión Accidental

Los efectos de torsión accidental inciden en el comportamiento de la estructura, cuando se relaciona el porcentaje de participación modal de la masa en rotación Rz y el porcentaje en el sentido traslacional U_x o U_y , si los porcentajes resultantes de la relación son mayores a un 30% los efectos torsionales tiene una gran incidencia en la estructura afectando al comportamiento frente a eventos sísmicos considerables. [32]

La verificación se la realizará en los tres primeros modos de vibración de las estructuras, en donde los dos primeros modos deben ser traslacionales es decir que la relación Rz para U_x o U_y debe ser menor al 30% y el tercer modo debe ser rotacional es decir que el valor de la relación Rz para U_x o U_y debe ser mayor al 30% tomando en cuenta la expresión de la ecuación (2.37). [32]

$$\%Torsión = \frac{R_z}{U_x \text{ o } U_y} \quad (2.37)$$

2.1.12.5 Modos Necesarios para la Participación de la Masa Modal Acumulada

La verificación según la Norma Ecuatoriana de la Construcción, en donde se determina el número de modos que involucren la participación de la masa modal acumulada en las direcciones horizontales principales X y Y, las cuales deben ser al menos el 90% de la masa total de la estructura. [4]

2.1.12.6 Control de la Deriva de piso

Se determina las derivas de piso obtenidas como consecuencia de la aplicación de fuerzas laterales de diseño reducidas por el método basado en fuerzas sean estáticas o dinámicas, para cada dirección de aplicación, al controlar las deformaciones a través del cálculo de derivas inelásticas máximas de piso. [4]

Para la revisión de las derivas de piso se utilizará el valor de respuesta máxima inelástica en desplazamientos Δ_M de la estructura, causada por el sismo de diseño. [4]

La deriva máxima inelástica Δ_M de cada piso debe calcularse mediante:

$$\Delta_M = 0,75 * R * \Delta_E \quad (2.38)$$

$$\Delta_M < \Delta_M \text{máxima}$$

Donde:

Δ_M : Deriva máxima inelástica.

R : Factor de reducción de resistencia.

Δ_E : Desplazamiento obtenido en la aplicación de las fuerzas laterales de diseño.

$\Delta_M \text{máxima}$: Límite permisible de deriva de piso para estructuras de Hormigón armado, estructuras metálicas y madera igual al 2%. [4]

2.1.12.7 Validación del Análisis Dinámico

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción el valor del cortante dinámico total obtenido en la base de la estructura debe cumplir con los siguientes parámetros dependiendo el tipo de estructura. [4]

- Debe ser mayor al 80% del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras regulares). [4]
- Debe ser mayor al 85% del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras irregulares). [4]

2.1.13 Reducción del Riesgo Sísmico

El riesgo sísmico está ligado a la amenaza o peligro y la vulnerabilidad. En primera instancia la amenaza tiene que ver con el fenómeno que está latente, es decir los sismos, estos no pueden ser evitados que sucedan ya que son parte de la dinámica de la Tierra, por otra parte la vulnerabilidad asocia a la capacidad la soportar la presencia de la amenaza o peligro como son los terremotos es decir para disminuir el riesgo sísmico se debe disminuir el grado de vulnerabilidad. [12]

2.2 HIPÓTESIS

El estudio de Peligro Sísmico Determinista influye en el comportamiento estructural de las edificaciones en la Parroquia Huachi Loreto - Sector La Letamendi ubicado entre las calles: Isla Seymour, Av. Bolivariana, Víctor Hugo, Letamendi y Cacique Álvarez

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPOTESIS

2.3.1 Variable Dependiente

Comportamiento estructural de las edificaciones de la Parroquia Huachi Loreto - Sector “La Letamendi” ubicado entre las calles: Isla Seymour, Av. Bolivariana, Víctor Hugo, Letamendi y Cacique Álvarez.

2.3.2 Variable Independiente

Peligro Sísmico Determinista

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVELES O TIPO DE INVESTIGACIÓN

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

Exploratorio a que el análisis del peligro sísmico para las estructuras de estructuras de la Parroquia Huachi Loreto - Sector La Letamendi no se la ha realizado con anterioridad, la metodología es evaluar los espectros específicos de respuesta de los sistemas de fallas seleccionadas con el espectro propuesto por la NEC-15, determinar el espectro propio del sitio con un análisis posterior de 3 estructuras típicas del sector de dos, tres y cuatro pisos.

De laboratorio debido a que se realizará ensayos que permitan determinar el tipo de perfil de suelo mediante el empleo de un ensayo normalizado Ensayo de Penetración Estándar (SPT). Se utilizara el laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

3.2 POBLACION Y MUESTRA

Población:

El Estudio del Peligro Sísmico Determinista se lo realizará para la Parroquia Huachi Loreto - Sector La Letamendi. Para ello es necesario conocer las propiedades geotectónicas del suelo y las GMPE's que se van a utilizar.

Muestra:

Debido a que este es un trabajo experimental se tomara como recomendación según la NEC-15, un mínimo de 3 perforaciones para realizar un estudio de suelos.

Las Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Suelo a utilizar serán:

Para Fallas Corticales:

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

Para Falla de Subducción:

- Youngs (1997)
- Zhao (2006)

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente

Peligro Sísmico Determinista

Tabla 14: Operacionalización de la Variable Independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Es la acción de la naturaleza por su acción mecánica basada en la evaluación de las consecuencias generadas por movimientos de orden sísmico en un lugar específico	Fuente Sísmica	Historia Sísmica	¿Cuál es la Historia Sísmica de sector en estudio?	-Bibliográfica
		Fallas Geológicas	¿Cuáles son las fallas geológicas que afectan al área de estudio?	-Experimental -Bibliográfica
	Magnitud de Momento	Longitud de ruptura de falla geológica	¿Cuál es la longitud de ruptura de las fallas geológicas?	-Experimental -Bibliográfica

	Distancia Fuente-Sitio	Distancia Joyner-Boore (Rjb)	¿Cómo se mide la distancia más corta a la falla?	-Experimental -Bibliográfica
	Velocidad de Onda de Cote	Ecuación empírica en función a NSPT	¿Qué ecuación empírica se utilizará?	-Experimental -Bibliográfica

Fuente: Gabriel Real

3.3.2 Variable Dependiente

Vulnerabilidad debido al Potencial Sísmico en las estructuras de la Parroquia Huachi Loreto - Sector “La Letamendi” ubicado entre las calles: Isla Seymour, Av. Bolivariana, Víctor Hugo, Letamendi y Cacique Álvarez.

Tabla 15: Operacionalización de la Variable Dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Es la probabilidad de liberación de energía sísmica, en un lugar y tiempo específico	GMPE's	Aceleración	¿Cuál es la aceleración que se determinó?	-Experimental -Bibliográfica
		Período	¿Cuál es el período crítico que se obtuvo?	-Experimental -Bibliográfica
	Tipo de Suelo	Granulometría	¿Cuál es el tipo de suelo determinado?	-Experimental -Bibliográfica
	Configuración Estructural	Norma Ecuatoriana de la Construcción	¿Cuál es la influencia de la NEC en el diseño de las estructuras del área de estudio?	-Experimental -Bibliográfica

Fuente: Gabriel Real

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Tabla 16: Plan de Recolección de la Información

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
1.- ¿Para qué?	Para realizar el estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras del sector Huachi Loreto - Sector “La Letamendi” ubicado entre las calles: Isla Seymour, Av. Bolivariana, Víctor Hugo, Letamendi y Cacique Álvarez, mediante la determinación de espectro de respuesta generados por fallas seleccionadas, para la verificación del comportamiento estructural de estructuras tipo de dos, tres y cuatro pisos, del sitio de análisis.
2.- ¿De qué personas u objetos?	- Régimen tectónico, fallas seleccionadas y tipo de propiedades del suelo del sitio de estudio, estructuras típicas del área de dos, tres y cuatro pisos.
3.- ¿Sobre qué aspectos?	-Influencia del peligro sísmico determinista para las estructuras
4.- ¿Quién?	- Edison Gabriel Real Ronquillo
5.- ¿Dónde?	- Laboratorios de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato. - Oficina
6.- ¿Con qué técnica e instrumento?	- Investigación Bibliográfica, artículos científicos - Ensayos de Laboratorio - Normas de Construcción. - Software.

Fuente: Gabriel Real

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACIÓN

El proceso a seguir será de la siguiente forma:

- Identificación del régimen tectónico en base al área de estudio
- Selección de fallas más importantes que afectan al área de estudio, basado en del Catálogo Homogenizado 1587-2011 IG-EPN, en relación a su cercanía son: Falla Ambato, Falla Huachi, Falla Totoras, Falla Samanga y Falla de Subducción.
- Determinación del parámetro de magnitud máxima generada por las fallas previamente seleccionadas con la metodología de Wells – Coppersmith para fallas corticales y la metodología de Strasser-Arango y Bommer para la falla de subducción.
- Identificación del tipo de suelo mediante ensayo normado, Ensayo de Penetración Estándar SPT, basado en la INEN 0689 y en la NEC-SE-DS 2015.
- Determinar el PGA del suelo de acuerdo al régimen tectónico local, con la utilización de Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPE's)
- Comparación de espectro específico del sitio generado con el espectro de la NEC-SE-DS-2015
- Evaluación a 3 tipos de estructuras típicas del sector de dos, tres y cuatro pisos, con el espectro específico de sitio y el espectro de la normativa.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 RECOLECCION DE DATOS

4.1.1 Régimen Tectónico Local

En términos geológicos y sísmicos, el cinturón de fuego del Pacífico es uno de los lugares en donde la actividad sísmica y volcánica es mayor a una escala mundial. Siendo los terremotos por subducción la fuente generadora de los eventos telúricos más representativos entre la Placa Oceánica de Nazca que se mueve con una velocidad de 60 mm/año en dirección Este a Oeste y la Placa Continental Sudamericana. [12]

La cantidad de actividad sísmica registrada data desde 1541 hasta la actualidad, siendo el primer sismo que se tiene registro en el Ecuador, el cual ocurrió en 1541 con epicentro en Napo, evento que inicia con el catálogo sísmico del país. [12]

En el territorio ecuatoriano los fenómenos sísmicos están presentes a cada momento, la sismicidad anual del país que viene dada por la obtención de registros de monitoreo, presentan un promedio de 2600 eventos, los cuales 300 tienen magnitudes superiores a 4 los cuales fueron sentidos por la población, específicamente en el territorio ecuatoriano se presenta un sistema de fallas en la zona Subandina, esta se extiende de Norte a Sur 200 km aproximadamente. [12]

Los sismos generados en las costas ecuatorianas se relacionan al proceso de subducción, mecanismo generador de las mayores catástrofes, originó sismos tales como el 31 de Enero de 1906 con $M_w=8,8$, siendo el terremoto más grande registrado en el territorio nacional el cual también ocupa el sexto lugar a escala mundial, otros eventos similares generados fueron, el sismo de mayo de 1942, en las costas de Manabí con $M_w=7,7$, y en 1979 de $M_w=8,2$, con focos epicentrales ubicados entre Esmeraldas y el sur de Colombia. [33] [12]

Los registros del siglo pasado presentan un acontecimiento sísmico importante de índole catastrófico a nivel de Ambato, este evento tuvo epicentro en la ciudad de Pelileo en 1949, con una intensidad registrada en la escala de Mercalli de X, los efectos trascendieron hacia las provincias de Cotopaxi, Chimborazo, Bolívar, Pastaza y especialmente en la provincia de Tungurahua, según estudios ubica al sector sur del nido sísmico de Pisayambo como la zona epicentral, teniendo en cuenta que en este lugar se encuentra un sistema de fallas, se determinó la magnitud de 6.8 con una profundidad hipocentral menor a 15 km. [12] [34]

En la Tabla 17 se representa las escalas máximas con relación a la historia sísmica de cada provincia, dadas en valores de MKS o Escala Europea propuesta por Medvedev, Sponheuer y Karnik en 1964, parámetro utilizados para evaluar los efectos, daños a la población y a las obras ingenieriles generadas por la liberación de energía sísmica. [12]

Tabla 17: Intensidad Histórica Máxima en cada Provincia

PROVINCIA	INTENSIDAD MÁXIMA	PROVINCIA	INTENSIDAD MÁXIMA
Chimborazo	XI	Carchi	VIII
Cotopaxi	X	El Oro	VIII
Tungurahua	X	Azuay	VIII
Imbabura	X	Guayas	VIII
Esmeraldas	IX	Los Ríos	VIII
Loja	VIII	Morona Santiago	VIII
Manabí	IX	Pastaza y Orellana	VII
Napo y Sucumbíos	IX	Zamora Chinchipe	VII
Pichincha	VIII	Cañar	VII
Bolívar	VIII	Galápagos	IV

Fuente: Rivadeneira, Francisco; Segovia, Mónica. Breves Fundamentos sobre los Terremotos en el Ecuador

El evento tectónico más reciente que se tiene en registro, es el ocurrido el 16 de Abril del 2016 en la localidad de Pedernales (Manabí), de magnitud $M_w=7,8$, con hipocentro de profundidad de 20km, evento generado por la interaccion de las placas Nazca y Sudamericana. [33]

El sector la Letamendi, ubicado en la parroquia Huachi Loreto, en la ciudad de Ambato, con una elevación de 2580 msnm, es el sector de estudio para la realización del estudio de peligro sísmico determinista. La ciudad de Ambato ubicada en la región sierra del Ecuador, presenta historia de eventos sísmicos como volcánicos [12]

4.1.2 Selección de Fallas Geológicas

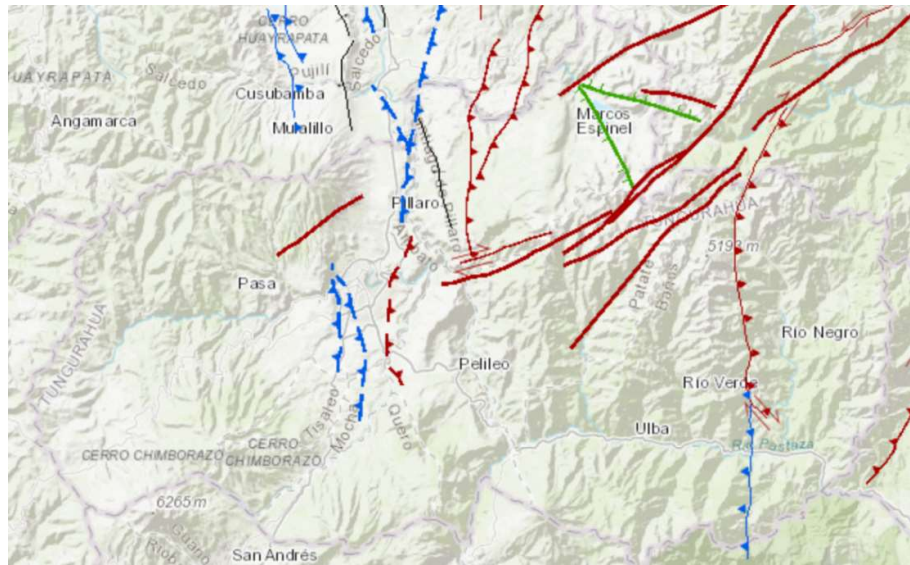
Las siguientes figuras describen las Fallas Geológicas que están presentes en el territorio ecuatoriano,

Figura 18: Fallas Geológicas de Ecuador



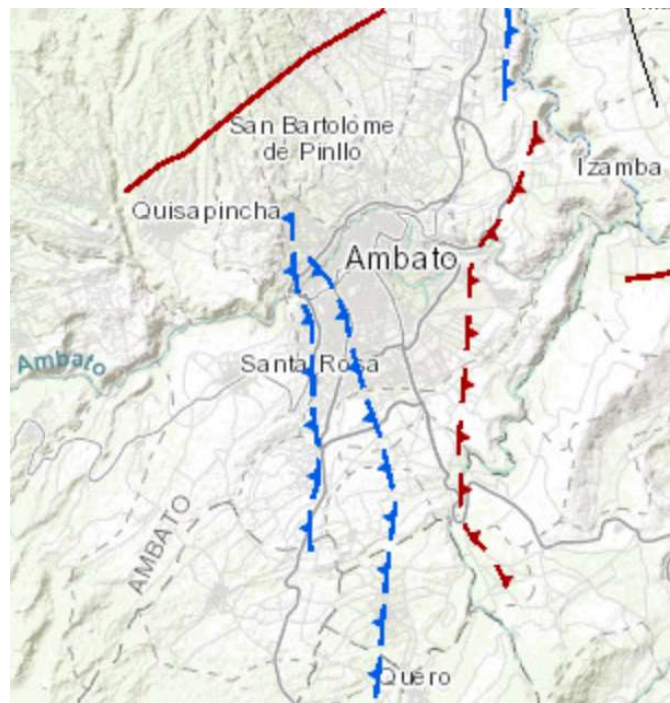
Fuente: Catálogo Homogenizado 1587-2011 IG-EPN

Figura 19: Fallas Geológicas de Tungurahua



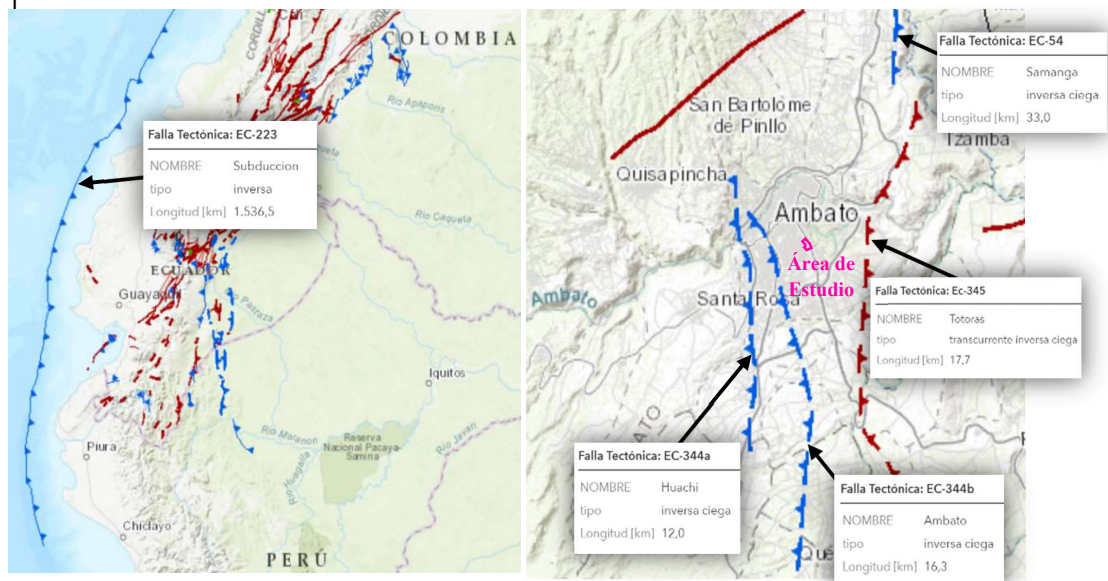
Fuente: Catálogo Homogenizado 1587-2011 IG-EPN

Figura 20: Fallas Geológicas de Ambato



Fuente: Catálogo Homogenizado 1587-2011 IG-EPN

Figura 21: Fallas Geológicas Seleccionadas para el Proyecto



Fuente: Catálogo Homogenizado 1587-2011 IG-EPN

En la siguiente tabla se especifica la descripción de cada una de las fallas tanto en su longitud como la distancia falla-área de estudio en kilómetros.

Tabla 18: Descripción de Longitud de Falla y Distancia al Sitio de Estudio

Código	Nombre	Tipo de falla	Longitud de la Falla (Km)	Distancia Falla – Proyecto (Km)
EC-223	Subducción	Inversa	1536,5	294,2
EC-345	Totoras	Transcurrente Inversa Ciega	17,7	2,87
EC-344 a	Ambato	Inversa Ciega	16,3	2,71
EC-344 b	Huachi	Inversa Ciega	12,0	1,51
EC-54	Samanga	Inversa Ciega	33,00	7,83

Fuente: Catálogo Homogenizado 1587-2011 IG-EPN

4.1.3 Clasificación de Suelos Para cada Perforación

Las siguientes tablas representan los resultados obtenidos del ensayo granulométrico realizado en los laboratorios de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se utilizará la Tabla 6 para la determinación del tipo de suelo en función de las características del material ensayado.

Tabla 19: Ensayo Granulométrico del Suelo de la Perforación 1

PERFORACIÓN 1					
N. TAMIZ	RETENIDO (gr)	RETENIDO ACUM (gr)	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUM (%)	PASA (%)
PERFORACIÓN (Nv. -1.00 – Nv. -2.00)					
# 4	2,2	2,2	0,64	0,64	99,36
# 10	13	15,2	3,79	4,43	95,57
# 40	124,1	139,3	36,18	40,61	59,39
# 100	63,1	202,4	18,40	59,01	40,99
# 200	50,3	252,7	14,66	73,67	26,33
FUENTE	90,3	343,0	26,33	100,00	0,00
TOTAL	343		100,00		
PERFORACIÓN (Nv. -2.00 – Nv. -3.00)					
# 4	0,3	0,3	0,07	0,07	99,93
# 10	7,2	7,5	1,71	1,78	98,22
# 40	138,6	146,1	32,87	34,65	65,35
# 100	125,4	271,5	29,74	64,38	35,62
# 200	49,4	320,9	11,71	76,10	23,90
FUENTE	100,8	421,7	23,90	100,00	0,00
TOTAL	421,7		100,00		

Fuente: Gabriel Real

La interpretación de los datos de la Tabla 19 para la Perforación 1, en la cual se determina en los metros perforados que más del 50% pasa el tamiz #4, y también se determina que en el tamiz #200 más de 50% de la muestra es retenida, interpretando estos resultados y por medio de la clasificación de la S.U.C.S, se tiene que el tipo de suelo obtenido es Arena.

Tabla 20: Ensayo Granulométrico del Suelo de la Perforación 2

PERFORACIÓN 2					
N. TAMIZ	RETENIDO (gr)	RETENIDO ACUM (gr)	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUM (%)	PASA (%)
PERFORACIÓN (Nv. -1.00 – Nv. -2.00)					
# 4	0,4	0,4	0,08	0,08	99,92
# 10	7,7	8,1	1,52	1,60	98,40
# 40	132,2	140,3	26,12	27,72	72,28
# 100	169,5	309,8	33,48	61,20	38,80
# 200	69,6	379,4	13,75	74,95	25,05
FUENTE	126,8	506,2	25,05	100,00	0,00
TOTAL	506,2		100,00		
PERFORACIÓN (Nv. -2.00 – Nv. -3.00)					
# 4	1,3	1,3	0,47	0,47	99,53
# 10	7,2	8,5	2,61	3,09	96,91
# 40	41,1	49,6	14,92	18,01	81,99
# 100	69,9	119,5	25,38	43,39	56,61
# 200	59,1	178,6	21,46	64,85	35,15
FUENTE	96,8	275,4	35,15	100,00	0,00
TOTAL	275,4		100,00		
PERFORACIÓN (Nv. -3.00 – Nv. -4.00)					
# 4	1,2	1,2	0,34	0,34	99,66
# 10	8,4	9,6	2,40	2,74	97,26
# 40	59,6	69,2	17,01	19,75	80,25
# 100	94,1	163,3	26,86	46,62	53,38
# 200	73,9	237,2	21,10	67,71	32,29
FUENTE	113,1	350,3	32,29	100,00	0,00
TOTAL	350,3		100,00		

Fuente: Gabriel Real

La interpretación de los datos de la Tabla 20 para la Perforación 2, en la cual se determina en los metros perforados que más del 50% pasa el tamiz #4, y también se determina que en el tamiz #200 más de 50% de la muestra es retenida, interpretando estos resultados y por medio de la clasificación de la S.U.C.S, se tiene que el tipo de suelo obtenido es Arena.

Tabla 21: Ensayo Granulométrico del Suelo de la Perforación 3

PERFORACIÓN 3					
N. TAMIZ	RETENIDO (gr)	RETENIDO ACUM (gr)	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUM (%)	PASA (%)
PERFORACIÓN (Nv. -1.00 – Nv. -2.00)					
# 4	1,6	1,6	0,30	0,30	99,70
# 10	7,3	8,9	1,35	1,65	98,35
# 40	83,5	92,4	15,47	17,11	82,89
# 100	141,1	233,5	26,13	43,25	56,75
# 200	110,5	344	20,47	63,72	36,28
FUENTE	195,9	539,9	36,28	100,00	0,00
TOTAL	539,9		100,00		
PERFORACIÓN (Nv. -2.00 – Nv. -3.00)					
# 4	2,3	2,3	0,58	0,58	99,42
# 10	12,7	15	3,22	3,81	96,19
# 40	142,2	157,2	36,10	39,91	60,09
# 100	61,6	218,8	15,64	55,55	44,45
# 200	51,3	270,1	13,02	68,57	31,43
FUENTE	123,8	393,9	31,43	100,00	0,00
TOTAL	393,9		100,00		
PERFORACIÓN (Nv. -3.00 – Nv. -4.00)					
# 4	1	1	0,35	0,35	99,65
# 10	6,1	7,1	2,15	2,50	97,50
# 40	97,8	104,9	34,41	36,91	63,09
# 100	87,8	192,7	30,89	67,80	32,20
# 200	31	223,7	10,91	78,71	21,29
FUENTE	60,5	284,2	21,29	100,00	0,00
TOTAL	284,2		100,00		

Fuente: Gabriel Real

La interpretación de los datos de la Tabla 21 para la Perforación 3, en la cual se determina en los metros perforados que más del 50% pasa el tamiz #4, y también se determina que en el tamiz #200 más de 50% de la muestra es retenida, interpretando estos resultados y por medio de la clasificación de la S.U.C.S, se tiene que el tipo de suelo obtenido es Arena.

Tabla 22: Ensayo Granulométrico del Suelo de la Perforación 4

PERFORACIÓN 4					
N. TAMIZ	RETENIDO (gr)	RETENIDO ACUM (gr)	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUM (%)	PASA (%)
PERFORACIÓN (Nv. -1.00 – Nv. -2.00)					
# 4	2,4	2,4	0,74	0,74	99,26
# 10	3,8	6,2	1,17	1,91	98,09
# 40	39,3	45,5	12,11	14,02	85,98
# 100	83,3	128,8	25,67	39,69	60,31
# 200	65,8	194,6	20,28	59,97	40,03
FUENTE	129,9	324,5	40,03	100,00	0,00
TOTAL	324,5		100,00		
PERFORACIÓN (Nv. -2.00 – Nv. -3.00)					
# 4	0	0	0,00	0,00	100,00
# 10	1,5	1,5	0,62	0,62	99,38
# 40	38,2	39,7	15,83	16,45	83,55
# 100	43,3	83	17,94	34,40	65,60
# 200	44,9	127,9	18,61	53,00	47,00
FUENTE	113,4	241,3	47,00	100,00	0,00
TOTAL	241,3		100,00		

Fuente: Gabriel Real

La interpretación de los datos de la Tabla 22 para la Perforación 4, en la cual se determina en los metros perforados que más del 50% pasa el tamiz #4, y también se determina que en el tamiz #200 más de 50% de la muestra es retenida, interpretando estos resultados y por medio de la clasificación de la S.U.C.S, se tiene que el tipo de suelo obtenido es Arena.

Tabla 23: Ensayo Granulométrico del Suelo de la Perforación 5

PERFORACIÓN 5					
N. TAMIZ	RETENIDO (gr)	RETENIDO ACUM (gr)	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUM (%)	PASA (%)
PERFORACIÓN (Nv. -1.00 – Nv. -2.00)					
# 4	7,5	7,5	2,03	2,03	97,97
# 10	16,6	24,1	4,49	6,51	93,49
# 40	72,4	96,5	19,56	26,07	73,93
# 100	83,8	180,3	22,64	48,72	51,28
# 200	71,9	252,2	19,43	68,14	31,86
FUENTE	117,9	370,1	31,86	100,00	0,00
TOTAL	370,1		100,00		

PERFORACIÓN (Nv. -2.00 – Nv. -3.00)					
# 4	2,3	2,3	0,43	0,43	99,57
# 10	13	15,3	2,44	2,88	97,12
# 40	196,1	211,4	36,87	39,75	60,25
# 100	118,7	330,1	22,32	62,07	37,93
# 200	64,5	394,6	12,13	74,20	25,80
FUENTE	137,2	531,8	25,80	100,00	0,00
TOTAL	531,8		100,00		
PERFORACIÓN (Nv. -3.00 – Nv. -4.00)					
# 4	0,5	0,5	0,15	0,15	99,85
# 10	7,1	7,6	2,17	2,32	97,68
# 40	116,4	124	35,56	37,89	62,11
# 100	83,6	207,6	25,54	63,43	36,57
# 200	35,7	243,3	10,91	74,34	25,66
FUENTE	84	327,3	25,66	100,00	0,00
TOTAL	327,3		100,00		

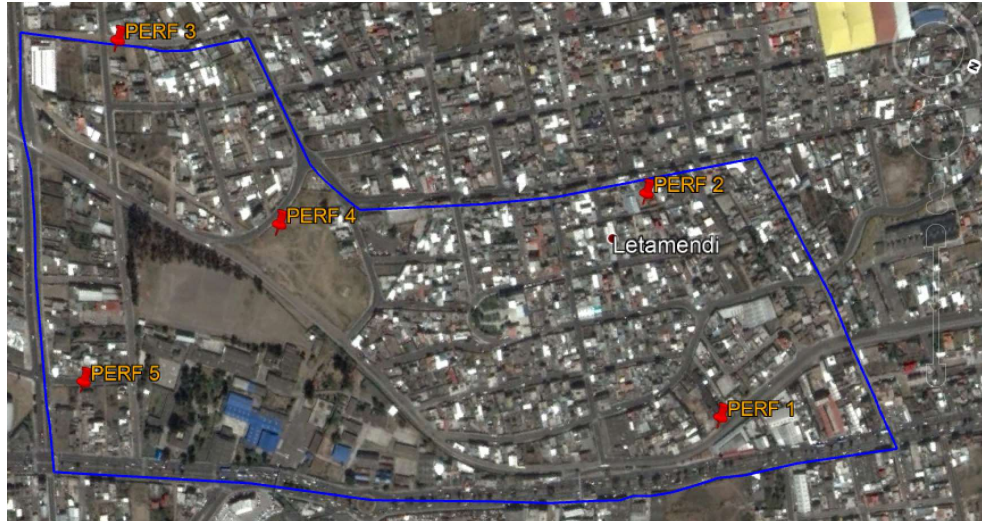
Fuente: Gabriel Real

La interpretación de los datos de la Tabla 23 para la Perforación 5, en la cual se determina en los metros perforados que más del 50% pasa el tamiz #4, y también se determina que en el tamiz #200 más de 50% de la muestra es retenida, interpretando estos resultados y por medio de la clasificación de la S.U.C.S, se tiene que el tipo de suelo obtenido es Arena.

4.1.3.1 Resultados de Ensayo de Penetración Estándar SPT en el sitio de análisis

Para este estudio se realizaron 5 perforaciones en los puntos indicados en la Figura 22, sitios en los cuales se realizó Ensayos de Penetración Estándar SPT, en la sección de Anexos se encuentra detallado de mejor manera un plano de la georreferenciación de las perforaciones en el sitio de estudio.

Figura 22: Ubicación de las perforaciones para los ensayos SPT, en el sector de la Letamendi



Fuente: Google Earth Pro.

A continuación se presentan las diferentes tablas para las cinco perforaciones realizadas, con sus respectivas coordenadas, ubicación y con los valores obtenidos por medio del Ensayo de Penetración Estándar, así como la clasificación S.U.C.S, en cada estrato perforado.

Tabla 24: Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y Descripción en Perforación 1

PERFORACIÓN 1 (Nv. 0.00 – Nv. -3.00)m			
UBICACIÓN	Av. Tres Carabelas, en la Línea Férrea		
COORDENADAS	X: 765166.00 m		
	Y: 9861329.00 m		
PROFUNDIDAD (m)	NSPT Parcial	NSPT Total	CLASIFICACIÓN (S.U.C.S)
-1,00	Limpieza	32	Arena
-1,70	15		
-1,85	14		
-2,00	18		
-2,70	36	80	Arena
-2,85	40		
-3,00	40		

Fuente: Gabriel Real

En la Tabla 24 se presenta las características encontradas del suelo por medio del ensayo SPT y también con la clasificación S.U.C.S para el suelo de la perforación 1, tomando en cuenta los resultados de la Tabla 19

Tabla 25: Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y Descripción en Perforación 2

PERFORACIÓN 2 (Nv. 0.00 – Nv. -4.00)m			
UBICACIÓN	Av. Inés Jiménez		
COORDENADAS	X: 764951.00 m		
	Y: 9861126.00 m		
PROFUNDIDAD (m)	NSPT Parcial	NSPT Total	CLASIFICACIÓN S.U.C.S
-1,00	Limpieza	31	Arena
-1,70	12		
-1,85	14		
-2,00	17		
-2,70	14	48	Arena
-2,85	24		
-3,00	24		
-3,70	33	87	Arena
-3,85	38		
-4,00	49		

Fuente: Gabriel Real

Tabla 26: Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y Descripción en Perforación 3

PERFORACIÓN 3 (Nv. 0.00 – Nv. -4.00)m			
UBICACIÓN	Av. Neptalí Sancho y Tres Carabelas		
COORDENADAS	X: 765041.00 m		
	Y: 9860461.00 m		
PROFUNDIDAD	NSPT Parcial	NSPT Total	CLASIFICACIÓN S.U.C.S
-1,00	Limpieza	28	Arena
-1,70	9		
-1,85	12		
-2,00	16		
-2,70	33	62	Arena
-2,85	32		
-3,00	30		
-3,70	33	82	Arena
-3,85	36		
-4,00	46		

Fuente: Gabriel Real

Tabla 27: Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y Descripción en Perforación 4

PERFORACIÓN 4 (Nv. 0.00 – Nv. -3.00)m			
UBICACIÓN	Av. Cacique Álvarez y Morales		
COORDENADAS	X: 765167.00 m		
	Y: 9860727.00 m		
PROFUNDIDAD	NSPT Parcial	NSPT Total	CLASIFICACIÓN S.U.C.S
-1,00	Limpieza	29	Arena
-1,70	12		
-1,85	15		
-2,00	14		
-2,70	27	81	Arena
-2,85	38		
-3,00	43		

Fuente: Gabriel Real

Tabla 28: Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y Descripción en Perforación 5

PERFORACIÓN 5 (Nv. 0.00 – Nv. -4.00)			
UBICACIÓN	Av. Neptalí Sancho y Tres Carabelas		
COORDENADAS	X: 765445.00 m		
	Y: 9860580.00 m		
PROFUNDIDAD	NSPT Parcial	NSPT Total	CLASIFICACIÓN S.U.C.S
-1,00	Limpieza	30	Arena
-1,70	13		
-1,85	12		
-2,00	18		
-2,70	24	56	Arena
-2,85	28		
-3,00	28		
-3,70	38	84	Arena
-3,85	38		
-4,00	46		

Fuente: Gabriel Real

Se determinó que para todas las perforaciones la clasificación S.U.C.S, describe al suelo como una Arena, siendo este tipo de suelo el obtenido en cada uno de los estratos para todas las perforaciones.

4.1.4 Cálculo de la Velocidad de Onda de Corte

Los cálculos de la velocidad de onda de corte para cada perforación se realizaron con las ecuaciones 2.30 y 2.31 para el cálculo de velocidad de onda de corte parcial y promedio respectivamente.

Los resultados de los cálculos se presentan a continuación:

Tabla 29: Vs30 para cada tipo de estrato y la clasificación por el tipo de perfil, Perforación 1

PERFORACIÓN 1 (Nv. 0.00 – Nv. -3.00)m				
UBICACIÓN	Av. Tres Carabelas, en la Línea Férrea			
COORDENADAS	X: 765166.00 m			
	Y: 9861329.00 m			
PROFUNDIDAD (m)	NSPT (Total)	Vs30 (m/s)	Tipo de Perfil	Vs30 Promedio (m/s)
-1,00	Nivel Mínimo de Cimentación			
-1,70	32	303,28	D	353,28
-1,85				
-2,00				
-2,70	80	422,31	C	
-2,85				
-3,00				

Fuente: Gabriel Real

La velocidad de onda de corte promedio para la Perforación 1 es **353,28 m/s** el cual da a entender que el perfil de suelo se comporta como un perfil tipo **D**.

Tabla 30: Vs30 para cada tipo de estrato y la clasificación por el tipo de perfil, Perforación 2

PERFORACIÓN 2 (Nv. 0.00 – Nv. -4.00)m	
UBICACIÓN	Av. Inés Jiménez
COORDENADAS	X: 764951.00 m
	Y: 9861126.00 m

PROFUNDIDAD (m)	NSPT (Total)	Vs30 (m/s)	Tipo de Perfil	Vs30 Promedio (m/s)
-1,00	Nivel Mínimo de Cimentación			
-1,70	31	300,20	D	354,00
-1,85				
-2,00				
-2,70	48	351,37	D	
-2,85				
-3,00				
-3,70	87	435,25	C	
-3,85				
-4,00				

Fuente: Gabriel Real

La velocidad de onda de corte promedio para la Perforación 2 es **354,00 m/s** el cual da a entender que el perfil de suelo se comporta como un perfil tipo **D**.

Tabla 31: Vs30 para cada tipo de estrato y la clasificación por el tipo de perfil, Perforación 3

PERFORACIÓN 3 (Nv. 0.00 – Nv. -4.00)m				
UBICACIÓN	Av. Neptalí Sancho y Tres Carabelas			
COORDENADAS	X: 765041.00 m			
	Y: 9860461.00 m			
PROFUNDIDAD (m)	NSPT Total	Vs30 (m/s)	Tipo de Perfil	Vs30 Promedio (m/s)
-1,00	Nivel Mínimo de Cimentación			
-1,70	28	289,40	D	357,23
-1,85				
-2,00				
-2,70	62	385,28	C	
-2,85				
-3,00				
-3,70	82	426,08	C	
-3,85				
-4,00				

Fuente: Gabriel Real

La velocidad de onda de corte promedio para la Perforación 3 es **357,23m/s** el cual da a entender que el perfil de suelo se comporta como un perfil tipo **D**.

Tabla 32: Vs30 para cada tipo de estrato y la clasificación por el tipo de perfil, Perforación 4

PERFORACIÓN 4 (Nv. 0.00 – Nv. -3.00)m				
UBICACIÓN	Av. Cacique Álvarez y Morales			
COORDENADAS	X: 765167.00 m			
	Y: 9860727.00 m			
PROFUNDIDAD (m)	NSPT Total	Vs30 (m/s)	Tipo de Perfil	Vs30 Promedio (m/s)
-1,00	Nivel Mínimo de Cimentación			
-1,70	29	293,08	D	346,65
-1,85				
-2,00				
-2,70	81	424,20	C	
-2,85				
-3,00				

Fuente: Gabriel Real

La velocidad de onda de corte promedio para la Perforación 4 es **346,65 m/s** el cual da a entender que el perfil de suelo se comporta como un perfil tipo **D**.

Tabla 33: Vs30 para cada tipo de estrato y la clasificación por el tipo de perfil, Perforación 5

PERFORACIÓN 5 (Nv. 0.00 – Nv. -4.00)				
UBICACIÓN	Av. Neptalí Sancho y Tres Carabelas			
COORDENADAS	X: 765445.00 m			
	Y: 9860580.00 m			
PROFUNDIDAD (m)	NSPT Total	Vs30 (m/s)	Tipo de Perfil	Vs30 Promedio (m/s)
-1,00	Nivel Mínimo de Cimentación			
-1,70	30	296,67	D	357,58
-1,85				
-2,00				
-2,70	56	371,42	C	
-2,85				
-3,00				

-2,85				
-3,00				
-3,70				
-3,85	84	429,79	C	
-4,00				

Fuente: Gabriel Real

La velocidad de onda de corte promedio para la Perforación 5 es **357,58 m/s** el cual da a entender que el perfil de suelo se comporta como un perfil tipo **D**.

Los valores de Vs30 calculados con la ecuación 2.30 se especifican en las Tablas 29 – 33 para cada estrato de suelo encontrado, tomando en cuenta el criterio en base a la NEC-SE-DS 2015 para clasificar los perfiles de suelo con los parámetros de NSPT y velocidad de onda de corte para cada uno de los suelos, se determina que los perfiles en el sitio de estudio se encuentran en el rango de clasificación $180\text{m/s} \leq \text{Vs30} < 360\text{m/s}$ y $15 \leq \text{NSPT} < 50$ para perfil tipo D y $360\text{m/s} \leq \text{Vs30} < 760\text{m/s}$ y $\text{NSPT} > 50$ para clasificar al suelo como tipo C, consecuentemente se calcula una velocidad de onda de corte promedio con la ecuación 2.31 para cada perforación en base al número de estratos.

A continuación en la Tabla 34 se determina el Vs30 Promedio para el proyecto, en donde se toma los valores de Vs30 Promedio de cada perforación y se realiza un promedio total.

Tabla 34: Valor de Vs30 Promedio

N.- Perforación	1	2	3	4	5
Vs30 Promedio (m/s)	353,28	354,00	357,23	346,65	357,58
Tipo de Perfil de Suelo	D	D	D	D	D
Vs30 Promedio Proyecto	353,75 m/s				

Fuente: Gabriel Real

En la tabla anterior se ha determinado el valor Vs30 Promedio para el proyecto el cual es de 353,75m/s, valor que está en el rango de $180\text{m/s} \leq \text{Vs30} < 360\text{m/s}$, dándole un comportamiento como un perfil tipo D, especificado en la Tabla 7.

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.2.1 Magnitud de Momento de las Fallas

4.2.1.1 Cálculo de Magnitud de Momento para Fallas Corticales

La Magnitud de las Fallas está dada en función a la longitud (SRL) de la misma, según la ecuación de Wells & Coppersmith se determina la Magnitud (M_w) probable que se podría generar para las fallas superficiales.

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

Donde:

M_w : Magnitud de momento en función a la longitud de ruptura SRL

a, b : Coeficientes. (Tabla 1)

SRL : Longitud de Falla en km. (Tabla 18)

El cálculo de cada una de las magnitudes de momento con los coeficientes de Wells y Coppersmith para las fallas corticales: Ambato, Huachi, Totoras y Samanga son presentadas a continuación:

Para Falla Ambato:

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

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

$$M_w = 6,5$$

Para Falla Huachi:

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

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

$$M_w = 6,3$$

Para Falla Totoras:

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

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

$$Mw = 6,5$$

Para Falla Samanga:

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

$$Mw = 5 + 1,22 * \log(33,0km)$$

$$Mw = 6,9$$

4.2.1.2 Cálculo de Magnitud de Momento para Fallas de Subducción Intraplaca

La Magnitud de Momento de las Fallas está dada en función a la longitud (L) de la misma, según la ecuación de Strasser, Arango y Bommer se determina la Magnitud (Mw) probable que se podría generar para la falla de subducción:

$$Mw = a + b * \log(L)$$

Donde:

Mw: Magnitud de momento en función a la longitud de ruptura L

a, b: Coeficientes. (Tabla 3)

L: Longitud de Falla en km. (Tabla 18)

El cálculo de la magnitud de momento con los coeficientes de Strasser, Arango y Bommer para la falla de subducción intraplaca presentada a continuación:

$$Mw = a + b * \log(L)$$

$$Mw = 4,725 + 1,445 * \log(1536,5km)$$

$$Mw = 9,3$$

Tabla 35: Magnitud de Momento (Mw) para cada Falla Seleccionada

Código	Nombre	Tipo de falla	Magnitud de Momento (Mw)
EC-345	Totoras	Transcurrente Inversa Ciega	6,5
EC-344 a	Ambato	Inversa Ciega	6,5
EC-344 b	Huachi	Inversa Ciega	6,3
EC-54	Samanga	Inversa Ciega	6,9
EC-223	Subducción	Inversa	9,3

Fuente: Gabriel Real

4.2.2 Espectros en Aceleración Generados

Previamente con la identificación de las fallas, la determinación de los parámetros geotécnicos, la determinación de la velocidad de onda de corte, el cálculo de la magnitud de momento probable para cada falla, la determinación de la distancia fuente-sitio y el análisis de cada ecuación de atenuación, se obtienen los espectros en aceleración generados para cada una de las fallas identificadas en este estudio.

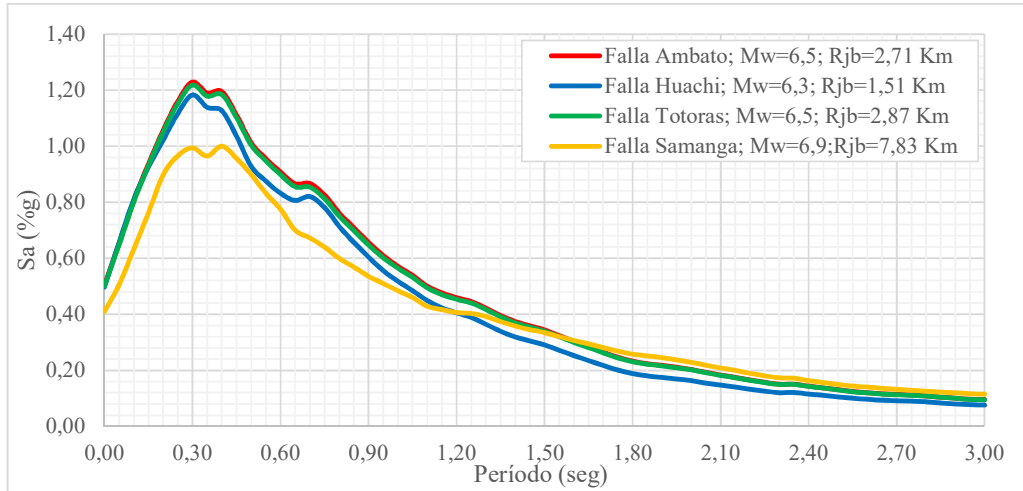
Para generar todos los espectros se utilizó la velocidad de onda cortante promedio calculada previamente para la sitio de estudio ($V_{s30}=353,75$ m/s).

4.2.2.1 Espectros en Aceleración Generados para Fallas Corticales

Los Espectros Generados con las ecuaciones de Sinan Akkar & Julian Bommer 2010, David M. Boore & Gail M. Atkinson 2008, Tatsou Kanno 2006 para fallas corticales, se presentan a continuación:

4.2.2.1.1 Espectros en Aceleración Generados con la Ecuación de Sinan Akkar & Julian Bommer (2010)

Figura 23: Espectros en Aceleración Generados con la Ecuación de Sinan Akkar & Julian Bommer 2010



Fuente: Gabriel Real

En la Figura 23 se muestra una similitud con los espectros en aceleración generados por las fallas Ambato y Totoras ya que presentan una semejanza en cuanto al valor de distancia fuente-sitio R_{jb} y a la magnitud de momento, siendo el espectro para la Falla Ambato el máximo que se genera para la ecuación de Sinan Akkar & Julian Bommer 2010 consecuentemente se presenta el espectro de la Falla Samanga como el menor en relación a los demás debido a su valor de distancia R_{jb} .

La Falla Ambato presenta una superioridad en cuanto a valores de aceleración S_a (%g) en relación a los demás espectros de las diferentes fallas entre los intervalos 0,0 seg a 1,55 seg, debido a que esta presenta una menor distancia fuente-sitio R_{jb} en relación también con la magnitud, con un PGA de 0,505g así como un valor máximo de S_a (%g) de 1,229g para un período de 0,3 seg.

En la Tabla 36 se especifica los valores y porcentajes de aceleración para cada Falla en relación al valor máximo de aceleración para los periodos indicados para la ecuación Akkar & Bommer 2010.

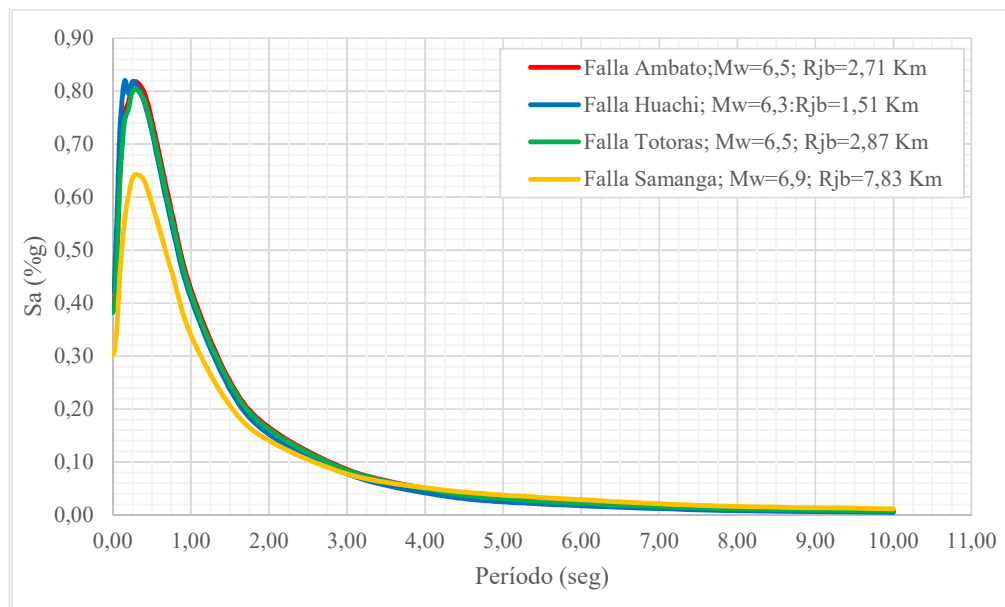
Tabla 36: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados para Fallas Seleccionadas para la Ecuación de Akkar & Bommer 2010

Fallas Corticales	PGA	PGA (%)	Sa (%g) (Max.)	Sa (%g) %(Max.)
	T=0,0 seg.		T=0,30 seg.	
Falla Huachi	0,497	98,42%	1,183	96,26%
Falla Ambato	0,505	100,00%	1,229	100,00%
Falla Totoras	0,502	99,41%	1,218	99,10%
Falla Samanga	0,410	81,19%	0,994	80,88%

Fuente: Gabriel Real

4.2.2.1.2 Espectros en Aceleración Generados con la Ecuación de David M. Boore & Gail M. Atkinson (2008).

Figura 24: Espectros en Aceleración Generados con la Ecuación David M. Boore & Gail M. Atkinson 2008



Fuente: Gabriel Real

En la Figura 24 se presenta una similitud en los espectros en aceleración generados por las Fallas Ambato, Huachi y Totoras en donde la Falla de Huachi es relativamente

mayor en un intervalos de 0,0 seg a 0,25 seg donde se presenta un valor de PGA de 0,422g y un valor de aceleración máximo de 0,819g para un período de 0,15 seg.

En la Tabla 37 se especifica los valores y porcentajes de aceleración para cada Falla en relación al valor máximo de aceleración para los periodos indicados para la ecuación de Boore & Atkinson 2008.

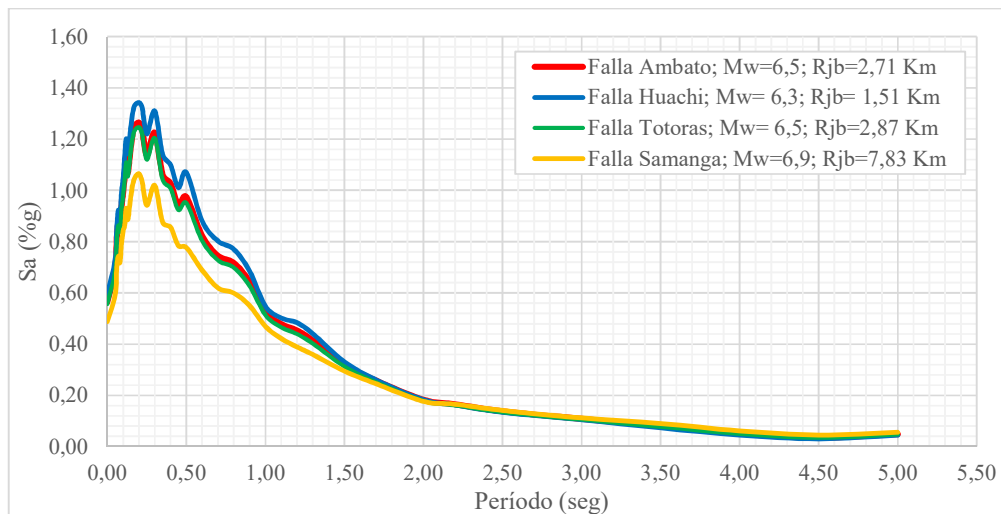
Tabla 37: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados para Fallas Seleccionadas para la Ecuación de Boore & Atkinson 2008

Fallas Corticales	PGA	PGA (%)	T(seg)	Sa (%g)	Sa (%g)
	T=0,0 seg.			(Máx.)	%(Máx.)
Falla Huachi	0,422	100%	0,15	0,819	100%
Falla Ambato	0,389	92,18%	0,30	0,818	99,98%
Falla Totoras	0,382	90,46%	0,30	0,803	98,05%
Falla Samanga	0,302	71,61%	0,30	0,640	78,14%

Fuente: Gabriel Real

4.2.2.1.3 Espectros en Aceleración Generado con la Ecuación de Tatsou Kanno (2006)

Figura 25: Espectros en Aceleración Generados con la Ecuación de Tatsou Kanno 2006



Fuente: Gabriel Real

En la Figura 25 se presenta los espectros en aceleraciones generados para las diferentes fallas seleccionadas para la ecuación de Kanno 2006, donde el espectro para la falla de Huachi presenta una superioridad en relación a los demás espectros en un intervalo de 0,0 seg a 2,0 seg en donde en el último valor de período se presenta un comportamiento similar para de todas las fallas. Con un valor máximo de PGA de 0,592g para un período de T=0,0 seg, también se presenta para un periodo de T=0,30 seg un valor máximo Sa (%g) de 1,343g.

En la Tabla 38 se especifica los valores y porcentajes de aceleración para cada Falla en relación al valor máximo de aceleración de los periodos indicados para la ecuación de Kanno 2006.

Tabla 38: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados para Fallas Seleccionadas para la Ecuación de Kanno 2006.

Fallas Corticales	PGA	PGA (%)	Sa (%g) (Máx.)	Sa (%g) %(Máx.)
	T=0,0 seg.		T=0,20 seg.	
Falla Huachi	0,592	100%	1,343	100%
Falla Ambato	0,564	95,27%	1,265	94,19%
Falla Totoras	0,557	94,09%	1,247	92,85%
Falla Samanga	0,488	82,43%	1,065	79,30%

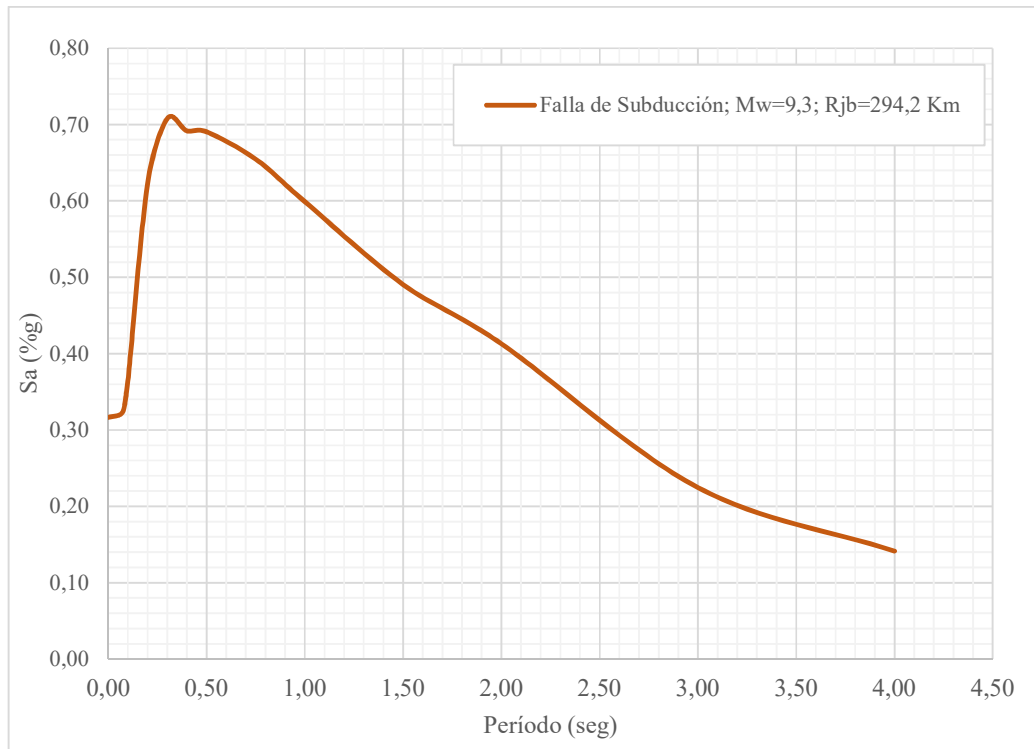
Fuente: Gabriel Real

4.2.2.2 Espectros en Aceleración Generados para la Falla de Subducción

Los Espectros en aceleraciones generados por las ecuaciones de Youngs & Chiou 1997 y Jhon X. Zhao 2006 para la falla de subducción, se presentan a continuación:

4.2.2.2.1 Espectro en Aceleración Generados con la Ecuación de Youngs & Chiou (1997)

Figura 26: Espectro en Aceleración Generados con la Ecuación de Youngs & Chiou 1997



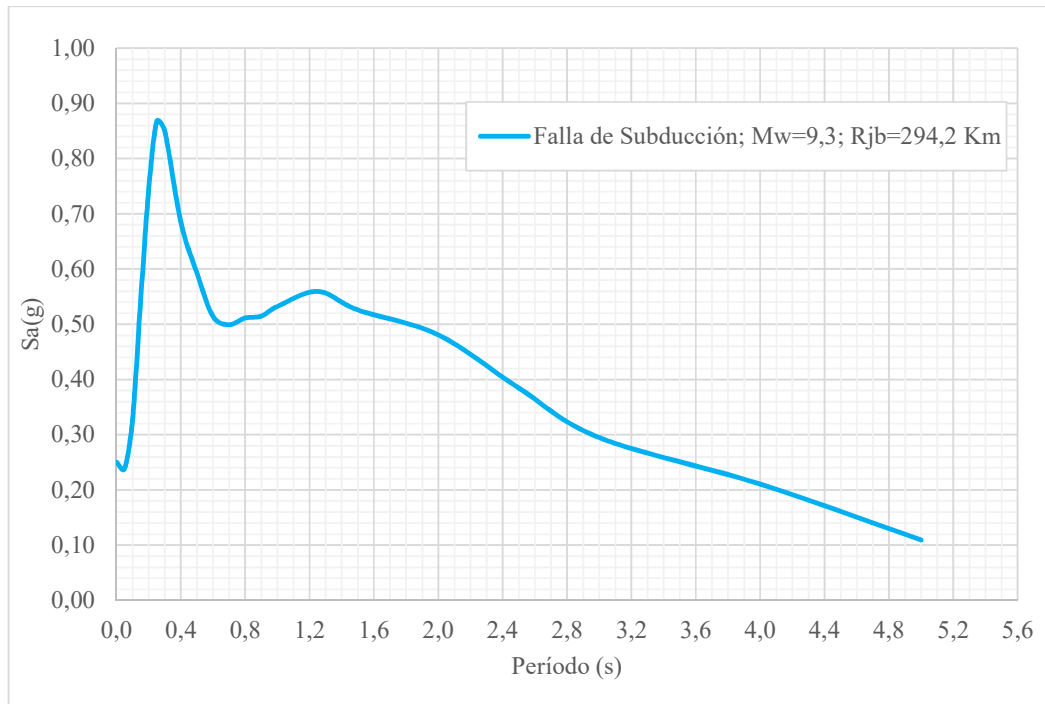
Fuente: Gabriel Real

En la Figura 26 se presenta el espectro en aceleración generado para la ecuación de Youngs 1997, donde los valores de S_a (%g) disminuyen de manera progresiva conforme el período aumenta, en relación con los espectros en aceleración generados para las fallas corticales los cuales disminuyen de manera brusca los valores de aceleración al extender el período.

Con la ecuación de Youngs 1997 se presenta un valor de PGA de 0,220g para un período de $T=0,0$ seg, también se presenta un valor máximo de aceleración S_a (%g) de 0,492g para un período de $T=0,30$ seg.

4.2.2.2 Espectro en Aceleraciones Generado con la Ecuación de Jhon X. Zhao (2006)

Figura 27: Espectro en Aceleraciones Generado con la Ecuación de Jhon X. Zhao (2006)



Fuente: Gabriel Real

En la Figura 27 se presenta el espectro en aceleraciones generado para la ecuación de Zhao 2006, donde los valores de $S_a(\%)$ disminuyen de manera progresiva conforme el período aumenta al igual que se presenta en la ecuación de Youngs 1997, en relación con los espectros en aceleración generados para las fallas corticales los cuales disminuyen de manera brusca los valores de aceleración al extender el período.

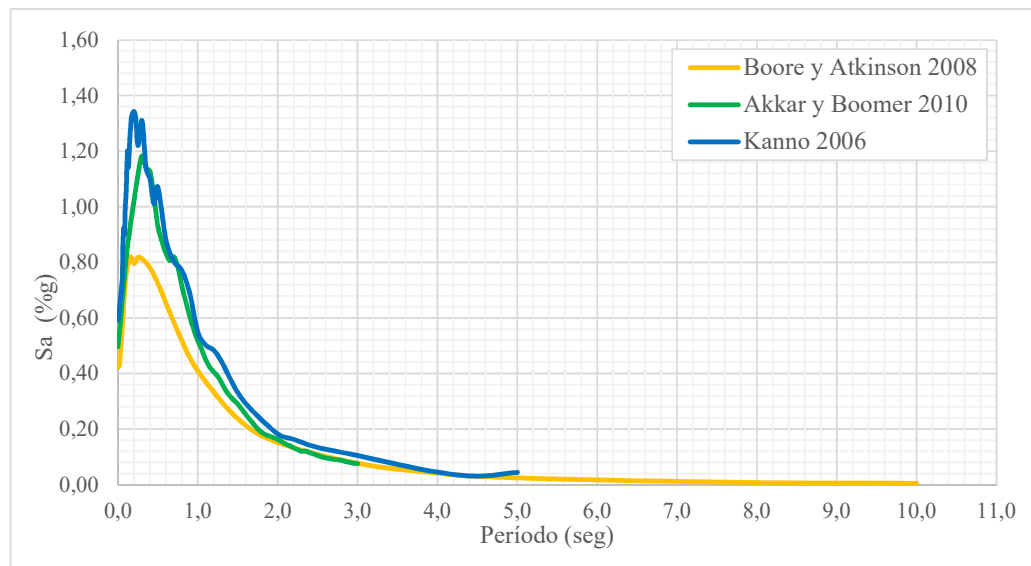
Con la ecuación de Zhao 2006 se presenta un valor de PGA de 0,250g para un período de $T=0,0$ seg, también se presenta un valor máximo de aceleración $S_a(\%)$ de 0,867g para un período de $T=0,25$ seg.

4.2.3 Espectros en Aceleración Generados de una Falla para las Diferentes Ecuaciones de Atenuación.

En base a los espectros generados en base a las ecuaciones (Akkar & Bommer, Atkinson & Boore, Kanno) para fallas corticales y las ecuaciones de (Youngs, Zhao y Kanno) para la falla de subducción, se procede a graficar los espectros para cada Falla (Ambato, Huachi, Totoras, Samanga y Subducción).

4.2.3.1 Espectros en Aceleración Generados para la Falla de Huachi.

Figura 28: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010 y Kanno 2006 para la Falla Huachi



Fuente: Gabriel Real

En la Figura 28 se muestra los espectros en aceleración generados para la Falla Huachi con las ecuaciones para eventos superficiales, donde el espectro con la ecuación de Kanno 2006 presenta una superioridad en relación a los demás espectros.

En la siguiente tabla se especifica los valores y porcentajes para PGA y valores de aceleración en los intervalos indicados para la Falla Huachi.

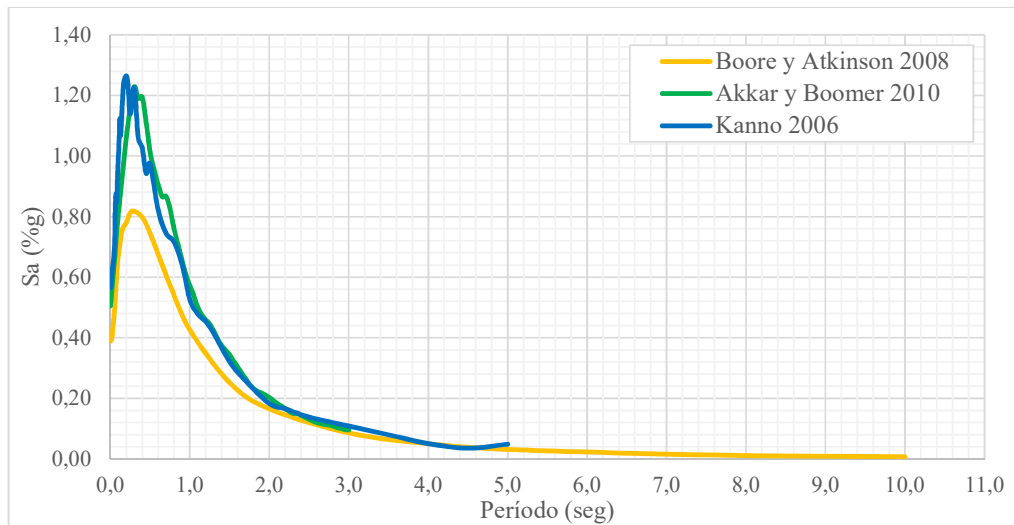
Tabla 39: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Huachi

Ecuación de Atenuación	PGA	PGA (%)	T(seg)	Sa (%g) (Max.)	Sa (%g) %(Max.)
	T=0,0 seg.				
Boore & Atkinson 2008	0,422	71,28%	0,15	0,819	60,98%
Akkar & Bommer 2010	0,497	83,95%	0,30	1,183	88,09%
Kanno 2006	0,592	100%	0,20	1,343	100%

Fuente: Gabriel Real

4.2.3.2 Espectros en Aceleración Generados para la Falla Ambato.

Figura 29: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010 y Kanno 2006 para la Falla Ambato



Fuente: Gabriel Real

En la Figura 29 se muestra los espectros en aceleración generados para la Falla Ambato con las ecuaciones para eventos superficiales, donde el espectro con la ecuación de Kanno 2006 al igual que para la Falla de Huachi presenta una superioridad en relación

a los demás espectros, presentándose un valor de PGA igual a 0,564g y un valor máximo de aceleración de 1,265g para un período de 0,20 seg.

En la Tabla 40 se especifica los valores y porcentajes para PGA y valores de aceleración en los intervalos indicados para la Falla Ambato.

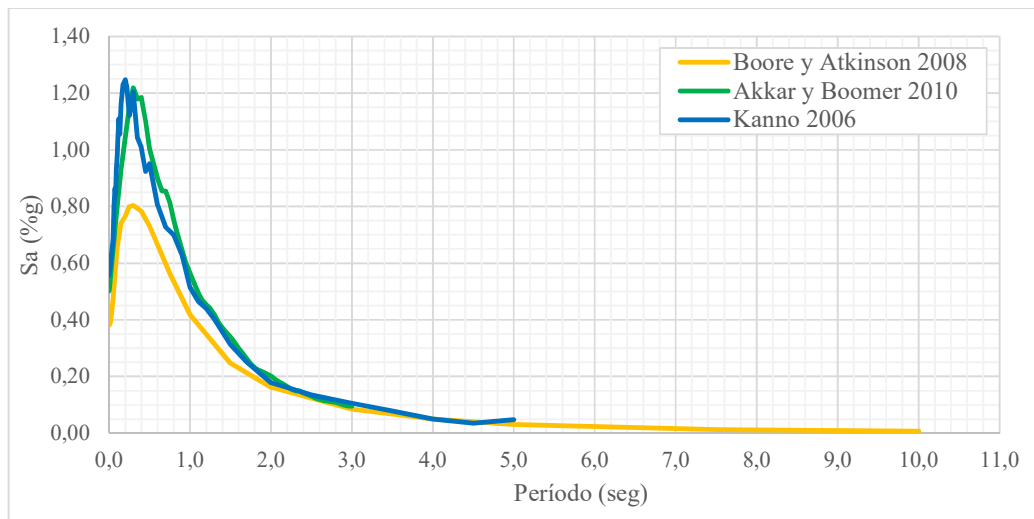
Tabla 40: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Ambato

Ecuación de Atenuación	PGA	PGA (%)	T(seg)	Sa (%g)	Sa (%g)
	T=0,0 seg.			%(Max.)	%(Max.)
Boore & Atkinson 2008	0,389	68,97%	0,30	0,818	64,66%
Akkar & Bommer 2010	0,505	89,54%	0,30	1,229	97,15%
Kanno 2006	0,564	100%	0,20	1,265	100%

Fuente: Gabriel Real

4.2.3.3 Espectros en Aceleración Generados para la Falla Totoras.

Figura 30: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010 y Kanno 2006 para la Falla Totoras



Fuente: Gabriel Real

En la Figura 30 se muestra los espectros para la Falla Totoras en el cual el espectro de aceleraciones generado con la ecuación de Kanno 2006 al igual que para la Falla de Huachi y Ambato presenta una superioridad en relación a los demás espectros, presentándose un valor de PGA igual a 0,557g y un valor máximo de aceleración de 1,247g para un período de 0,20 seg.

En la Tabla 41 se especifica los valores y porcentajes para PGA y valores de aceleración en los intervalos indicados para la Falla Totoras.

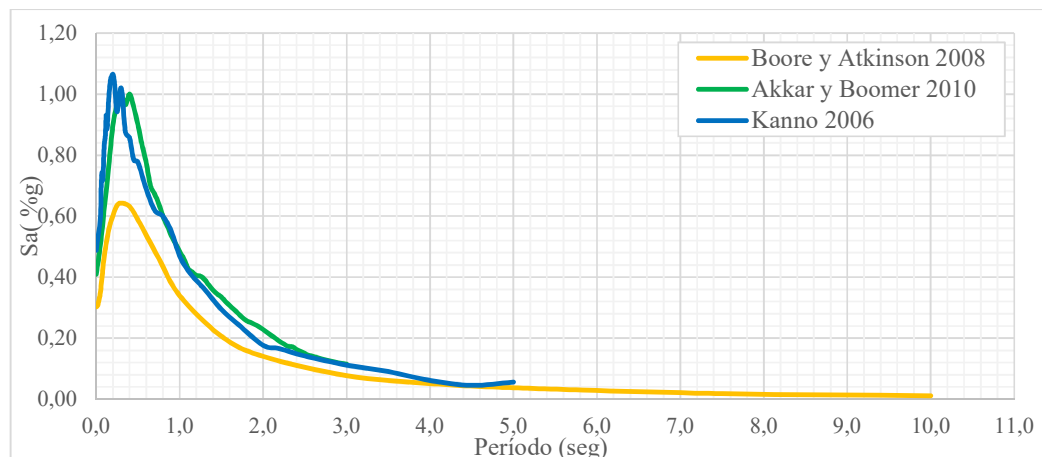
Tabla 41: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Totoras

Ecuación de Atenuación	PGA	PGA (%)	T(seg)	Sa (%g)	Sa (%g)
	T=0,0 seg.			%(Max.)	%(Max.)
Boore & Atkinson 2008	0,382	68,58%	0,30	0,804	64,47%
Akkar & Bommer 2010	0,502	90,12%	0,30	1,218	97,67%
Kanno 2006	0,557	100%	0,20	1,247	100%

Fuente: Gabriel Real

4.2.3.4 Espectros en Aceleración Generados para la Falla Samanga.

Figura 31: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010 y Kanno 2006 para la Falla Samanga



Fuente: Gabriel Real

En la Figura 31 se presenta los espectros para la Falla Samanga en el cual el espectro de aceleraciones generado con la ecuación de Kanno 2006 al igual que para la Falla de Huachi, Ambato y Totoras presenta una superioridad en relación a los demás espectros, presentándose un valor de PGA igual a 0,488g y un valor máximo de aceleración de 1,065g para un período de 0,20 seg.

En la Tabla 42 se especifica los valores y porcentajes para PGA y valores de aceleración en los intervalos indicados para la Falla Samanga.

Tabla 42: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Samanga

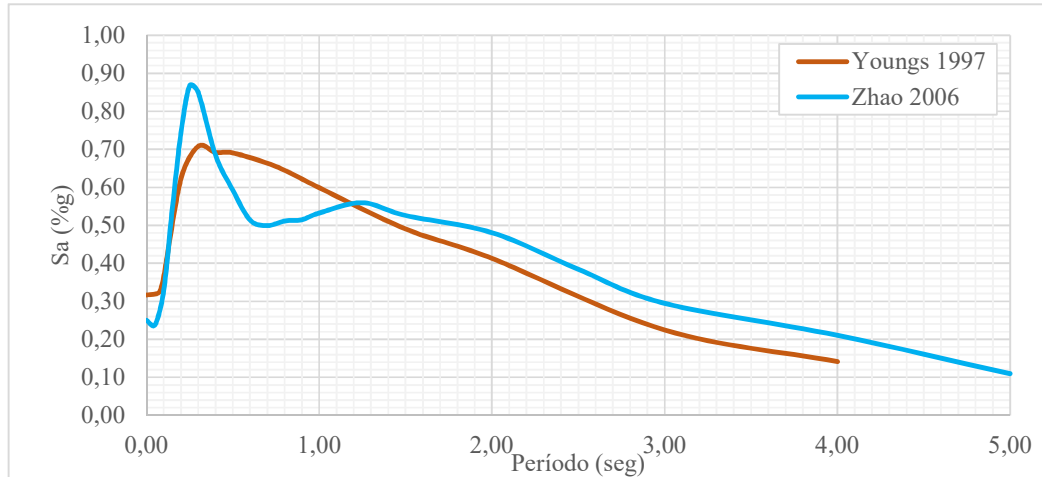
Ecuación de Atenuación	PGA	PGA (%)	T (seg.)	Sa (%g)	Sa (%g)
	T=0,0 seg.			%(Max.)	%(Max.)
Boore & Atkinson 2008	0,302	61,89%	0,30	0,643	60,38%
Akkar & Bommer 2010	0,410	84,16%	0,40	1,000	93,90%
Kanno 2006	0,488	100%	0,20	1,065	100%

Fuente: Gabriel Real

Para cada una de las Fallas Corticales, el espectro con valores de aceleración mayores es el presentado por la ecuación de Kanno 2006, los valores de PGA y valores de aceleración para un período de 0,20 seg son los valores máximos calculados con este ecuación para cada falla.

4.2.3.5 Espectros en Aceleración Generados para la Falla de Subducción Intraplaca.

Figura 32: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Youngs 1997, Zhao 2006 para la Falla de Subducción



Fuente: Gabriel Real

Los espectros de aceleración generados con las ecuaciones de Zhao 2006 y Youngs 1997, los cuales se presentan en la Figura 32 para la Falla de Subducción, en donde se muestra una superioridad de los espectros generados con la ecuación de Zhao para períodos cortos con un valor de aceleración de 0,867g para un período de 0,25 seg y períodos largos en relación a los espectros generados con la ecuación de Youngs para el intervalo de periodo 1,20seg a 5 seg, se indica también una superioridad de la ecuación de Youngs en cuanto al valor de PGA calculado de 0,316g en relación al modelo de Zhao que presenta un PGA de 0,25g.

Tabla 43: Valores Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla de Subducción

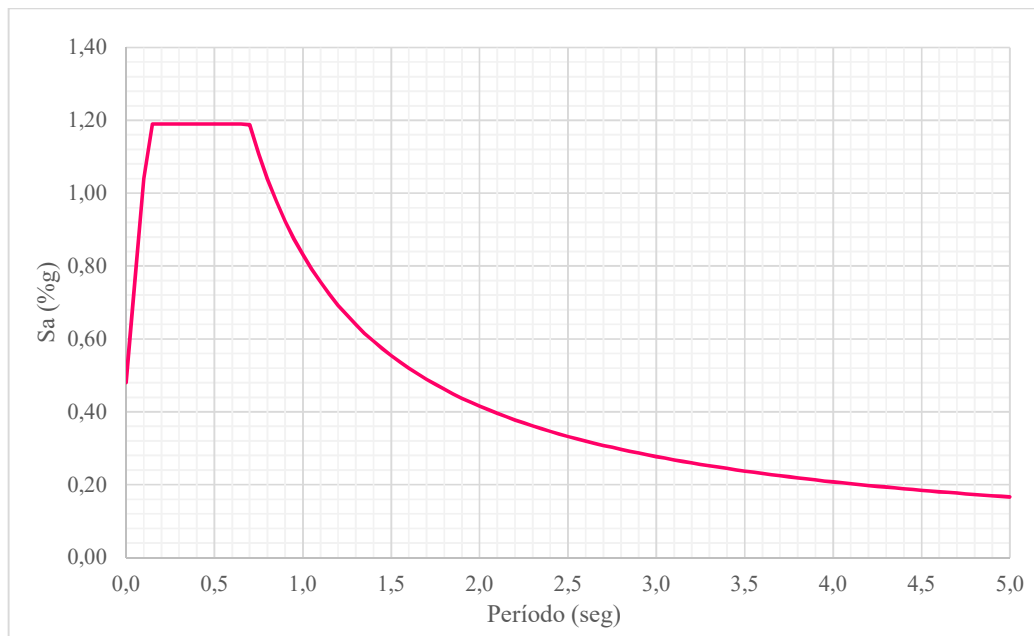
Ecuación de Atenuación	PGA	T(seg)	Sa (%g) (Max.)
	T=0,0 seg.		
Youngs 1997	0,316	0,30	0,708
Zhao 2006	0,250	0,25	0,867

Fuente: Gabriel Real

4.2.4 Espectro en Aceleraciones NEC 2015.

El espectro de la NEC 2015 como se presenta en la Figura 33, es generado por factores de carga sísmica dependiendo la zona sísmica en donde se encuentre el sitio, el tipo de suelo en este caso para suelo tipo D determinado previamente en esta investigación (Fa, Fd y Fs), la importancia de la estructura (I), respuesta estructural (R), amplificación espectral (η) y un Factor dependiente del tipo de suelo (r). [4]

Figura 33: Espectro Elástico NEC 2015

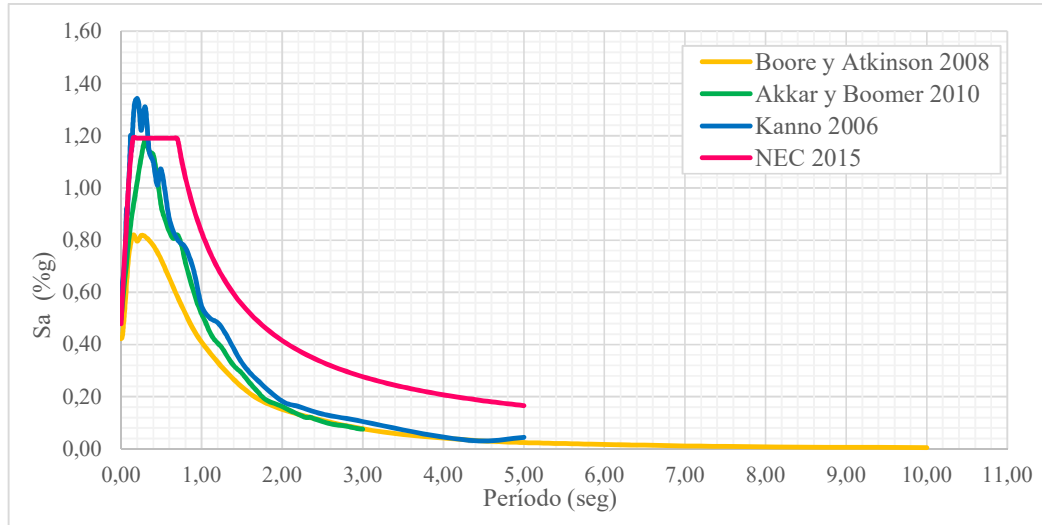


Fuente: NEC-SE-DS 2015

4.2.5 Relación entre los Espectros en Aceleración Generados vs Espectro NEC 2015 para cada Falla.

Los espectros en aceleración generados con todas las ecuaciones de atenuación seleccionadas para las diferentes Fallas corticales y de subducción se compararán con el espectro de aceleraciones de la NEC 2015.

Figura 34: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010, Kanno 2006 y NEC 2015, para la Falla Huachi.



Fuente: Gabriel Real

En la Figura 34 se muestra los espectros para la Falla Huachi y la comparación con el espectro de la NEC 2015, se muestra que el espectro en aceleración generado con la ecuación de Kanno 2006 da un valor de aceleración pico de 1,343g para un período de 0,20 seg valor mayor en relación al valor de aceleración de la meseta del espectro NEC 2015 de 1,1904g para períodos cortos.

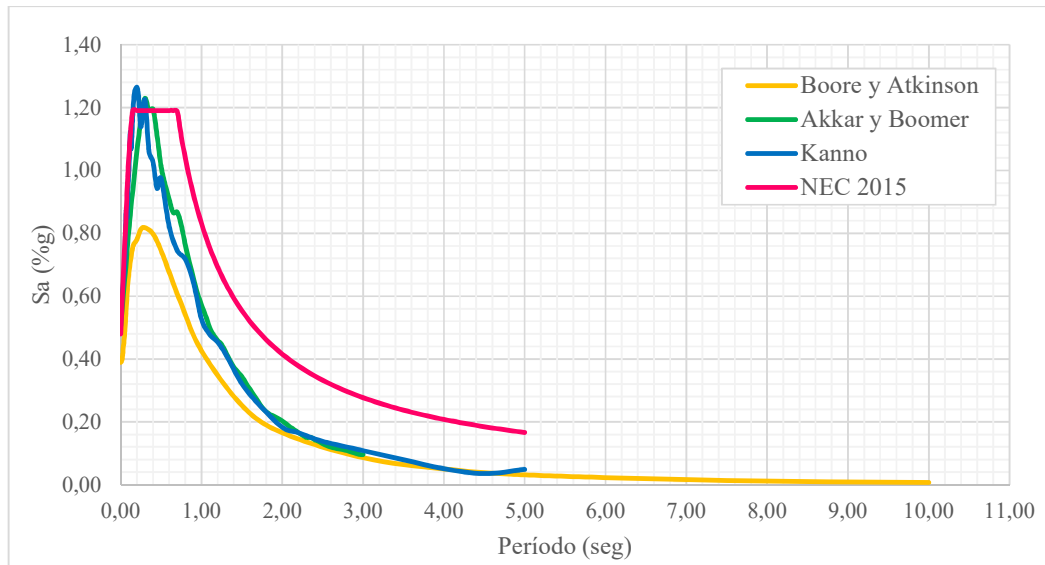
Tabla 44: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Huachi

Espectro	PGA	PGA (%)	T(seg)	Sa (%g) (Max.)	Sa (%g) %(Max.)
	T=0,0 seg.				
Boore & Atkinson 2008	0,422	87,92%	0,15	0,819	68,80%
Akkar & Bommer 2010	0,497	103,54%	0,30	1,183	99,08%
Kanno 2006	0,592	123,33%	0,20	1,343	112,82%
NEC 2015	0,480	100%	0,20-0,65	1,1904	100%

Fuente: Gabriel Real

El espectro de la NEC 2015 se presenta como el 100% para relacionar las aceleraciones de los distintos modelos para la Falla Huachi en la Tabla 44 se muestra que el espectro en aceleraciones generado con la ecuación de Kanno 2006 presenta una excedencia del 12,82% en relación al valor de aceleración de la NEC 2015 de 1,1905g también se presentan valores de PGA igual a 0,592g que exceden en un 23,33% al valor de aceleración de 0,48g dado por la norma para suelo tipo D.

Figura 35: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010, Kanno 2006 y NEC 2015 para Falla Ambato



Fuente: Gabriel Real

En la Figura 35 se muestra los espectros en aceleración generados para la Falla Ambato y la comparación con el espectro de la NEC 2015, se muestra que el espectro generado con la ecuación de Kanno 2006 excede los valores de aceleración del espectro de la normativa al igual que el espectro generado con la misma ecuación para la Falla Huachi.

En la figura anterior se muestra un valor de aceleración pico de 1,265g para un período de 0,20 seg valor mayor en relación al valor de aceleración de la meseta del espectro NEC 2015 de 1,1904g para períodos cortos.

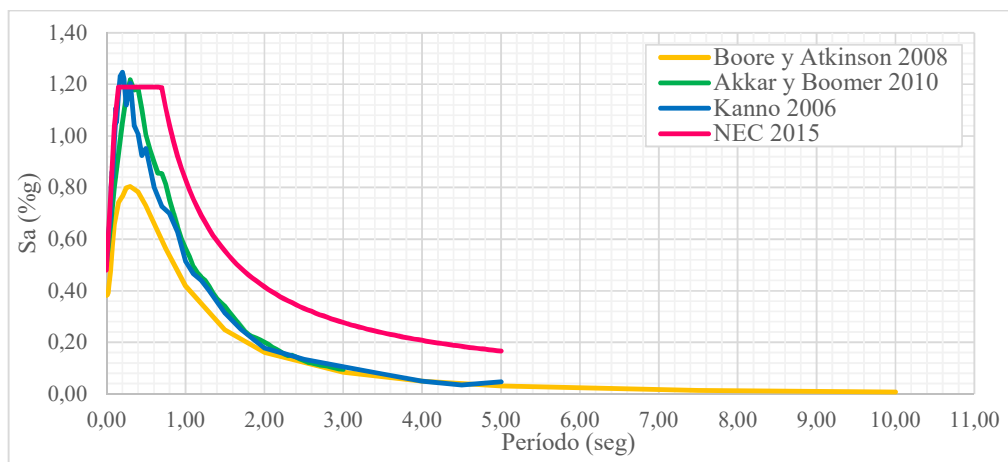
Tabla 45: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Ambato

Espectro	PGA	PGA (%)	T(seg)	Sa (%g)	Sa (%g)
	T=0,0 seg.			(Max.)	%(Max.)
Boore & Atkinson 2008	0,389	81,04%	0,30	0,818	68,72%
Akkar & Bommer 2010	0,505	105,21%	0,30	1,229	103,24%
Kanno 2006	0,564	117,5%	0,20	1,265	106,27%
NEC 2015	0,480	100%	0,20-0,65	1,1904	100%

Fuente: Gabriel Real

La relación que se da entre los valores generados con la norma y los valores de aceleraciones calculados para los distintos modelos para la Falla Ambato, en donde la el espectro en aceleración generado por la ecuación de Kanno 2006 presenta una excedencia del 6,27% en relación al valor de aceleración de la NEC 2015 de 1,1905g como se especifica en la Tabla 45 también se presenta valores de PGA igual a 0,564g valor que sobrepasa a 0,48g valor dado por la NEC 2015 para suelo tipo D.

Figura 36: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010, Kanno 2006 y NEC 2015 para Falla Totoras.



Fuente: Gabriel Real

En la Figura 36 se especifica los espectros en aceleración generados con las diferentes ecuaciones de atenuación para la Falla Totoras y la comparación con el espectro de la NEC 2015, se muestra que el espectro en aceleraciones generado con la ecuación de Kanno 2006 para la Falla Totoras sobrepasa los valores del Espectro de la Normativa de manera similar se presenta una excedencia de los valores de aceleraciones en comparación con el Espectro de la Norma para la Falla Huachi y Ambato como se indica en las Tablas 34 y Tabla 35.

En la figura anterior se muestra un valor de aceleración pico de 1,265g para un período de 0,20 seg para la ecuación de Kanno, valor mayor en relación al valor de aceleración de la meseta del espectro NEC 2015 de 1,1904g para períodos cortos.

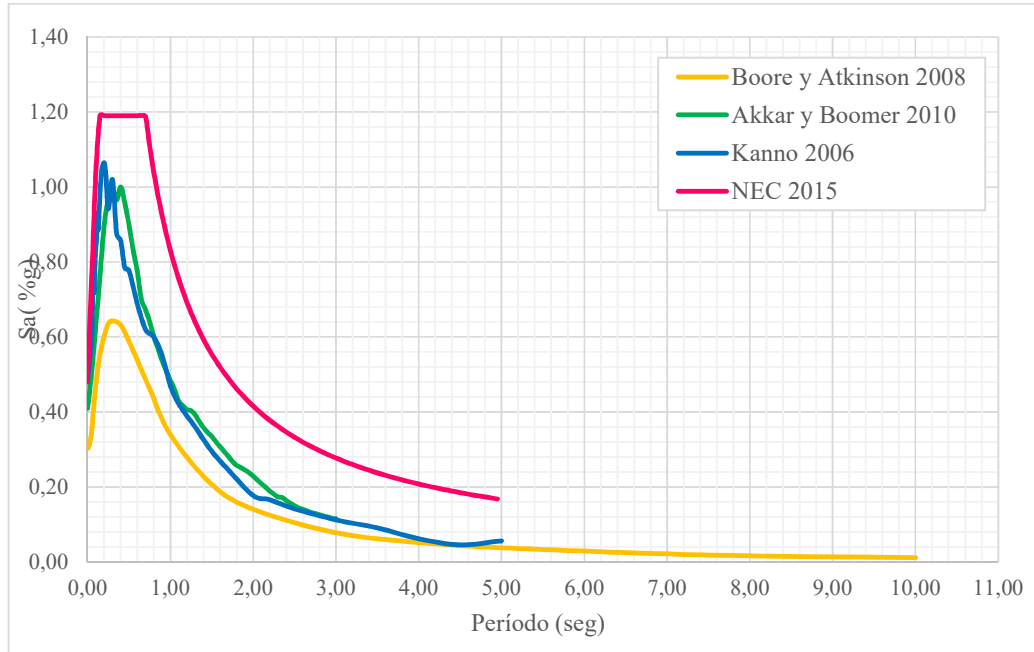
Tabla 46: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Totoras

Espectro	PGA	PGA (%)	T(seg)	Sa (%g)	Sa (%g)
	T=0,0 seg.			(Max.)	%(Max.)
Boore & Atkinson 2008	0,382	79,58%	0,30	0,804	67,54%
Akkar & Bommer 2010	0,502	104,58%	0,30	1,218	102,32%
Kanno 2006	0,557	116,04%	0,20	1,247	104,75%
NEC 2015	0,480	100%	0,20-0,65	1,1904	100%

Fuente: Gabriel Real

El espectro de la NEC 2015 se presenta como el 100% para relacionar las aceleraciones de los distintos espectros en aceleraciones generados para la Falla Totoras, en donde la ecuación de Kanno 2006 presenta una excedencia del 4,75% en relación al valor de aceleración de la NEC 2015 de 1,1905g como se especifica en la Tabla 46, así también los valores de PGA, ya que con la ecuación de Kanno 2006 se presenta un valor de 0,557g para la aceleración del suelo en relación al 0,48g para suelo tipo D sobrepasando al valor dado por la norma en un 16,04%

Figura 37: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Boore & Atkinson 2008, Akkar & Bommer 2010, Kanno 2006 y NEC 2015 para Falla Samanga.



Fuente: Gabriel Real

En la Figura 37 se muestra se muestra que los espectros en aceleración generados con los diferentes modelos no sobrepasan los valores de aceleración dados por la norma.

Tabla 47: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla Samanga

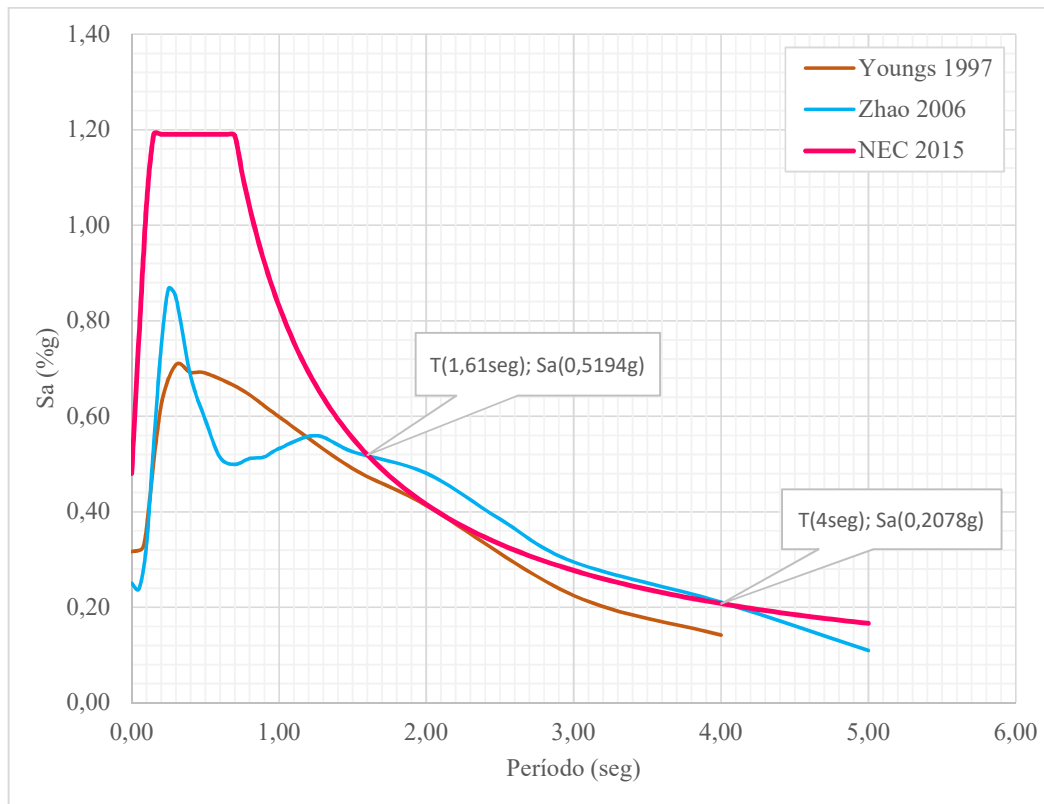
Espectro	PGA	PGA (%)	T(seg)	Sa (%g)	Sa (%g)
	T=0,0 seg.			(Max.)	%(Max.)
Boore & Atkinson 2008	0,302	62,92%	0,30	0,643	54,02%
Akkar & Bommer 2010	0,410	85,42%	0,40	1,000	84,00%
Kanno 2006	0,488	101,67%	0,20	1,065	89,47%

NEC 2015	0,480	100%	0,20-0,65	1,1904	100%
----------	-------	------	-----------	--------	------

Fuente: Gabriel Real

El espectro de la NEC 2015 se presenta como el 100% para relacionar las aceleraciones de los distintos modelos para la Falla Samanga, en donde ninguno de los espectro de aceleraciones generados con los diferentes modelos sobrepasa los valores de aceleración establecidos por la NEC 2015 para suelo tipo D como se muestra en la Tabla 47.

Figura 38: Espectros en Aceleración Generados con Ecuaciones de Youngs 1997, Zhao 2006 y NEC 2015 para Falla de Subducción.



Fuente: Gabriel Real

Los espectros en aceleraciones generados por las ecuaciones de Zhao 2006 y Youngs 1997 tienen valores de aceleración para períodos cortos menores a los establecidos por la NEC 2015 para suelo tipo D.

Los valores de aceleración para períodos largos generados por la ecuación de Zhao 2006 que se presentan en la Figura 38 sobrepasan los valores de la normativa entre los períodos 1,61 seg a 4,00 seg.

Tabla 48: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados de Diferentes Ecuaciones para la Falla de Subducción.

Espectro	PGA	PGA (%)	T(seg)	Sa (%g)	Sa (%g)
	T=0,0 seg.			(Max.)	%(Max.)
Youngs 1997	0,316	65,83%	0,30	0,708	59,48%
Zhao 2006	0,250	52,08%	0,25	0,867	72,83%
NEC 2015	0,480	100%	0,20-0,65	1,1904	100%

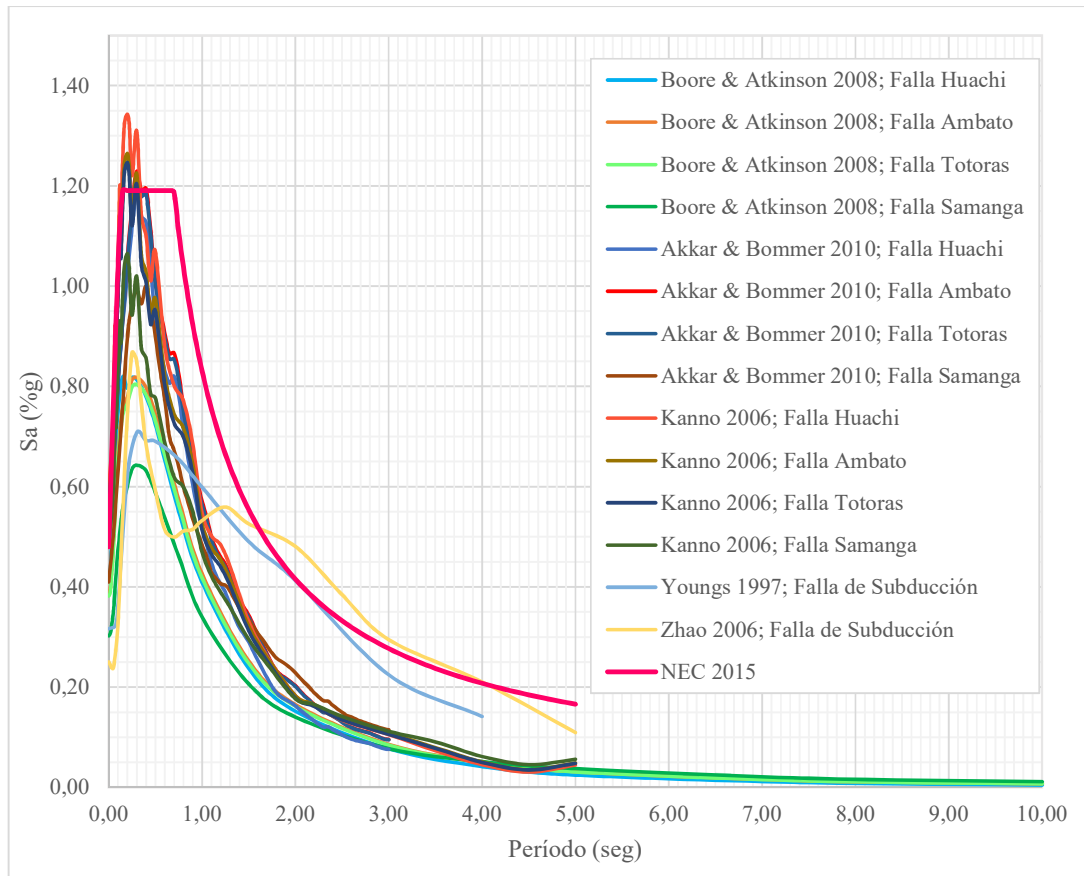
Fuente: Gabriel Real

Los valores de PGA y aceleración para los períodos indicados en la Tabla 48 son menores a los establecidos por la normativa para suelo tipo D para período corto.

4.2.6 Relación entre los Todos los Espectros Generados vs Espectro NEC 2015

En la Figura 39 se muestra los espectros generados con todas las ecuaciones de los modelos tanto para fallas corticales como para subducción intraplaca de donde se procederá a generar una envolvente de aceleraciones críticas mediante la determinación de los valores máximos.

Figura 39: Espectros en Aceleración Generados con Todas las Ecuaciones de Atenuación para Todas las Fallas Corticales y de Subducción Intraplaca.

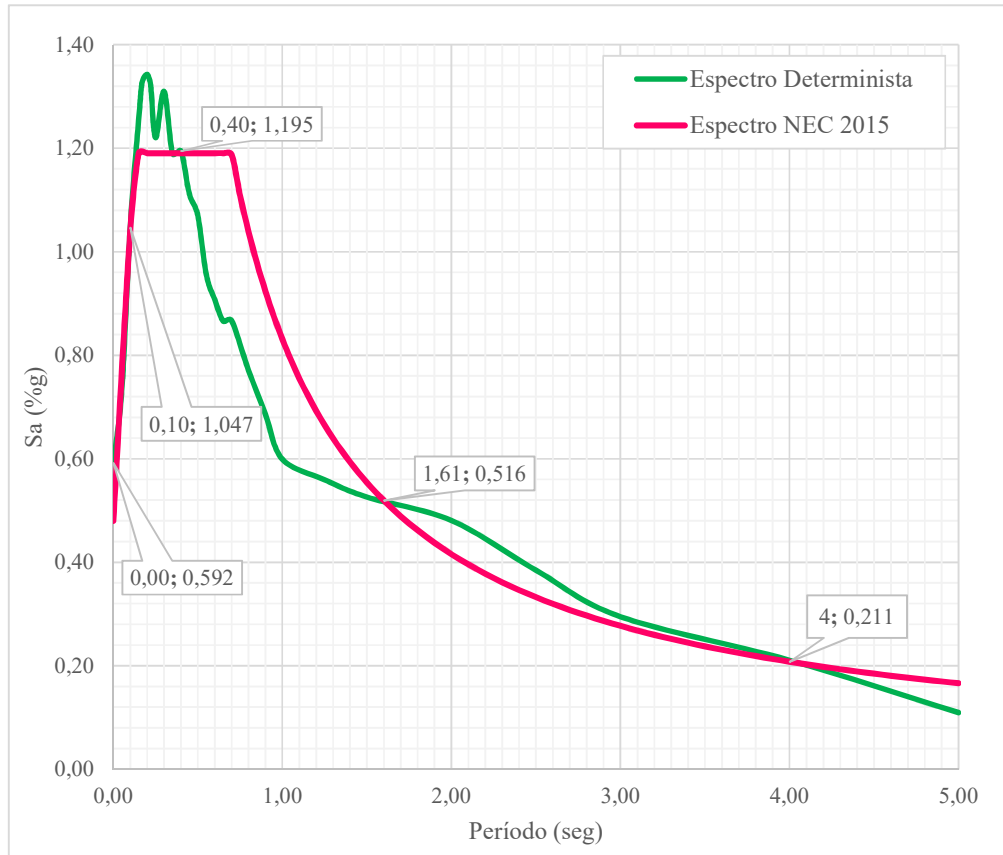


Fuente: Gabriel Real

4.2.7 Espectro Determinista en Relación al Espectro de la NEC 2015.

En la Figura 40 se muestra la relación entre el espectro resultante de estudio del peligro sísmico de sitio o espectro determinista y el espectro propuesto por la NEC 2015. Los valores de aceleración máxima se presentan en intervalos de periodo entre 0,10 seg y 0,40 seg para período corto, mientras entre los intervalos 1,61 seg a 4,0 seg se presenta aceleraciones críticas para períodos largos que sobrepasan los valores propuestos por la normativa, también los valores de PGA mayores entre los determinados en el espectro determinista igual a 0,592g y los presentados por la normativa de 0,48g.

Figura 40: Espectro Determinista en Base a una Envoltente de Aceleraciones Críticas con Relación al Espectro de la NEC 2015.



Fuente: Gabriel Real

Tabla 49: Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados para los espectros NEC 2015 y Espectro Determinista

Espectro	PGA	PGA (%)	T(seg)	Sa (%g)	Sa (%) %(Max.)
	T=0,0 seg.				
Determinista	0,592	123,33%	0,20	1,343	112,82%
NEC 2015	0,480	100%	0,20-0,65	1,1904	100%

Fuente: Gabriel Real

Tabla 50: Tabla de Valores del Espectro Determinista en Base a una Envoltente de Aceleraciones Críticas.

Espectro Determinista	
Período (seg)	Sa (%g)
0,00	0,592
0,05	0,731
0,10	1,047
0,15	1,254
0,17	1,327
0,20	1,343
0,22	1,324
0,25	1,220
0,30	1,310
0,35	1,190
0,40	1,195
0,45	1,111
0,50	1,070
0,55	0,955
0,60	0,907
0,65	0,866
0,70	0,867
0,80	0,771
0,90	0,686
1,00	0,599
1,25	0,559
1,50	0,526
2,00	0,481
2,50	0,384
3,00	0,295
4,00	0,211
5,00	0,109

Fuente: Gabriel Real

4.2.8 Comportamiento estructural de estructuras tipo del sitio de estudio.

Para esta investigación se procede a modelar tres estructuras tipo de la zona de estudio, con el fin de comparar los resultados tanto en el análisis con el espectro determinista como con el espectro propuesto por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS 2015.

4.2.8.1 Características de las Estructuras del Sitio de Estudio

Se procedió a recopilar las propiedades para la modelación de las tres estructuras representativas del sector tales como propiedades geométricas de secciones de columnas, vigas, longitudes de vanos, altura de entrepisos y su distribución arquitectónica.

Tabla 51: Propiedades de Elementos Estructurales para Estructura de 2 pisos

Elemento	Característica
Columnas	(30x30)cm
Vigas	(30x20)cm
Losa	Tipo nervada de 20cm de espesor
Altura total edificación	5,56m
Hormigón	$f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
Acero de refuerzo	$f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Gabriel Real

Tabla 52: Propiedades de Elementos Estructurales para Estructura de 3 pisos

Elemento	Característica
Columnas	(30x30)cm
Vigas	(30x20)cm
Losa	Tipo nervada de 20cm de espesor
Altura total edificación	7,56 m
Hormigón	$f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
Acero de refuerzo	$f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Gabriel Real

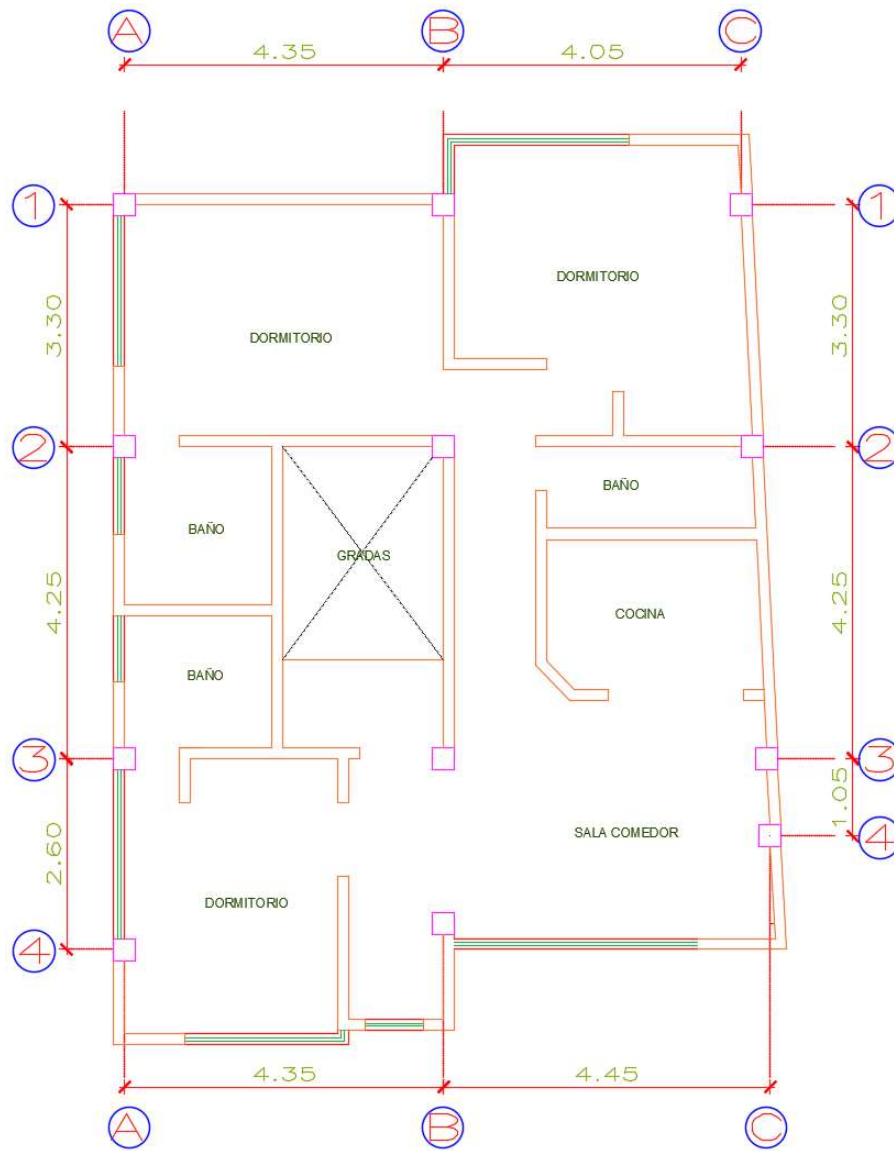
Tabla 53: Propiedades de Elementos Estructurales para Estructura de 4 pisos

Elemento	Característica
Columnas	(20x30)cm D(5); D'(5) (20x40)cm A(1,2,3,4); D(1,2,3,4); (30x30)cm A(6,7,8); B(1,6,7); C(8); D(6,7,8)
Vigas	(20x30)cm; (25x35)cm; (30x20)cm; (35x20)cm
Losa	Tipo nervada de 20cm de espesor
Altura total edificación	10,62 m
Hormigón	$f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
Acero de refuerzo	$f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Gabriel Real

A continuación se presentan los detalles del levantamiento arquitectónico para cada una de las estructuras:

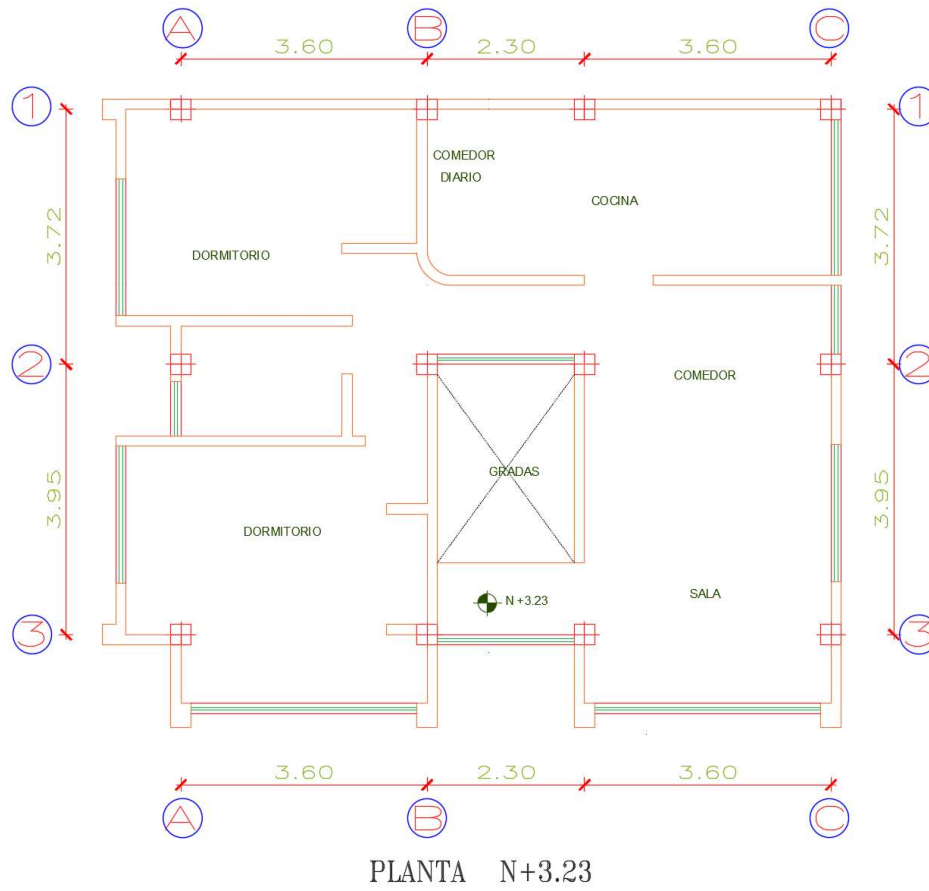
Figura 41: Vista en Planta de Estructura de Dos Pisos



PLANTA N+3.23

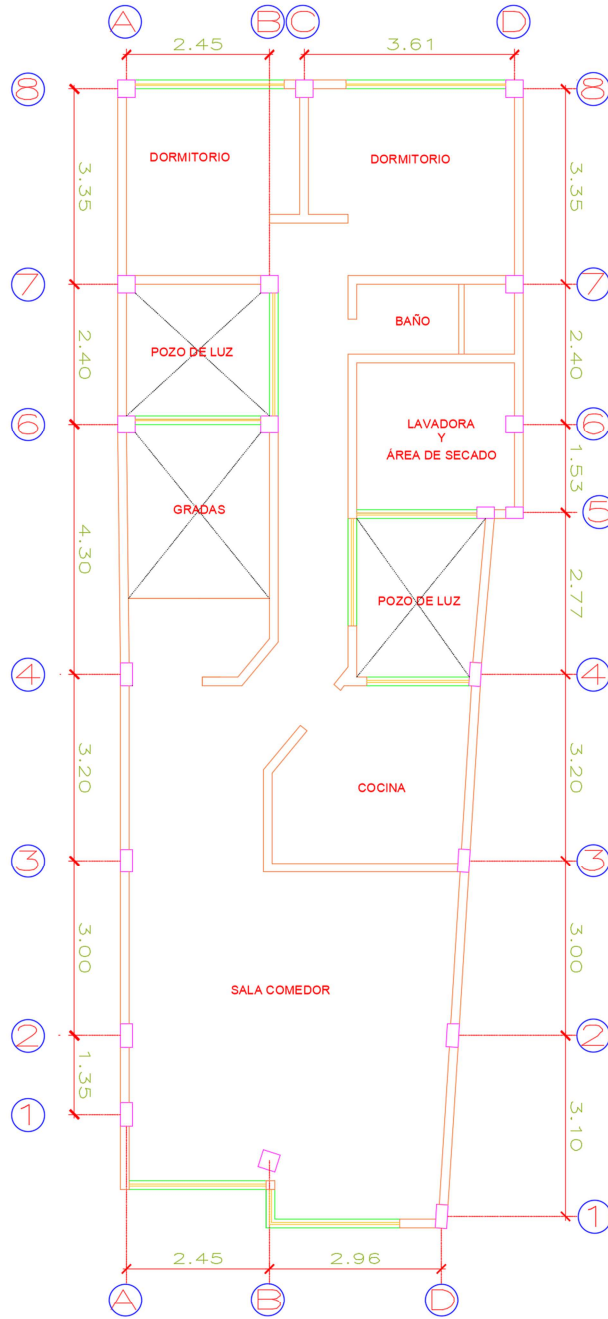
Fuente: Gabriel Real

Figura 42: Vista en Planta de Estructura de Tres Pisos



Fuente: Gabriel Real

Figura 43: Vista en Planta de Estructura de Cuatro Pisos



Planta Alta Tipo N+3.24; N+5.76; N+8.28

Fuente: Gabriel Real

4.2.8.2 Determinación de Factores para el Cálculo del Coeficiente Basal

El análisis de las estructuras se efectúa con los espectros elásticos reducidos, mediante la ecuación 2.32 donde se define el factor de reducción que se utilizara tanto para reducir el espectro de la norma como el espectro determinista, a continuación se presenta la ecuación 2.33 de cortante basal estático que es el valor del coeficiente basal por la carga sísmica reactiva.

Los factores se determinaron mediante la interpretación de la configuración estructural de las estructuras representativas del sector para dos, tres y cuatro pisos.

Tabla 54: Valores de Factores para el Cálculo de Coeficiente Basal

Variables	Símbolo	Estructuras representativas		
		Dos pisos	Tres pisos	Cuatro Pisos
Coeficiente de importancia	I	1	1	1
Factor de reducción de resistencia sísmica	R	5	5	5
Coeficiente de configuración en planta	ϕ_P	1	0,9	0,9
Coeficiente de configuración en elevación	ϕ_E	1	1	1

Fuente: Gabriel Real

Debido a que la estructura de cuatro pisos seleccionada presenta un mayor número de vigas banda se elige como factor de reducción sísmica un valor de 5 para estructuras con un sistema aporticado de hormigón armado con vigas banda.

4.2.8.3 Determinación de Períodos de Vibración, Método 1

En esta investigación se observó que las estructuras tienen una configuración especial aporticada de hormigón armado, sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras,

por lo que los valores de los coeficientes son $C_t = 0,055$ y $\alpha = 0,9$ para todas las estructuras seleccionadas para esta investigación.

A continuación se determinará de los valores de T para cada estructura:

Cálculo de T para edificación de dos pisos:

$$T = 0,055 * 5,56^{0,9}$$

$$T = 0,258 \text{ seg}$$

Cálculo de T para edificación de tres pisos:

$$T = 0,055 * 7,56^{0,9}$$

$$T = 0,340 \text{ seg}$$

Cálculo de T para edificación de cuatro pisos:

$$T = 0,055 * 10,69^{0,9}$$

$$T = 0,464 \text{ seg}$$

Los valores de los factores de amplificación de suelo de las ecuaciones 2.35 y 2.36 dependen del tipo de perfil de suelo y el factor Z según la zona sísmica, para esta investigación se determinó un perfil tipo D, con valores de $F_a = 1,20$; $F_d = 1,19$; $F_s = 1,28$ y un valor de Z igual a 0,4 ya que el proyecto se localiza en Ambato sector catalogado como zona sísmica nivel V. [4]

Cálculo período límite de vibración T_0 :

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

$$T_0 = 0,127 \text{ seg}$$

Cálculo período límite de vibración T_C :

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

$$T_C = 0,698 \text{ seg}$$

4.2.8.4 Verificación del Comportamiento Estructural

El análisis estructural que se realizará a las estructuras representativas del sector se lo hará bajo el régimen de los Espectros NEC 2015 y Espectro Específico de Sitio Generado con el método Determinista, el procedimiento y especificaciones se regirán a lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

4.2.8.4.1 Períodos de Vibración Modal, Método 2

Tabla 55: Valores de Período por cada Método para cada Estructura.

Estructura Seleccionada	Altura máx.(m)	T_0 (seg)	T_C (seg)	T_1 (seg)	T_2 (seg)
Dos Pisos	5,56	0,127	0,698	0,258	0,479
Tres Pisos	7,56			0,340	0,442
Cuatro Pisos	10,69			0,464	0,814

Fuente: Gabriel Real

Los valores del período fundamental obtenidos del método 2 (análisis modal con Etabs 2016) son iguales para los modelos deterministas y NEC 2015, ya que el período depende de la rigidez y la masa de la estructura.

Según lo especificado en la norma los valores de la Tabla 51 para T_2 deben cumplir con los parámetros de la siguiente expresión:

$$T_1 \leq T_2 \leq 1,3T_1$$

Se verifica el parámetro de la ecuación anterior para las estructuras representativas:

Estructura Dos Pisos:

$$T_1 \leq T_2 \leq 1,3T_1$$

$$0,258 \text{ seg} < 0,479 \text{ seg} > 0,335 \text{ seg}$$

El valor del período fundamental T_2 para la estructura de dos pisos excede los parámetros establecidos por la NEC 2015, es decir la estructura es muy flexible.

Estructura Tres Pisos:

$$T_1 \leq T_2 \leq 1,3T_1$$

$$0,340 \text{ seg} < 0,442 \text{ seg} < 0,442 \text{ seg}$$

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

Estructura Cuatro Pisos:

$$T_1 \leq T_2 \leq 1,3T_1$$

$$0,464 \text{ seg} < 0,814 \text{ seg} > 0,603 \text{ seg}$$

El valor del período fundamental T_2 para la estructura de cuatro pisos excede los parámetros establecidos por la NEC 2015, es decir la estructura es muy flexible.

Donde:

T_1 : Período fundamental de vibración calculado con el método 1.

T_2 : Período fundamental de vibración calculado con el método 2 (Etabs 2016).

4.2.8.4.2 Verificación del Porcentaje de Torsión de las Estructuras

En las siguientes Tablas se presenta los factores tanto de rotación (R) en el eje Z y de desplazamiento (U) en los ejes X y Y.

Tabla 56: Tabla de Resultados de Participación Modal de la Masa para la estructura de dos pisos

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Análisis Modal	1	0,479	0,0344	0,7773	0,1338
Análisis Modal	2	0,454	0,6911	0,1087	0,1478
Análisis Modal	3	0,425	0,2241	0,0547	0,6602

Fuente: Etabs 2016, V16.

Tabla 57: Tabla de Resultados de Participación Modal de la Masa para la estructura de tres pisos

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Análisis Modal	1	0,442	0,8549	0,0002	1,595E-05
Análisis Modal	2	0,43	0,0002	0,7572	0,0999
Análisis Modal	3	0,353	0,0001	0,1102	0,7785

Fuente: Etabs 2016, V16

Tabla 58: Tabla de Resultados de Participación Modal de la Masa para la estructura de cuatro pisos

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0,814	0,7644	0,0008	0,1376
Modal	2	0,679	0,1148	0,1521	0,62
Modal	3	0,662	0,0154	0,7331	0,138

Fuente: Etabs 2016, V16.

Para determinar el porcentaje de Torsión que existe en los tres primeros modos de cada estructura entre los valores de Rz y los valores mayores para (Ux o Uy) de un mismo número de modo, de tal manera que se verificará en cada modo el comportamiento ya sea traslacional o rotacional como se indica en la ecuación 2.37.

Tabla 59: Porcentaje de Torsión para los Tres Primeros Modos de Vibración de cada Estructura y su Comportamiento

Estructura de Dos Pisos				
Modo	Rz	Ux o Uy	% Torsión	Comportamiento
1	0,1338	0,7773	17,21%	Traslacional
2	0,1478	0,6911	21,39%	Traslacional
3	0,6602	0,2241	294,60%	Rotacional
Estructura de Tres Pisos				
Modo	Rz	Ux o Uy	% Torsión	Comportamiento
1	1,595E-05	0,8549	1,87e-03%	Traslacional
2	0,0999	0,7572	13,19%	Traslacional
3	0,7785	0,1102	706,44%	Rotacional
Estructura de Cuatro Pisos				
Modo	Rz	Ux o Uy	% Torsión	Comportamiento
1	0,1376	0,7644	18,00%	Traslacional
2	0,62	0,1521	407,63%	Rotacional
3	0,138	0,7331	18,82%	Traslacional

Fuente: Gabriel Real

En las estructuras de dos y tres pisos se presenta un porcentaje de torsión aceptable es decir menor al 30%, en donde los efectos torsionales en estas estructuras no son significativas, en cambio en la estructura de cuatro pisos se presentan efectos torsionales en el modo 2, por lo que esta última estructura presenta efectos torsionales significativos en relación a las estructuras de dos y tres pisos.

4.2.8.4.3 Verificación de Modos Necesarios para la Participación de la Masa Modal Acumulada

Tabla 60: Participación de la Masa Modal Acumulada para la Estructura de Dos Pisos

Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY
Análisis Modal	1	0,479	0,0344	0,7773
Análisis Modal	2	0,454	0,7255	0,886
Análisis Modal	3	0,425	0,9496	0,9406

Fuente: Etabs 2016, V16.

Tabla 61: Participación de la Masa Modal Acumulada para la Estructura de Tres Pisos

Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY
Análisis Modal	1	0,442	0,8549	0,0002
Análisis Modal	2	0,43	0,8551	0,7574
Análisis Modal	3	0,353	0,8552	0,8676
Análisis Modal	4	0,184	0,9458	0,8695
Análisis Modal	5	0,179	0,9477	0,9486

Fuente: Etabs 2016, V16.

Tabla 62: Participación de la Masa Modal Acumulada para la Estructura de Cuarto Pisos

Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,814	0,7644	0,0008
Modal	2	0,679	0,8792	0,1529
Modal	3	0,662	0,8945	0,886
Modal	4	0,26	0,9618	0,8861
Modal	5	0,212	0,9768	0,9

Fuente: Etabs 2016, V16.

En las Tablas anteriores se presentan el número de modos necesarios para la acumulación de la masa modal en un 90% o más, se observa que en la estructura de dos pisos Tabla 56, la acumulación de la masa modal se da en el tercer modo de vibración tanto en el sentido x como sentido y, para las estructuras de tres y cuatro pisos, Tablas 60-62, en donde la acumulación de la masa modal se da en los en quinto modo. En la Tabla 63 se relacionan los valores de las Tablas 60-62 en donde se representa el porcentaje de acumulación de masa modal en los modos de vibración señalados.

Tabla 63: Tabla Resumen Acumulación Masa Modal para Todas las Estructuras

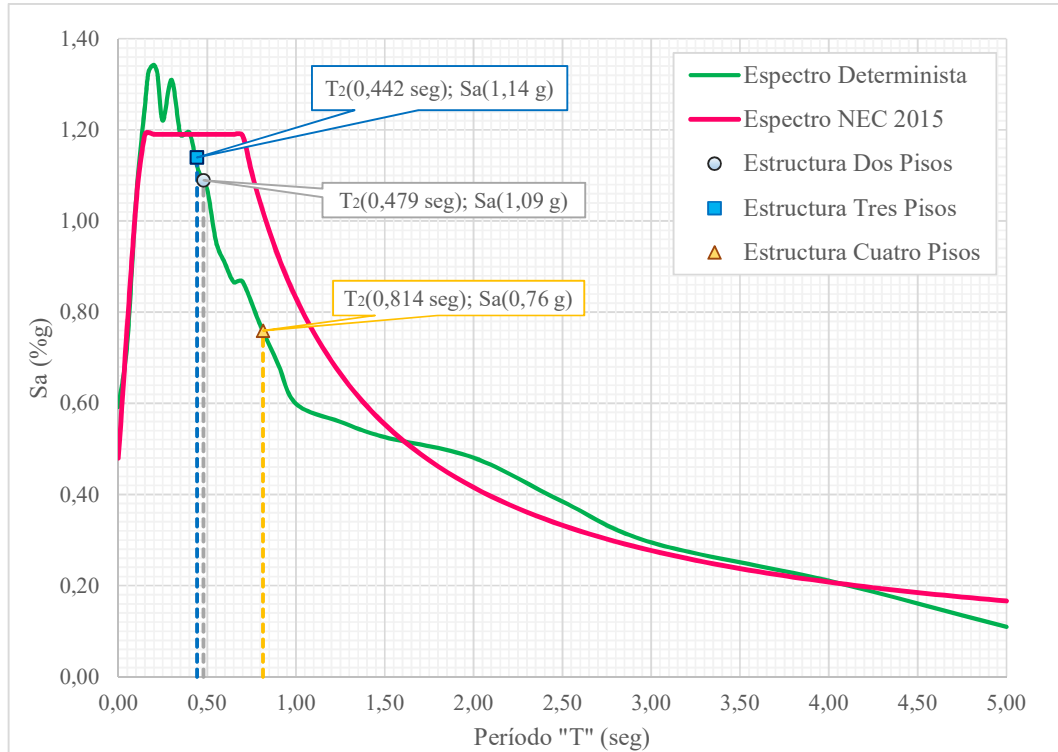
Modo	Acumulación Masa Modal Sentido X	Acumulación de Masa Modal Sentido Y
Estructura de Dos Pisos		
3	94,96%	94,06%
Estructura de Tres Pisos		
5	94,77%	94,86%
Estructura de Cuatro Pisos		
5	97,68%	90,00%

Fuente: Gabriel Real

4.2.8.4.4 Verificación de las Deriva de Piso

Para el análisis de las derivas de piso se determinará el valor de coeficiente de cortante basal tanto para el Espectro de la NEC 2015 como para el Espectro Determinista. Según el período modal calculado por el método 2 (período modal), se determina el valor de aceleración para cada estructura, esto se determinara en base a la gráfica.

Figura 44: Valores de Período Calculado y Aceleración con el Espectro Específico de Sitio en Relación al Espectro de la NEC 2015 para las Estructuras Representativas del Sitio.



Fuente: Gabriel Real

En la Figura 44 se indica los valores de Períodos y Aceleraciones en el Espectro Específico de Sitio obtenido por el Método Determinista o Espectro Determinista para todas las estructuras representativas del sector. Los valores de aceleración para los períodos modales en el espectro determinista son menores con relación al espectro de la NEC 2015.

Se procede a realizar una reducción de las fuerzas sísmicas, es decir se calculará el coeficiente basal con la ecuación 2.33 con valores de Espectro NEC 2015 y Espectro Determinista, también se calculará el factor dependiente del período de la estructura o factor k según la Tabla 12.

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

Donde:

C: Coeficiente Basal.

Sa(Ta): Espectro de aceleración de diseño en función al período de vibración.

\emptyset_P y \emptyset_E : Coeficiente de configuración en planta y en elevación.

I: Coeficiente de Importancia [4].

R: Factor de Reducción de Resistencia Sísmica. [4]

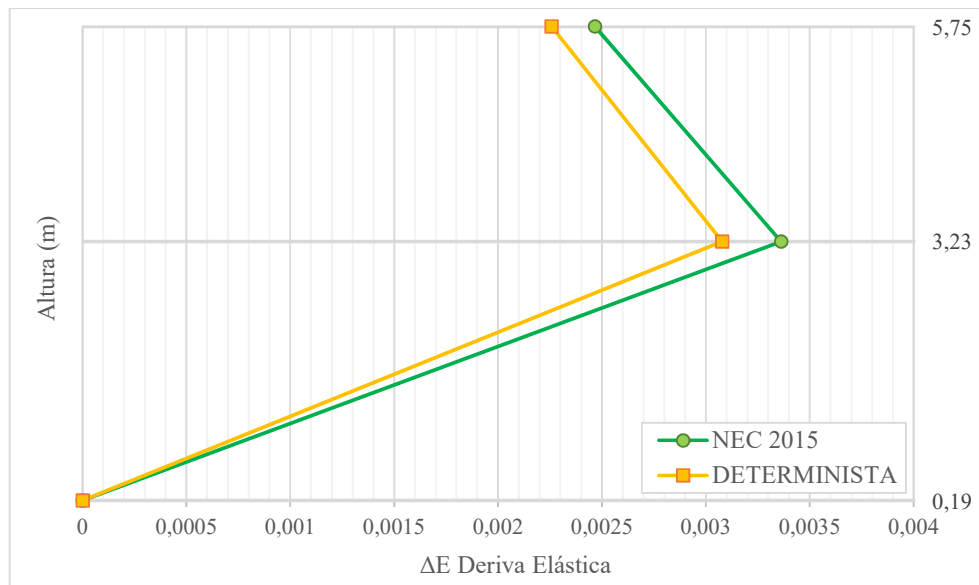
Tabla 64: Valores de Coeficiente Basal para Espectro NEC 2015 y Espectro Determinista para cada Estructura Analizada.

Estructura	Período Modal (seg)	k	Espectro NEC 2015		Espectro Determinista	
			Sa (%g)	Coeficiente Basal (C)	Sa (%g)	Coeficiente Basal (C)
Dos Pisos	0,479	1,0	1,1904	0,2381	1,09	0,218
Tres Pisos	0,442	1,0	1,1904	0,2645	1,14	0,253
Cuatro Pisos	0,814	1,16	1,021	0,2269	0,76	0,169

Fuente: Gabriel Real

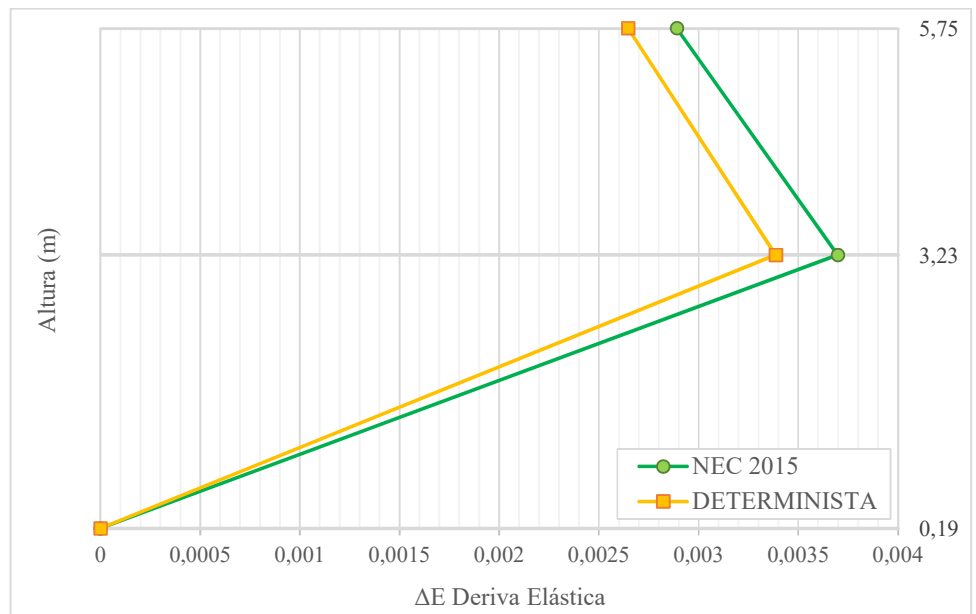
La representación gráfica de la comparación entre las derivas elásticas obtenidas entre el Espectro NEC 2015 y El Espectro Determinista se muestra tanto en las direcciones X y Y, los cuales se indican en las Figuras 45 - 46.

Figura 45: Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Determinista en el Sentido X para la Estructura de Dos Pisos



Fuente: Etabs 2016, V16.

Figura 46: Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Determinista en el Sentido Y para la Estructura de Dos Pisos



Fuente: Etabs 2016, V16.

Tabla 65: Derivas de Piso Elástica con los Espectro NEC 2015 y Determinista en la Estructura de Dos Pisos

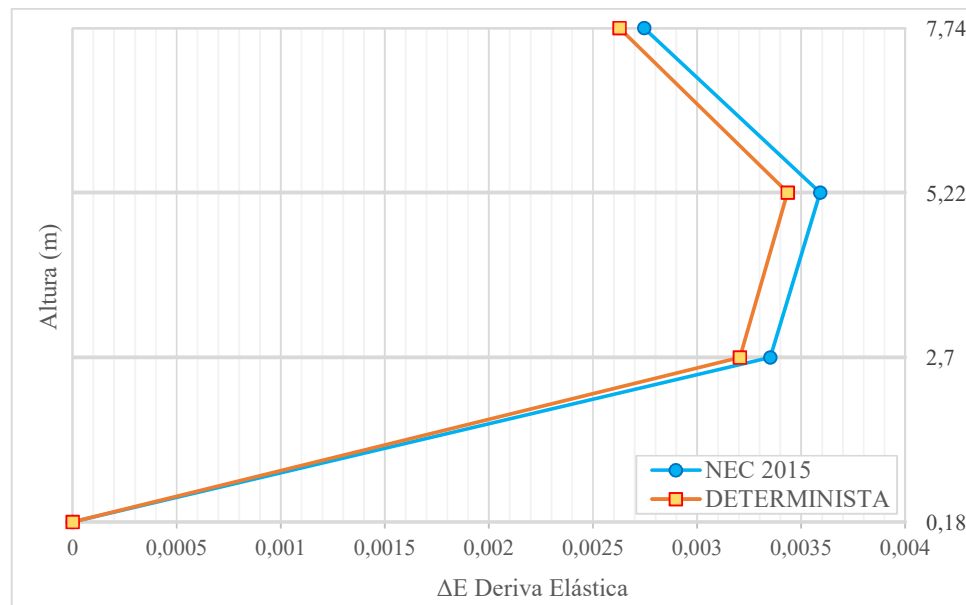
Piso	Nivel (m)	NEC 2015		DETERMINISTA	
		X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir
Piso 2	N+5,75	0,00247	0,00289	0,002258	0,002646
Piso 1	N+3,23	0,00336	0,003698	0,003078	0,003386
Base	N+0,19	0	0	0	0

Fuente: Etabs 2016, V16.

La Tabla 65 se muestra la deriva que existe en cada nivel de la estructura de dos pisos con los espectros NEC 2015 y Determinista, en donde los valores máximos de derivas elásticas se presentan en el Nivel+3,23m para los dos modelos analizados para los sentidos X-Y.

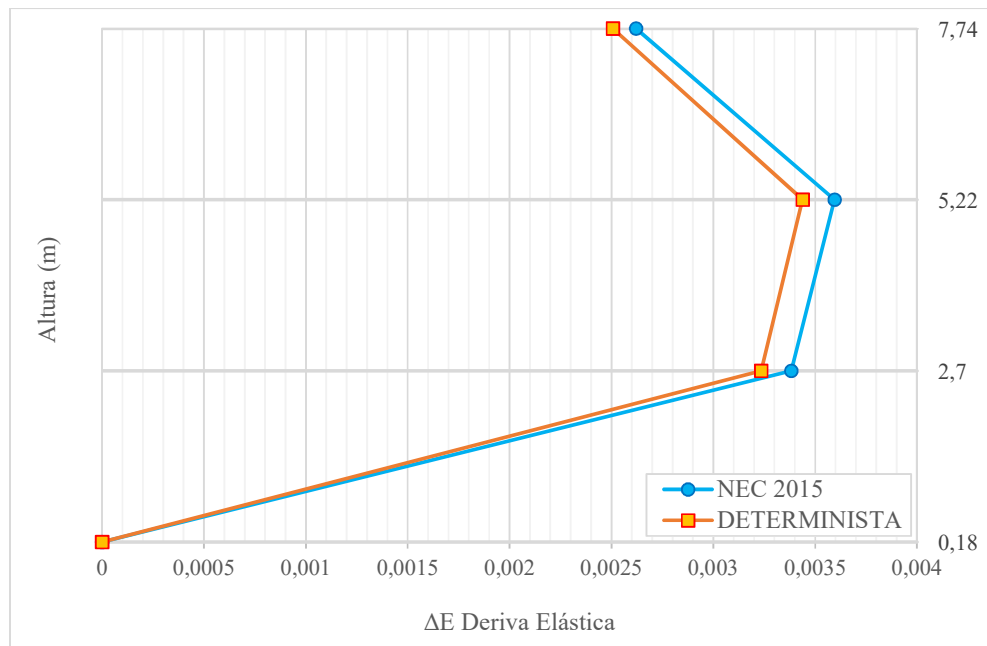
En las Figuras 47-48 se presenta la comparación de derivas elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Determinista en el sentido X-Y para la Estructura de Tres Pisos

Figura 47: Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Determinista en el Sentido X para la Estructura de Tres Pisos



Fuente: Etabs 2016, V16.

Figura 48: Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Determinista en el Sentido Y para la Estructura de Tres Pisos



Fuente: Etabs 2016, V16.

Tabla 66: Derivas de Piso Elástica con los Espectro NEC 2015 y Determinista en la Estructura de Tres Pisos

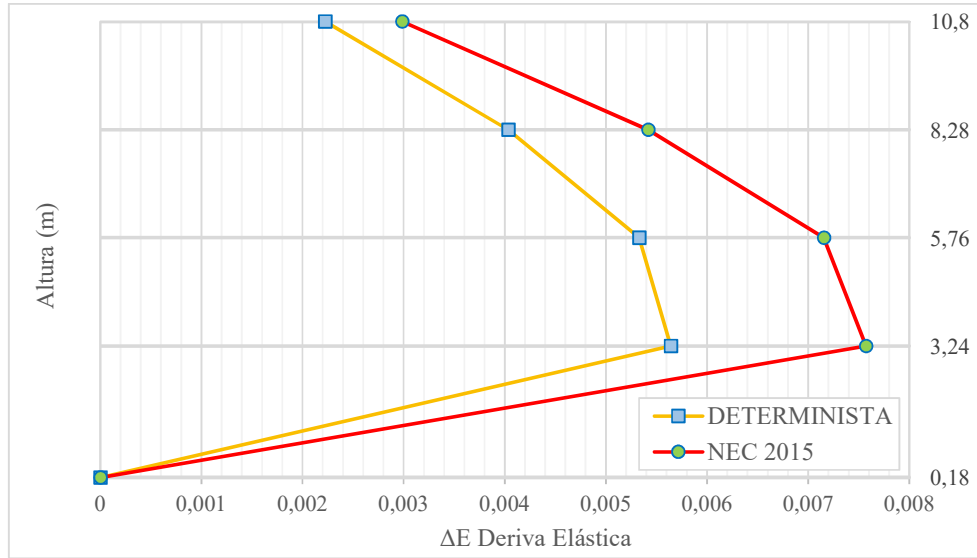
Piso	Nivel (m)	NEC 2015		DETERMINISTA	
		X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir
Piso 3	N+7,74	0,002745	0,002621	0,002626	0,002507
Piso 2	N+5,22	0,003591	0,003595	0,003435	0,003439
Piso 1	N+2,70	0,00335	0,003382	0,003204	0,003235
Base	N+0,18	0	0	0	0

Fuente: Etabs 2016, V16.

La Tabla 66 se muestra la deriva que existe en cada nivel de la estructura de tres pisos con los modelos NEC 2015 y Determinista, en donde los valores máximos de derivas elásticas se presentan en el Nivel+5,22 m para los dos modelos analizados para los sentidos X-Y.

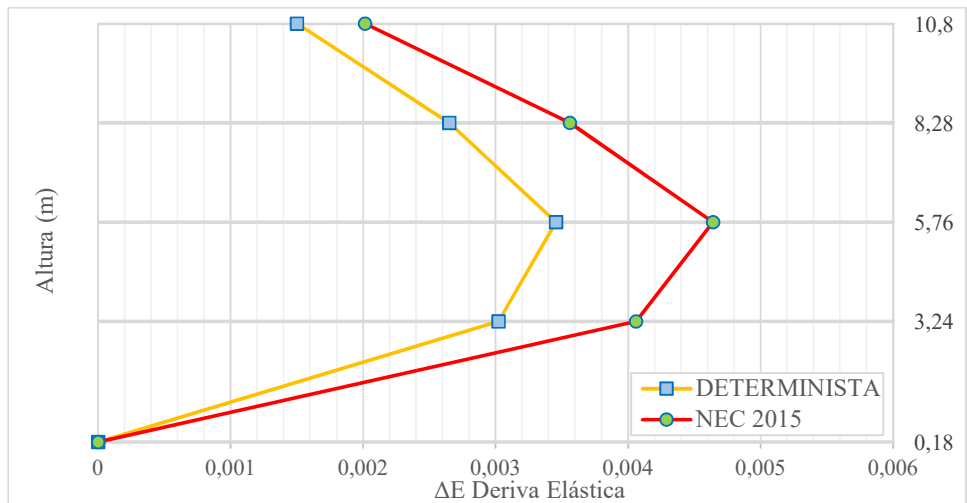
En las Figuras 49-50 se presenta la comparación de derivas elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Determinista en el sentido X-Y para la Estructura de Cuatro Pisos, por medio de un análisis estático.

Figura 49: Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Determinista en el Sentido X para la Estructura de Cuatro Pisos



Fuente: Etabs 2016, V16.

Figura 50: Comparación de Derivas Elásticas entre los Espectros NEC 2015 y Determinista en el Sentido X para la Estructura de Cuatro Pisos



Fuente: Etabs 2016, V16.

Tabla 67: Derivas de Piso Elástica con los Espectro NEC 2015 y Determinista en la Estructura de Cuatro Pisos

Piso	Nivel (m)	NEC 2015		DETERMINISTA	
		X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir
Piso 4	N+10,80	0,002985	0,002015	0,002223	0,001501
Piso 3	N+8,28	0,005416	0,00356	0,004034	0,002651
Piso 2	N+5,76	0,007153	0,004642	0,005328	0,003457
Piso 1	N+3,24	0,007572	0,004059	0,005639	0,003023
Base	N+0,18	0	0	0	0

Fuente: Etabs 2016, V16.

La Tabla 67 se muestra la deriva que existe en cada nivel de la estructura de cuatro pisos con los modelos NEC 2015 y Determinista, en donde los valores máximos de derivas elásticas se presentan en el Nivel+3,24 para los dos modelos analizados en el sentido X y los valores máximos de derivas elásticas se presentan en el Nivel+5,76 en el sentido Y.

A continuación en la Tabla 68, se presenta el cálculo de derivas inelásticas tomando en cuenta los valores máximos para el Espectro NEC 2015 y Determinista en el sentido X-Y.

Tabla 68: Derivas de Piso Elásticas y Porcentajes de Derivas Inelásticas con los Espectro NEC 2015 y Determinista para cada Estructura por Análisis Estático

ESTRUCTURA DE DOS PISOS								
Nivel (m)	NEC 2015				DETERMINISTA			
	X-Dir		Y-Dir		X-Dir		Y-Dir	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
N+3,23	0,00336	1,260	0,003698	1,387	0,003078	1,154	0,003386	1,270
ESTRUCTURA DE TRES PISOS								
Nivel (m)	NEC 2015				DETERMINISTA			
	X-Dir		Y-Dir		X-Dir		Y-Dir	

	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
N+5,22	0,003591	1,347	0,003595	1,348	0,003435	1,288	0,003439	1,290
ESTRUCTURA DE CUATRO PISOS								
Nivel (m)	NEC 2015				DETERMINISTA			
	X-Dir		Y-Dir		X-Dir		Y-Dir	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
N+3,24	0,007573	2,840	-	-	0,005639	2,115	-	-
N+5,76	-	-	0,004642	1,741	-	-	0,003457	1,296

Fuente: Gabriel Real

La Tabla 68 se muestra los porcentajes de las derivas de pisos para los niveles en donde se presentan los valores máximos en los sentidos X-Y para cada estructura por medio de un análisis estático, en donde la estructura de cuatro pisos presenta derivas elásticas mayores a las especificadas por la normativa en el sentido X, esta última estructura presenta un valore de porcentaje mayor al 2% para estructuras de hormigón armado, mientras que las estructuras de dos y tres pisos no exceden los valores establecidos por la norma como se muestra en la Tabla anterior.

4.2.8.4.5 Chequeo de Validación del análisis dinámico

Tabla 69: Validación del Análisis Dinámico para cada Estructura

ESTRUCTURA DE DOS PISOS						
Sentido	NEC 2015			DETERMINISTA		
	V Dinámico	V Estático	$\frac{V_{Din.}}{V_{Est.}}\%$	V Dinámico	V Estático	$\frac{V_{Din.}}{V_{Est.}}\%$
X	29,66 Ton	33,40 Ton	88,80 %	27,83 Ton	30,58 Ton	91,01
Y	29,87 Ton	33,40 Ton	89,43 %	27,41 Ton	30,58 Ton	89,63
ESTRUCTURA DE TRES PISOS						
Sentido	NEC 2015			DETERMINISTA		
	V Dinámico	V Estático	$\frac{V_{Din.}}{V_{Est.}}\%$	V Dinámico	V Estático	$\frac{V_{Din.}}{V_{Est.}}\%$
X	36,14 Ton	41,86 Ton	86,34 %	34,26 Ton	40,04 Ton	84,80 %
Y	33,27 Ton	41,86 Ton	79,48 %	33,27 Ton	40,04 Ton	83,09 %
ESTRUCTURA DE CUATRO PISOS						
Sentido	NEC 2015			DETERMINISTA		

	V Dinámico	V Estático	$\frac{V\ Din.}{V\ Est.}\%$	V Dinámico	V Estático	$\frac{V\ Din.}{V\ Est.}\%$
X	74,56 Ton	91,15 Ton	81,80 %	55,63 Ton	67,89 Ton	81,94 %
Y	93,79 Ton	91,15 Ton	102,90 %	68,81 Ton	67,89 Ton	101,36 %

Fuente: Gabriel Real

Como se observa en la Tabla 69, el resultado de la relación de porcentajes entre de los valores de Cortante Dinámico y Cortante Estático son más críticos en la estructura de cuatro pisos en el sentido Y con los espectros NEC 2015 y Espectro Determinista, mientras que los porcentajes resultantes de la relación de cortantes dinámicos y estáticos para las estructuras de dos y tres pisos se encuentran en el rango de la normativa para edificaciones regulares.

A continuación se presenta el cálculo de derivas inelásticas dinámicas tomando en cuenta los valores máximos para el Espectro NEC 2015 y Determinista en el sentido X-Y.

Verificación de las derivas de piso elásticas dinámicas

Tabla 70: Derivas de Piso Elásticas y Porcentajes de Derivas Inelásticas con los Espectro NEC 2015 y Determinista para cada Estructura, por Análisis Dinámico.

ESTRUCTURA DE DOS PISOS								
Nivel (m)	NEC 2015				DETERMINISTA			
	X-Dir		Y-Dir		X-Dir		Y-Dir	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
N+3,23	0,003404	1,277	0,004055	1,521	0,00316	1,185	0,0037	1,388
ESTRUCTURA DE TRES PISOS								
Nivel (m)	NEC 2015				DETERMINISTA			
	X-Dir		Y-Dir		X-Dir		Y-Dir	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
N+5,22	0,003464	1,299	0,0035	1,313	0,003276	1,229	0,0035	1,313
ESTRUCTURA DE CUATRO PISOS								
	NEC 2015				DETERMINISTA			

Nivel (m)	X-Dir		Y-Dir		X-Dir		Y-Dir	
	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$	ΔE	$\Delta M\%$
N+3,24	0,009256	3,471	-	-	0,006901	2,588	-	-
N+5,76	-	-	0,004721	1,770	-	-	0,00344	1,290

Fuente: Gabriel Real

Se observa en la Tabla 70 la variación de las derivas elásticas dinámicas para los espectros NEC 2015 y Determinista, en donde los valores de deriva del espectro NEC 2015 son mayores a los valores de deriva generados con el Espectro Determinista, los resultados obtenidos con los espectros de la normativa y el espectro determinista están en el rango aceptable para las estructuras de dos y tres pisos, con la excepción de los porcentajes de derivas inelásticas dinámicas de la estructura de cuatro pisos el cual excede el límite establecido por la normativa para estructuras de hormigón armado en la dirección horizontal X.

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo a la hipótesis planteada previamente en la investigación, “El estudio de Peligro Sísmico Determinista influye en el comportamiento estructural de las edificaciones en la Parroquia Huachi Loreto - Sector La Letamendi ubicado entre las calles: Isla Seymour, Av. Bolivariana, Víctor Hugo, Letamendi y Cacique Álvarez”, se determinó un espectro del estudio del peligro sísmico determinista mediante ecuaciones de atenuación en donde los intervalos de períodos de vibración de 0,10 a 0,40 segundos y un segundo intervalo de 1,61 a 4 segundos genera aceleraciones mayores con respecto al espectro de la normativa, por lo que el comportamiento de las estructuras que están en el sitio se ve afectado dependiendo de su período de vibración modal para las estructuras representativas del sector de dos, tres y cuatro pisos analizadas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó que la falla geológica superficial que podría generar una mayor magnitud de momento es la falla Samanga de valor $M_w=6.9$, debido a la longitud de ruptura superficial que esta falla presenta en relación a las otras fallas seleccionadas, mientras que la falla de subducción tiene una magnitud de momento de valor $M_w=9.3$.
- La falla Huachi es la que tiene un mayor valor de aceleración espectral debido a la distancia R_{jb} igual a 1,51 Km, siendo esta misma falla la que presenta un menor valor de distancia perpendicular al área de estudio en relación a la demás fallas corticales seleccionadas.
- Del espectro determinista generado por ecuaciones de atenuación seleccionadas se evidencia que para períodos cortos los valores de aceleración calculados con la ecuación de Kanno 2006 para la Falla Huachi, superan al espectro de la NEC 2015 con un 1,343g, valor que sobrepasa un 12,82% al espectro de la norma para suelo tipo D, para un intervalo de períodos entre 0,10 a 0,40 segundos.
- Los espectros en aceleración generados por las ecuaciones de atenuación seleccionadas para la falla de subducción presentan valores de aceleración superiores en relación a las propuestas por la normativa para períodos que están en un intervalo de 1,61 a 4,0 segundos, siendo el espectro en aceleraciones generado con la ecuación de Zhao 2006 es el más crítico en comparación con el espectro de la normativa.
- Se obtuvo un valor de aceleración máxima esperada en el terreno (PGA) de 0,48g con el espectro de la NEC 2015 para suelo tipo D, mientras que para el espectro determinista se calculó una aceleración de 0,592g, por lo que concluye que el valor

de (PGA) obtenido por el estudio de peligro sísmico determinista es mayor al propuesto por la normativa.

- Para las estructuras analizadas de dos, tres y cuatro pisos el espectro determinista genera menores aceleraciones, ya que los períodos modales calculados para cada estructura están fuera de los intervalos de períodos en donde se genera aceleraciones críticas.
- La respuesta espectral en aceleración variará en base a parámetros de distancia perpendicular a la proyección vertical en la superficie para fallas corticales, mientras que para la falla de subducción dependerá en base al parámetro de profundidad del evento sísmico.

5.2 RECOMENDACIONES

- Debido a que existen intervalos de períodos en los cuales las aceleraciones del espectro de la Normativa es superado por las aceleraciones del espectro Determinista, se recomienda realizar el diseño de nuevas estructuras en el sector con el espectro Determinista.
- Debido al avance tecnológico la recopilación constante de datos de registros sísmológicos, se recomienda actualizar este tipo de investigaciones usando las Ecuaciones de Predicción de Movimiento (GMPE's) más recientes para perfeccionar los espectros en aceleraciones generados y consecuentemente generar espectros específicos de sitio más exactos.
- Se recomienda realizar estudios de suelos con metodologías más precisas tales como Ensayos de Refracción Sísmica a los 30m de profundidad, el cual se basa en las propiedades dinámicas del terreno.
- Para un estudio más profundo de las estructuras se recomienda evaluar el desempeño estructural de edificaciones mediante el uso del espectro Determinista generado en esta investigación y el espectro propuesto por la NEC-SE-DS 2015 para verificar las demandas que se genera con cada ecuación de atenuación para cada falla seleccionada.

C. MATERIAL DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aguiar, R., «Movimientos fuertes y espectros para el Centro Norte de Quito,» 2014. [En línea].
Available: http://oa.upm.es/38900/1/INVE_MEM_2014_214865.pdf.
- [2] Aguiar, R., Microzonificación Sísmica de Quito, Quito, Centro de Investigaciones Científicas. Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, 2013, p. 8.
- [3] J. García-Mayordomo, «Incorporación de datos y criterios geológicos en el análisis de la peligrosidad sísmica en regiones de actividad moderada: I. Definición y caracterización de fuentes sismogénicas,» 2007. [En línea].
Available:
<http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/8493/Incorporacion.pdf?sequence=2>.
- [4] Norma Ecuatoriana de la Construcción, de *Peligro Sísmico, Diseño Sismoresistente*, Quito, 2015.
- [5] Aguiar, R., «Espectros de control para la ciudad de Quito-Ecuador,» 2015. [En línea]. Available:
https://www.researchgate.net/profile/Roberto_Aguiar2/publication/280164600_Espectros_de_Control_para_la_ciudad_de_Quito-Ecuador/links/55ad736c08aee079921e26d2/Espectros-de-Control-para-la-ciudad-de-Quito-Ecuador.pdf.
- [6] Chavez, A. Arroyo, M. Ramón, Zúñiga., «Relación de atenuación del movimiento del suelo para la aceleración máxima (PGA) sobre el cinturón volcánico mexicano (MVB); Análisis por trayectoria: Guerrero-Querétaro,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n87/n87a4.pdf>.
- [7] Placencia, P. Medina, C., «Reducción de la Vulnerabilidad en Estructuras Esenciales de Hormigón Armado: Hospitales, Situadas en Zonas de Alto Peligro Sísmico en el Ecuador,» 2017. [En línea]. Available:

- <http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen40/tomo1/744.pdf>. [Último acceso: 2017].
- [8] Benito, B. Jiménez, E., «Peligrosidad Sísmica,» 1999. [En línea]. Available: <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/viewFile/FITE9999110013A/12067>.
- [9] Pérez, S. Muñoz M. Carbó G., «Correlaciones empíricas entre la velocidad de propagación de las ondas S (Vs) y otros parámetros geotécnicos para los suelo de Madrid,» 2012. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Alfonso_Munoz-Martin/publication/233810663_Correlaciones_empiricas_entre_la_velocidad_de_propagacion_de_las_ondas_s_Vs_y_otros_parametros_geotecnicos_para_los_suelos_de_Madrid/links/00b4951ee9d22d77b8000000/Correlacion.
- [10] Quinde, P. Reinoso, E., «Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca,» 2016. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001.
- [11] «Instituto Técnico de la Estructura en Acero,» [En línea]. Available: <http://download1586.mediafire.com/4k8r5mm86m5g/86ltjt16oajin9o/Manual+de+Dise%C3%B1o+s%C3%ADsmico.pdf>.
- [12] Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, de *Breves Fundamentos sobre los Terremotos en Ecuador*, vol. I, Quito, Corporación Editora Nacional, 2007, p. 11.
- [13] Dirección General de Divulgación de la Ciencia, Universidad Autónoma de México, «Tectónica de placas,» 2006. [En línea]. Available: http://www.dgdc.unam.mx/assets/cienciaboletto/cb_06.pdf.
- [14] Vidal, F., «Terremotos y sus causas,» [En línea]. Available: [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETA-C1/\\$File/ETA-C1.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETA-C1/$File/ETA-C1.pdf).
- [15] Tarbuck, E. Lutgens, F., de *Ciencias de la Tierra*, Madrid, Pearson Prentice Hall, 2005, pp. 314-316.

- [16] Wells, D. Coopersmith., «New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement,» 1994. [En línea]. Available:
[http://www.ce.memphis.edu/7137/PDFs/Reference2/Wells%20and%20Coopersmith%20\(partial\).pdf](http://www.ce.memphis.edu/7137/PDFs/Reference2/Wells%20and%20Coopersmith%20(partial).pdf).
- [17] Strasser, F. Arango, M. Bommer, J., «Scaling of the Source Dimensions of Interface and Intraslab Subduction-zone Earthquakes with Moment Magnitude,» 2010. [En línea].
Available:
http://www.openseismo.org/contributors/Lee/MoWorking_Backups/Mo2012_0424backup/MoWorking_OLD2x/Paper_Pending/Strasser-et_al_SRL2010_p941.pdf.
- [18] Parra, H. Benito, M., «Estimación de la peligrosidad sísmica en el Ecuador Continental, Publicaciones Cientificas Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,» 2017. [En línea].
Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13741/1/978-9942-765-10-9.pdf>.
- [19] Aguilar, Z., «Análisis del Peligro Sísmico y Estimado del Movimiento Sísmico de Diseño,» 2016. [En línea].
Available:
https://www.researchgate.net/publication/237684107_ANALISIS_DE_PELIGRO_SISMICO_Y_ESTIMADO_DEL_MOVIMIENTO_SISMICO_DE_DISENO.
- [20] Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, «Informe Sísmico para el Ecuador Año 2016,» 2017. [En línea]. Available:
<http://www.igepn.edu.ec/inf-sism/sismicos-anuales/20518-informe-sismico-para-el-ecuador-ano-2016/file>.
- [21] Akkar, S. Bommer, J., «Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East,» 2010. [En línea].
Available:<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1029.883&rep=rep1&type=pdf>.

- [22] Peer, B., «Global Ground Motion Prediction Equations Program,» [En línea]. Available: <http://peer.berkeley.edu/globalgmpe/>.
- [23] Universidad de Chile, Centro Sismológico Nacional, «Sismicidad y Terremotos en Chile,» [En línea]. Available: http://www.csn.uchile.cl/wp-content/uploads/2014/06/001_terremotos_y_sismicidad_chile.pdf.
- [24] Boore, D. Atkinson, M., «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. [En línea]. Available: http://www.daveboore.com/pubs_online/boore_atkinson_eqspectra_published.pdf.
- [25] Kanno, T. Narita, A. Morikawa, N. Fujiwara, H. Fukushima, Y., «A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data,» 2006. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/228663447_A_new_attenuation_relation_for_strong_ground_motion_in_Japan_based_on_recorded_data. [Último acceso: 2018].
- [26] Atkinson, M. Boore. D., «Empirical Ground-Motion Relations for Subduction-Zone Earthquakes and Their Application to Cascadia and Other Regions,» Agosto 2003. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/228915870_Empirical_Ground-Motion_Relations_for_Subduction-Zone_Earthquakes_and_Their_Application_to_Cascadia_and_Other_Regions.
- [27] Youngs, R. R. Chiou, S J. Silva, W J. Humphrey, J R., «Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes,» 1997. [En línea]. Available: <http://www.pacificengineering.org/GM%20Attenuation/Strong%20GM%20Attenuation.pdf>.
- [28] Zhao, J. X. Zhang, J. Asano, A. Ohno, Y. Oouchi, T. Takahashi, T. Ogawa, H. Irikura, K. Thio, H. K. Somerville, P. G. Fukushima, Y. Fukushima, Y., «Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period,» 2006. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/240614152_Attenuation_relations_o

f_strong_ground_motion_in_Japan_using_site_classification_based_on_predominant_period.

- [29] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 0689,» 1982. [En línea]. Available: <https://archive.org/details/ec.nte.0689.1982>.
- [30] Lazcano, S., «Perfiles de velocidad de onda de corte y análisis del comportamiento sísmico del suelo en el poniente de Guadalajara Jal.,» 2012. [En línea]. Available: http://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_XXVI_Reunion_Nacional/6_Geotecnia_sismica/I5LADS_1.pdf.
- [31] Gautam, D., «Empirical correlation between uncorrected standard penetration resistance (N) and shear wave velocity (VS) for Kathmandu Valley, Nepal,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19475705.2016.1243588?needAccess=true>.
- [32] Medina, C. Medina, S., «Coeficiente Irregularidad en Planta a partir del Análisis de Torsión en Estructuras Irregulares.,» [En línea]. Available: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292017000200051.
- [33] Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, «Mapa Interactivo del evento del 16 de Abril de 2016,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.igepn.edu.ec/mapas/mapa-eq20160416.html>.
- [34] Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, «Terremoto del 5 de Agosto de 1949,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.igepn.edu.ec/cayambe/805-terremoto-del-5-de-agosto-de-1949>.

2. ANEXOS

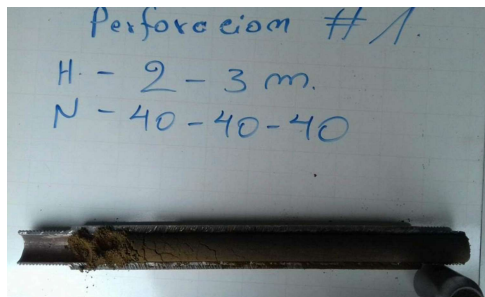
ANEXO A



Fotografía 1: Realizando el Ensayo SPT



Fotografía 2: Medición de Perforación a cada 15cm



Fotografía 3: Descripción de NSPT del Nivel (2m-3m) de la Perforación 1



Fotografía 4: Pesando la Muestra de Suelo



Fotografía 5: Pesando la Muestra de Suelo



Fotografía 6: Muestra de suelo en horno



Fotografía 7: Tamizando la muestra de suelo

ANEXO B

B- 1: Coeficientes para la Predicción de la Pseudoaceleración Espectral

Período	b1	b2	b3	b4	b5	b6
PGA	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
0,10	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
0,20	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
0,30	-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
0,40	-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
0,50	-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
0,60	-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
0,70	-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
0,80	-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
0,90	-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
1,00	-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
1,10	-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
1,20	-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
1,30	-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

1,40	-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
1,50	-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
1,60	-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
1,70	-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
1,80	-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
1,90	-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
2,00	-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
2,10	-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
2,20	-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
2,30	-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
2,40	-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
2,50	-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
2,60	-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
2,70	-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
2,80	-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
2,90	-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

3,00	-6,92924	2,45899	-0,15513	-1,76801	0,13314	7,2195
------	----------	---------	----------	----------	---------	--------

Fuente: Akkar y Bommer 2010

B- 2: Coeficientes para la Predicción de la Pseudoaceleración Espectral

Período	b7	b8	b9	b10	σ_1	σ_2
PGA	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
0,10	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
0,20	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
0,30	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
0,40	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
0,50	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
0,60	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
0,70	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
0,80	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
0,90	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
1,00	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
1,10	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
1,20	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

1,30	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
1,40	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
1,50	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
1,60	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
1,70	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
1,80	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
1,90	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
2,00	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
2,10	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
2,20	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
2,30	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
2,40	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
2,50	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
2,60	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
2,70	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
2,80	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

2,90	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
3,00	0,29772	0,13198	-0,03855	-0,02469	0,2876	0,1785

Fuente: Akkar y Bommer 2010

ANEXO C

C- 1: Coeficientes de Amplificación de Sitio Dependientes del Período

Período	b _{lin}	b ₁	b ₂
PGA	-0,36	-0,64	-0,14
0,01	-0,36	-0,64	-0,14
0,02	-0,34	-0,63	-0,12
0,03	-0,33	-0,62	-0,11
0,05	-0,29	-0,64	-0,11
0,075	-0,23	-0,64	-0,11
0,10	-0,25	-0,60	-0,13
0,15	-0,28	-0,53	-0,18
0,20	-0,31	-0,52	-0,19
0,25	-0,39	-0,52	-0,16
0,30	-0,44	-0,52	-0,14
0,40	-0,50	-0,51	-0,10
0,50	-0,60	-0,50	-0,06
0,75	-0,69	-0,47	0,00
1,00	-0,70	-0,44	0,00
1,50	-0,72	-0,40	0,00
2,00	-0,73	-0,38	0,00
3,00	-0,74	-0,34	0,00
4,00	-0,75	-0,31	0,00
5,00	-0,75	-0,29	0,00
7,50	-0,69	-0,25	0,00
10,00	-0,65	-0,22	0,00

Fuente: Boore & Atkinson 2008

C- 2: Coeficientes de Escala de Distancia (Mref=4,5 y Rref=10 Km para Todos los Períodos Excepto Rref=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
0,10	-0,7081	0,1117	-0,01151	1,68
0,15	-0,6961	0,09884	-0,01113	1,86
0,20	-0,583	0,04273	-0,00952	1,98
0,25	-0,5726	0,02977	-0,00837	2,07
0,30	-0,5543	0,01955	-0,0075	2,14
0,40	-0,6443	0,04394	-0,00626	2,24
0,50	-0,6914	0,0608	-0,0054	2,32
0,75	-0,7408	0,07518	-0,00409	2,46
1,00	-0,8183	0,1027	-0,00334	2,54
1,50	-0,8303	0,09793	-0,00255	2,66
2,00	-0,8285	0,09432	-0,00217	2,73
3,00	-0,7844	0,07282	-0,00191	2,83
4,00	-0,6854	0,03758	-0,00191	2,89
5,00	-0,5096	-0,02391	-0,00191	2,93
7,50	-0,3724	-0,06568	-0,00191	3,00
10,00	-0,09824	-0,138	-0,00191	3,04

Fuente: Boore & Atkinson 2008

C- 3: 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	0,0000	6,75
0,01	-0,52883	-0,49429	-0,74551	-0,49966	0,28897	-0,10019	0,0000	6,75
0,02	-0,52192	-0,48508	-0,73906	-0,48895	0,25144	-0,11006	0,0000	6,75
0,03	-0,45285	-0,41831	-0,66722	-0,42229	0,17976	-0,12858	0,0000	6,75
0,05	-0,28476	-0,25022	-0,48462	-0,26092	0,06369	-0,15752	0,0000	6,75
0,075	0,00767	0,04912	-0,20578	0,02706	0,0117	-0,17051	0,0000	6,75
0,10	0,20109	0,23102	0,03058	0,22193	0,04697	-0,15948	0,0000	6,75
0,15	0,46128	0,48661	0,30185	0,49328	0,1799	-0,14539	0,0000	6,75
0,20	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
0,30	0,43825	0,44516	0,25356	0,5199	0,64472	-0,15694	0,10601	6,75
0,40	0,3922	0,40602	0,21398	0,4608	0,7861	-0,07843	0,02262	6,75
0,50	0,18957	0,19878	0,00967	0,26337	0,76837	-0,09054	0,0000	6,75
0,75	-0,21338	-0,19496	-0,49176	-0,10813	0,75179	-0,14053	0,10302	6,75
1,00	-0,46896	-0,43443	-0,78465	-0,3933	0,6788	-0,18257	0,05393	6,75
1,50	-0,86271	-0,79593	-1,20902	-0,88085	0,70689	-0,2595	0,19082	6,75
2,00	-1,22652	-1,15514	-1,57697	-1,27669	0,77989	-0,29657	0,29888	6,75
3,00	-1,82979	-1,7469	-2,22584	-1,91814	0,77966	-0,45384	0,67466	6,75
4,00	-2,24656	-2,15906	-2,58228	-2,38168	1,24961	-0,35874	0,79508	6,75
5,00	-1,28408	-1,2127	-1,50904	-1,41093	0,14271	-0,39006	0,0000	8,5
7,50	-1,43145	-1,31632	-1,81022	-1,59217	0,52407	-0,37578	0,0000	8,5
10,00	-2,15446	-2,16137	-2,53323	-2,14635	0,40387	-0,48492	0,0000	8,5

Fuente: Boore &Atkinson 2008

ANEXO D

D- 1: Coeficientes de Regresión para el Modelo de Profundidad Menor a 30 Km de Espectros de Respuesta de Aceleración Atenuada de PGA 5%

Período	a1	b1	c1	d1	$\epsilon 1$	p	q
PGA	0,56	-0,0031	0,26	0,0055	0,37	-0,55	1,35
0,05	0,54	-0,0035	0,48	0,0061	0,37	-0,32	0,8
0,06	0,54	-0,0037	0,57	0,0065	0,38	-0,26	0,65
0,07	0,53	-0,0039	0,67	0,0066	0,38	-0,24	0,6
0,08	0,52	-0,004	0,75	0,0069	0,39	-0,26	0,64
0,09	0,52	-0,0041	0,8	0,0071	0,4	-0,29	0,72
0,10	0,52	-0,0041	0,85	0,0073	0,4	-0,32	0,78
0,11	0,5	-0,004	0,96	0,0061	0,4	-0,35	0,84
0,12	0,51	-0,004	0,93	0,0062	0,4	-0,39	0,94
0,13	0,51	-0,0039	0,91	0,0062	0,4	-0,43	1,04
0,15	0,52	-0,0038	0,89	0,006	0,41	-0,53	1,28
0,17	0,53	-0,0037	0,84	0,0056	0,41	-0,61	1,47
0,20	0,54	-0,0034	0,76	0,0053	0,4	-0,68	1,65
0,22	0,54	-0,0032	0,73	0,0048	0,4	-0,72	1,74
0,25	0,54	-0,0029	0,66	0,0044	0,4	-0,75	1,82
0,30	0,56	-0,0026	0,51	0,0039	0,39	-0,80	1,96
0,35	0,56	-0,0024	0,42	0,0036	0,4	-0,85	2,09
0,40	0,58	-0,0021	0,26	0,0033	0,4	-0,87	2,13
0,45	0,59	-0,0019	0,13	0,003	0,41	-0,89	2,18
0,50	0,59	-0,0016	0,04	0,0022	0,41	-0,91	2,25
0,60	0,62	-0,0014	-0,22	0,0025	0,41	-0,92	2,3
0,70	0,63	-0,0012	-0,37	0,0022	0,41	-0,96	2,41
0,80	0,65	-0,0011	-0,54	0,002	0,41	-0,98	2,46
0,90	0,68	-0,0009	-0,8	0,0019	0,41	-0,97	2,44
1,00	0,71	-0,0009	-1,04	0,0021	0,41	-0,93	2,32
1,10	0,72	-0,0007	-1,19	0,0018	0,41	-0,92	2,3

1,20	0,73	-0,0006	-1,32	0,0014	0,41	-0,91	2,26
1,30	0,74	-0,0006	-1,44	0,0014	0,41	-0,88	2,2
1,50	0,77	-0,0005	-1,7	0,0017	0,4	-0,85	2,12
1,70	0,79	-0,0005	-1,89	0,0019	0,39	-0,83	2,06
2,00	0,8	-0,0004	-2,08	0,002	0,39	-0,78	1,92
2,20	0,82	-0,0004	-2,24	0,0022	0,38	-0,76	1,88
2,50	0,84	-0,0003	-2,46	0,0023	0,38	-0,72	1,8
3,00	0,86	-0,0002	-2,72	0,0021	0,38	-0,68	1,7
3,50	0,9	-0,0003	-2,99	0,0032	0,37	-0,66	1,64
4,00	0,92	-0,0005	-3,21	0,0045	0,38	-0,62	1,54
4,50	0,94	-0,0007	-3,39	0,0064	0,38	-0,60	1,5
5,00	0,92	-0,0004	-3,35	0,003	0,38	-0,59	1,46

Fuente: Kanno 2006

ANEXO E

E- 1: Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria

Período	a	b	c	d	e	SR	SI	Ss	SsL
PGA	1,101	-0,00564	0,0055	1,080	0,01412	0,251	0,00	2,607	-0,528
0,05	1,076	-0,00671	0,0075	1,06	0,01463	0,251	0,00	2,764	-0,551
0,10	1,118	-0,00787	0,009	1,083	0,01423	0,24	0,00	2,156	-0,42
0,15	1,134	-0,00722	0,01	1,053	0,01509	0,251	0,00	2,161	-0,431
0,20	1,147	-0,00659	0,012	1,014	0,01462	0,26	0,00	1,901	-0,372
0,25	1,149	-0,0059	0,014	0,966	0,01459	0,269	0,00	1,814	-0,36
0,30	1,163	-0,0052	0,015	0,934	0,01458	0,259	0,00	2,181	-0,45
0,40	1,20	-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

E- 2: Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción

Período	CH	C1	C2	C3	C4	σ	τ
PGA	0,293	1.111	1.344	1.355	1,42	0,604	0,398
0,05	0,939	1.684	1.793	1.747	1.814	0,64	0,444
0,10	1.499	2.061	2.135	2.031	2.082	0,694	0,49
0,15	1.462	1.916	2.168	2.052	2.113	0,702	0,46
0,20	1,28	1.669	2.085	2.001	2,03	0,692	0,423
0,25	1.121	1.468	1.942	1.941	1.937	0,682	0,391
0,30	0,852	1.172	1.683	1.808	1,77	0,67	0,379
0,40	0,365	0,655	1.127	1.482	1.397	0,659	0,39
0,50	-0,207	0,071	0,515	0,934	0,955	0,653	0,389
0,60	-0,705	-0,429	-0,003	0,394	0,559	0,653	0,401
0,70	-1.144	-0,866	-0,449	-0,111	0,188	0,652	0,408
0,80	-1.609	-1.325	-0,928	-0,62	-0,246	0,647	0,418
0,90	-2.023	-1.732	-1.349	-1.066	-0,643	0,653	0,411
1,00	-2.451	-2.152	-1.776	-1.523	-1.084	0,657	0,41
1,25	-3.243	-2.923	-2.542	-2.327	-1.936	0,66	0,402
1,50	-3.888	-3.548	-3.169	-2.979	-2.661	0,664	0,408
2,00	-4.783	-4,41	-4.039	-3.871	-3,64	0,669	0,414
2,50	-5.444	-5.049	-4.698	-4.496	-4.341	0,671	0,411

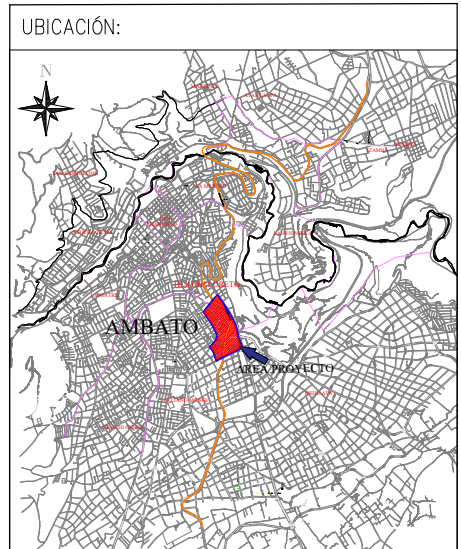
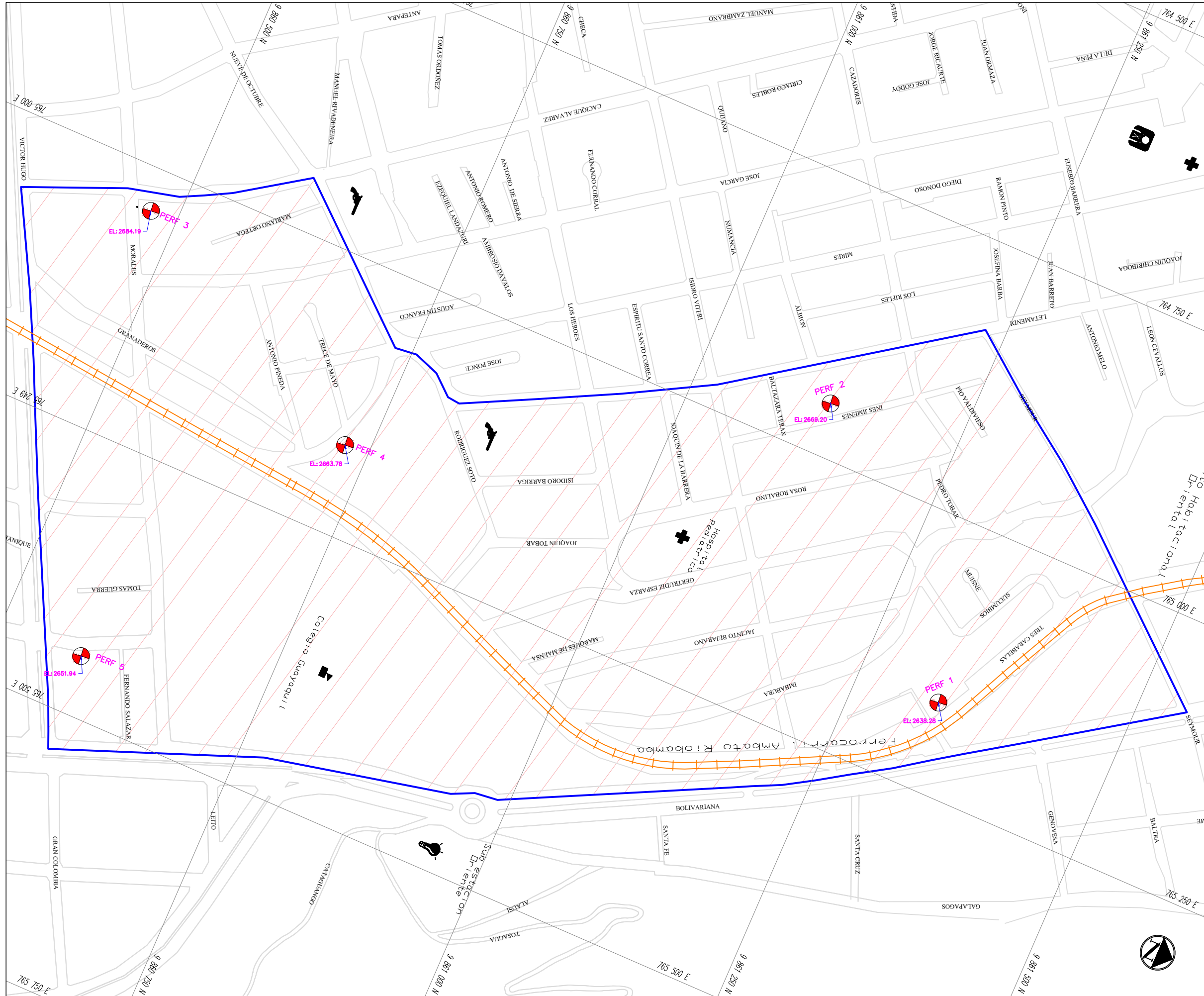
3,00	-5.839	-5.431	-5.089	-4.893	-4.758	0,667	0,396
4,00	-6.598	-6.181	-5.882	-5.698	-5.588	0,647	0,382
5,00	-6.752	-6.347	-6.051	-5.873	-5.798	0,643	0,377

Fuente: Zhao 2006

ANEXO F

F- 1: Relaciones de Atenuación para Aceleración Espectral de Respuesta Horizontal
(Amortiguación del 5%) para los Terremotos de Subducción para el suelo.

Periodo	C1	C2	C3	C4	C5
PGA	0,0	0,0	-2,329	1,45	-0,10
0,075	2,40	-0,0019	-2,697	1,45	-0,10
0,10	2,516	-0,0019	-2,697	1,45	-0,10
0,20	1,549	-0,0019	-2,464	1,45	-0,10
0,30	0,793	-0,002	-2,327	1,45	-0,10
0,40	0,144	-0,002	-2,23	1,45	-0,10
0,50	-0,438	-0,0035	-2,14	1,45	-0,10
0,75	-1,704	-0,0048	-1,952	1,45	-0,10
1,00	-2,87	-0,0066	-1,785	1,45	-0,10
1,50	-5,101	-0,0114	-1,47	1,5	-0,10
2,00	-6,433	-0,0164	-1,29	1,55	-0,10
3,00	-6,672	-0,0221	-1,347	1,65	-0,10
4,00	-7,618	-0,0235	-1,272	1,65	-0,10



- SIMBOLOGIA:
- UNIDAD EDUCATIVA
 - EEASA
 - UPC
 - RESGUARDO
 - HOSPITAL
 - PERFORACIÓN
 - ÁREA DE PROYECTO
 - LÍNEA DEL TREN

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

ESCALA : 1:3500 LÁMINA : 1/1

TEMA:
 ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA
 PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA
 LETAMENDI, PARROQUIA HUACHI LORETO,
 CANTÓN AMBATO.

ELIPSOIDE DE REFERENCIA:
 UTM WGS 84 ZONA 17S

CONTIENE:
 GEOREFERENCIACIÓN DE PERFORACIONES PARA
 ENSAYOS SPT EN LA LOCALIDAD DE LA LETAMENDI

PERF. #	LOCALIZACIÓN:	
	X	Y
PERF 1:	765166.0 m	9861329.0 m
PERF 2:	764951.0 m	9861126.0 m
PERF 3:	765041.0 m	9860461.0 m
PERF 4:	765167.0 m	9860727.0 m
PERF 5:	765445.0 m	9860580.0 m

ESTUDIANTE:

 GABRIEL REAL

DOCENTE TUTOR:

 ING. CARLOS NAVARRO